

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

CONTROL DE CAMBIOS

ENTREGA DE INFORMES	ENTIDAD	Unidades
Original	CAM	1

CAMBIOS REALIZADOS

Versión	Cambios realizados respecto a la versión anterior	Fecha

APROBACIÓN CAMBIOS

Versión	Realizó	Revisó	Aprobó	Observaciones	Fecha
V0	JLN	MAV	FSS	Versión Inicial	09-11-18

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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	30
2.	OBJETIVOS	31
2.1	OBJETIVO GENERAL.....	31
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	31
3.	LOCALIZACIÓN	32
3.1	DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN	33
4.	ACTIVIDADES REALIZADAS	34
4.1	ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SECUNDARIA	34
4.1.1	<i>Estudios previos</i>	34
4.1.2	Noticias destacadas respecto a la zona de estudio	61
4.2	VISITA DE RECONOCIMIENTO.....	62
5.	TOPOGRAFÍA	64
5.1	REGISTRO FOTOGRÁFICO LOCALIZACIÓN DE LOS GCP	64
5.2	ORTOFOTO	64
5.3	OPERACIONES DE CAMPO	67
5.4	PROCESAMIENTO Y RESULTADOS	68
5.5	INFORME Y POST-PROCESO.....	68
5.6	PROCESAMIENTO DE ORTOFOTO Y DEM	69
6.	GEOLOGÍA.....	73
6.1	METODOLOGÍA DE TRABAJO	73
6.2	ASPECTOS REGIONALES.....	75
6.2.1	<i>Geología regional</i>	75
6.2.2	<i>Geomorfología regional</i>	84
6.3	ASPECTOS LOCALES	85
6.3.1	<i>Geología local</i>	86
6.3.2	<i>Geomorfología local</i>	101
6.4	MORFODINÁMICA.....	110
6.5	ANÁLISIS MULTITEMPORAL.....	118
6.6	CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS	126
6.6.1	<i>Hidrogeología regional</i>	126

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

6.6.2	<i>Modelo hidrogeológico conceptual</i>	128
7.	SISMOLOGÍA	131
8.	COBERTURA Y USO DE SUELO	132
8.1	METODOLOGÍA	132
8.2	RECOPIACIÓN, REVISIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	133
8.2.1	<i>Revisión información primaria</i>	133
8.2.2	<i>Estudio general de mosaico y ortofoto</i>	134
8.2.3	<i>Análisis de ortofotos</i>	135
8.2.4	<i>Fotointerpretación</i>	135
8.2.5	<i>Sistema de clasificación y leyenda preliminar</i>	136
8.2.6	<i>Unidades de cobertura</i>	136
8.2.7	<i>Fase ejecutoria</i>	136
8.2.8	<i>Fase de campo</i>	136
8.3	CARACTERIZACIÓN DE COBERTURAS	137
8.3.1	<i>Análisis de información</i>	137
8.4	DESCRIPCIÓN GENERAL DE COBERTURAS	139
8.5	ANÁLISIS DE COBERTURAS	162
9.	HIDROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA	166
9.1	CLIMATOLOGÍA	168
9.1.1	<i>Precipitación</i>	169
9.1.2	<i>Temperatura</i>	171
9.1.3	<i>Evaporación</i>	171
9.1.4	<i>Humedad Relativa</i>	173
9.1.5	<i>Brillo solar</i>	174
9.1.6	<i>Punto de Rocío</i>	176
9.2	TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN DE LAS CUENCAS	176
9.3	ESTACIONES CERCANAS AL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN	177
9.4	ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS	178
9.4.1	<i>Curvas PDF e IDF</i>	184
9.5	MODELO HIDROLÓGICO HEC-HMS	187
9.5.1	<i>Descripción modelo Hidrológico HEC-HMS</i>	187

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

9.5.2	<i>Filosofía modelo</i>	188
9.5.3	<i>Componentes del modelo</i>	188
9.5.4	<i>Caudales Máximos generados en el modelo HEC-HMS</i>	192
10.	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA	194
10.1	EXPLORACIÓN INDIRECTA	196
10.2	EXPLORACIÓN DIRECTA	204
10.2.1	Suelo residual formación vulcanitas básicas Sr-N2Q1vb	206
10.2.2	Roca Dura formación vulcanitas básicas Rd-N2Q1vb	212
10.2.3	Suelo residual formación Guacacallo Sr-N2g	218
10.2.4	Roca intermedia formación Guacacallo Ri-N2g	225
10.2.5	Perfil Geológico- geotécnico San Agustín	227
11.	AMENAZA	229
11.1	AMENAZA POR MOVIMIENTO EN MASA	229
11.1.1	<i>Amenaza general</i>	229
11.1.2	<i>Amenaza detallada</i>	244
11.2	AMENAZA POR INUNDACIÓN	269
11.2.1	<i>Metodología</i>	269
11.2.2	<i>Marco teórico</i>	269
11.2.3	<i>Definición de la geometría y condiciones de flujo</i>	271
11.2.4	<i>Resultados del Modelo 2D</i>	272
11.2.5	<i>Insumos modelo hidráulico</i>	273
11.2.6	<i>Levantamiento topobatimétrico</i>	275
11.2.7	<i>Cobertura del suelo</i>	277
11.2.8	<i>Modelación hidráulica del pico de crecientes</i>	279
11.2.9	<i>Categorización de la amenaza por inundación</i>	289
11.3	AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES	292
11.3.1	<i>Categorización de la Amenaza por avenidas torrenciales</i>	292
11.3.2	<i>Modelación hidráulica del pico de crecientes</i>	293
11.3.3	<i>Resultados de la Amenaza por avenidas torrenciales</i>	297
12.	VULNERABILIDAD	300
12.1	METODOLOGÍA PARA LA VULNERABILIDAD	300

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

12.1.1	Metodología AHP.....	300
12.1.2	Obtención de los pesos ponderados.....	302
12.1.3	Fuzzificación de la matriz de comparaciones.....	304
12.1.4	Combinación lineal ponderada (WLC)	308
12.1.5	Ponderación promedio ordenada (OWA)	309
12.2	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD FÍSICA.....	310
12.2.1	Vulnerabilidad física por movimientos en mas	311
	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 Leoney modificada por Soler et al.	311
12.2.2	Vulnerabilidad física por inundaciones.....	321
12.2.3	Análisis de resultados vulnerabilidad física por movimientos en masa	351
12.2.4	Análisis de resultados vulnerabilidad física por inundaciones	354
12.3	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SOCIAL	357
12.3.1	Análisis de resultados vulnerabilidad social.....	377
12.4	VULNERABILIDAD TOTAL	380
12.4.1	Categorización de la vulnerabilidad total.....	381
12.4.2	Análisis de resultados vulnerabilidad total por movimientos en masa	381
12.4.3	Análisis de resultados vulnerabilidad total por inundación.....	384
13.	RIESGO.....	386
13.1.	Costo directo de los elementos en riesgo	388
13.2.	MÉTODO de análisis	391
13.3.	Calculo del riesgo global por zona	395
13.4.	Criterios aplicados	395
13.5.	Resultados obtenidos del riesgo por movimientos en masa	397
13.6.	Resultados obtenidos del riesgo por inundación.....	402
14.	RONDA HÍDRICA Y ZONIFICACIÓN AMBIENTAL.....	406
14.1	RONDA HÍDRICA.....	410
14.1.1	Elementos constituyentes de la ronda hídrica.....	411
14.1.2	Estrategias para el manejo ambiental de las rondas hídricas.....	413
14.2	ZONIFICACIÓN AMBIENTAL	414
14.2.1	Metodología de Zonificación.....	414

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

15	MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO.....	425
15.1	MOVIMIENTOS EN MASA.....	425
15.1.1	<i>Medidas estructurales</i>	425
15.2	INUNDACIÓN.....	492
15.2.1	<i>Medidas estructurales</i>	492
16	CONCLUSIONES.....	523
16.1	COBERTURA	523
16.2	AMENAZA	523
16.2.1	Amenaza por movimientos en masa	523
16.2.2	Amenaza por inundación.....	524
16.3	VULNERABILIDAD.....	524
16.3.1	Vulnerabilidad por movimientos en masa	525
16.3.2	Vulnerabilidad por inundación	526
16.4	RIESGO.....	527
16.4.1	Riesgo por movimientos en masa	527
16.4.2	Riesgo por inundación	528
17	BIBLIOGRAFÍA.....	531

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

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Localización general del municipio de estudio San Agustín.....	32
Ilustración 2. Sector de la piscina, que a causa de la canalización inunda el sector.	38
Ilustración 3. Sector inundado por canalización contigua al coliseo.....	39
Ilustración 4. Ladera de alta pendiente en el costado occidental del centro poblado de Puerto Quinchana.....	42
Ilustración 5. Zona posterior de las viviendas del costado occidental del centro poblado de Puerto Quinchana.	42
Ilustración 6. Evidencias de amenazas y riesgo en el costado oriental del centro poblado de Puerto Quinchana.	44
Ilustración 7 Puntos críticos afectados por flujos torrenciales, Centro Poblado Puerto Quinchana.....	44
Ilustración 8 Registro fotográfico viviendas amenazadas por deslizamiento en el Centro Poblado Los Cauchos.	45
Ilustración 9 Viviendas ubicadas en la zona de amenaza alta por inundación de la Quebrada Matanzas. Centro Poblado Los Cauchos.....	46
Ilustración 10 Viviendas ubicadas en la zona de amenaza alta por flujos torrenciales de la Quebrada Las Minas. Centro Poblado Los Cauchos.	47
Ilustración 11 Escuela Los Cuchos ubicada en la zona de amenaza alta por flujos torrenciales de la Quebrada Aguas Claras.....	47
Ilustración 12. Vivienda ubicada en zona de amenaza alta por inundación, en la vía que de Los Cauchos conduce hacia Pitalito.....	48
Ilustración 13. Viviendas ubicada en zona de amenaza alta flujos torrenciales, en la vía que de Los Cauchos conduce hacia la vereda El Paraíso.....	49
Ilustración 14. Panorámica del sector de la piscina Las Moyas.	50
Ilustración 15. Panorámica del sector de la piscina municipal Parque Recreacional Maloka.	51
Ilustración 16. Panorámica Viviendas en riesgo de colapsar barrios Primero de Mayo y Santa Teresita. Fuente: (Municipio de San Agustín - Huila, 2012).	51
Ilustración 17 Sector Coliseo municipal. Canalización cerrada de la quebrada Las Moyas.	52
Ilustración 18. Barrió Nueva Alianza, sector de inundación por régimen alto de precipitaciones y escorrentía del agua.....	52
Ilustración 19. Fotografía del Municipio de San Agustín.	63
Ilustración 20. Posicionamiento BASE GCP10.	64
Ilustración 21. Imagen satelital municipio de San Agustín.	66
Ilustración 22. Procedimiento en campo toma de GCP.....	67
Ilustración 23. Líneas de vuelo proyecto San Agustín.	70
Ilustración 24. Perfil de las líneas de vuelo vs terreno natural.	70

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

Ilustración 25. Calidad de imágenes con Dron.	71
Ilustración 26 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 municipio de San Agustín (polígono verde).....	76
Ilustración 27 Mapa geológico del municipio de San Agustín y sus alrededores.....	81
Ilustración 28. Esquema estructural del departamento del Huila. Dentro del recuadro negro se observa la ubicación relativa del poblado de San Agustín.	82
Ilustración 29. Principales rasgos geomorfológicos a nivel regional	85
Ilustración 30. Factor G.S.I para Macizos Rocosos.	87
Ilustración 31 Coordenadas: E= 10902288, N= 699272, altura = 1624 m, orientación al noroccidente. Depósito de Escombros, en escarpe.....	90
Ilustración 32 Coordenadas: E= 1089275, N= 700126, altura = 1655 m, orientación al noroccidente. Cauce de la quebrada las Moyas.	92
Ilustración 33. Coordenadas: E= 1090532, N= 699665, altura = 1680 m, orientación al norte. Suelo residual en corte para vivienda.....	93
Ilustración 34. Coordenadas: E= 1090698, N= 699314, altura = 1656 m, orientación al oriente. Suelo residual en corte para vivienda.....	94
Ilustración 35 Coordenadas: E= 1090051, N= 699344, altura = 1613 m, orientación al oriente. Suelo residual en corte para vivienda.....	95
Ilustración 36 Coordenadas: E= 1089341, N= 699710, altura = 1667 m, orientación al norte. Paleosuelos en suelos residuales.	95
Ilustración 37. Coordenadas: E= 1090817, N= 699233, altura = 1651 m, orientación al oriente.....	97
Ilustración 38. Coordenadas: E= 1090186, N= 699378, altura = 1624 m, detalle. Perforación Sme01, profundidad 8,5 a 10 metros. Fragmentos de la Formación Guacacallo.	98
Ilustración 39. Coordenadas: E= 1089948, N= 699329, altura = 1590 m, orientación al noroccidente. Rocas de Lahar de Altamira, en cauce de quebrada.....	98
Ilustración 40. Coordenadas: E= 1090647, N= 699524, altura = 1673 m, orientación al sur. Ilustración de unidades geomorfológicas de Ar, Asp y Dir.....	103
Ilustración 41. Coordenadas: E= 1089710, N= 699286, altura = 1613 m, orientación al noroccidente. Ilustración de las unidades geomorfológicas de: Ar, Fca, Dlo.....	104
Ilustración 42. Coordenadas: E= 1090817, N= 699233, altura = 1651 m, orientación al nororiente. Ilustración de la unidad geomorfológica de Aclv.....	105
Ilustración 43. Coordenadas: E= 1089948, N= 699329, altura = 1590 m, orientación al occidente (aguas arriba). Ilustración de las unidades geomorfológicas de: Dlo, Vefla, Fca.....	106
Ilustración 44. Coordenadas: E= 1089102, N= 700334, altura = 1573 m, orientación al suroccidente. Ilustración de la unidad geomorfológica de Fca.....	107
Ilustración 45 Sector con cortes para adecuación a futura zona urbanizable, donde priman procesos de erosión, en los sectores desprovistos de capa vegetal protectora.....	112

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

Ilustración 46. Sector de la calle 3 con carrera 11.	113
Ilustración 47. Coordenadas. Sector de la calle 3 con carrera 5, con susceptibilidad a caída de bloques. Fuente: Geocing SAS.	115
Ilustración 48. Sector de la calle 2 este con carrera 5 ^a este, con susceptibilidad a caída de bloques.	115
Ilustración 49. Se observa corte en ladera para la construcción de la vivienda del costado sur. La vivienda afecta en la parte superior del corte.....	117
Ilustración 50. Vivienda afectada por proceso de tipo retrogresivo.	117
Ilustración 51. Aerofotografía 011, Vuelo C-1424.....	120
Ilustración 52. Aerofotografía 106, Vuelo C-2061.	121
Ilustración 53. Aerofotografía 228, Vuelo C-2462.....	122
Ilustración 54. Aerofotografías 186, Vuelo C-2789.....	123
Ilustración 55. Aerofotografía 182, vuelo C-2789.	124
Ilustración 56. Municipio de San Agustín año 2018	125
Ilustración 57. Mapa de Unidades Hidroestratigráficos de Colombia, IDEAM. El polígono rojo indica la ubicación de la zona de estudio.	127
Ilustración 58. Mapa Hidrogeológico de Colombia, (SGC, 1989). El polígono rojo indica la ubicación de la zona de estudio.	128
Ilustración 59. Valores de KST/a_{max}	131
Ilustración 60. Metodología para la actualización del Mapa de Coberturas.....	133
Ilustración 61. Proceso empleado para la delimitación de cobertura vegetal y uso actual de suelo.	134
Ilustración 62. Tejido urbano continuo municipio de San Agustín.....	140
Ilustración 63. Tejido urbano discontinuo municipio de San Agustín.	140
Ilustración 64. Zonas Industriales municipio de San Agustín.	141
Ilustración 65. Red vial y terrenos asociados municipio de San Agustín.....	142
Ilustración 66. Otros sitios de disposición de residuos a cielo abierto municipio de San Agustín.	142
Ilustración 67. Escombreras municipio de San Agustín.	143
Ilustración 68. Otras zonas verdes urbanas municipio de San Agustín.....	144
Ilustración 69. Parques cementerios municipio de San Agustín.....	144
Ilustración 70. Parques cementerios municipio de San Agustín.....	145
Ilustración 71. Instalaciones recreativas municipio de San Agustín.	146
Ilustración 72. Áreas deportivas municipio de San Agustín.....	146
Ilustración 73. Maíz municipio de San Agustín.	147
Ilustración 74. Plátano y banano municipio de San Agustín.....	148

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

Ilustración 75 . Café municipio de San Agustín.....	149
Ilustración 76. Pastos limpios municipio de San Agustín.	150
Ilustración 77. Pastos arbolados municipio de San Agustín.....	150
Ilustración 78. Pastos enmalezados municipio de San Agustín.	151
Ilustración 79. Mosaico de cultivos Municipio de San Agustín.	151
Ilustración 80. Mosaico de pastos y cultivos municipio de San Agustín.	152
Ilustración 81. Mosaico de cultivo, pastos y espacios naturales municipio de San Agustín.....	153
Ilustración 82. Mosaico de cultivo con espacios naturales municipio de San Agustín.	154
Ilustración 83. Bosque de galería y ripario municipio de San Agustín.	155
Ilustración 84. Herbazal abierto municipio de San Agustín.	155
Ilustración 85. Arbustal abierto municipio de San Agustín.....	156
Ilustración 86. Vegetación secundaria o en transición municipio de San Agustín.....	157
Ilustración 87. Tierras desnudas y degradadas municipio de San Agustín.	157
Ilustración 88. Zonas quemadas municipio de San Agustín.	158
Ilustración 89. Zonas pantanosas municipio de San Agustín.	159
Ilustración 90. Ríos municipio de San Agustín.	160
Ilustración 91. Lagunas, lagos y ciénagas naturales municipio de San Agustín.	161
Ilustración 92. Canales del municipio de San Agustín.	161
Ilustración 93. Estanques para acuicultura continental del municipio de San Agustín.....	162
Ilustración 94. Porcentaje de ocupación por cobertura usando el Nivel 1 de la Metodología CORINE LAND para el municipio de San Agustín.	164
Ilustración 95. Mapa de cobertura del suelo casco urbano municipio de San Agustín.	165
Ilustración 96. Puntos críticos o de interés en el casco urbano del municipio de San Agustín.	167
Ilustración 97. Cuencas generadas en el casco urbano del municipio de San Agustín.	167
Ilustración 98. Distribución espacial de la Precipitación Anual Total (isoyetas de precipitación).	170
Ilustración 99. Distribución media mensual de precipitación (mm).....	170
Ilustración 100. Distribución Temperatura media mensual.	171
Ilustración 101. Distribución espacial de la Evaporación Anual Total en mm.	172
Ilustración 102. Distribución evaporación media mensual.	173
Ilustración 103. Distribución espacial de la Humedad Relativa (%) Anual.....	173
Ilustración 104. Distribución Humedad relativa.	174
Ilustración 105. Distribución espacial de la Brillo solar Anual.....	175
Ilustración 106. Distribución Brillo Solar.....	176
Ilustración 107. Polígonos de Thiessen para las cuencas del municipio San Agustín. ...	180
Ilustración 108. Esquema de modelación HEC-HMS 4.3 del municipio de San Agustín.	188

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

Ilustración 109. Localización Exploración Geotécnica.	196
Ilustración 110. Localización Exploración Geofísica.	197
Ilustración 111. Proceso de ejecución LRS-01.	197
Ilustración 112. Modelo Simplificado LRS-01.	198
Ilustración 113. Tomografía sísmica LRS-01.	198
Ilustración 114. Perfil bidimensional 2D Vs MASW-01.	199
Ilustración 115. Proceso de ejecución LRS-02.	199
Ilustración 116. Modelo Simplificado LRS-02.	200
Ilustración 117 Tomografía sísmica LRS-02.	200
Ilustración 118. Perfil bidimensional (2D) Vs MASW-02.	201
Ilustración 119. Proceso de ejecución LRS-03.	202
Ilustración 120. Modelo Simplificado LRS-03.	202
Ilustración 121. Tomografía sísmica LRS-03.	203
Ilustración 122. Perfil bidimensional (2D) Vs MASW-03.	203
Ilustración 123 Vista de la unidad geológica suelo residual Sr-N2Q1vb.	207
Ilustración 124 Perfil de campo, reporte de N45 con N60.	207
Ilustración 125 Variación de las propiedades índices Wn, LL, LP e IP así Variación granulométrica y clasificación unificada como en profundidad.	208
Ilustración 126 Perfil de meteorización típicos de rocas metamórficas e ígneas intrusivas.	209
Ilustración 127. Tobas volcánicas.	213
Ilustración 128. Vista del afloramiento del afloramiento de la Formación Vulcanitas Básicas.	213
Ilustración 129. Vista del afloramiento del afloramiento de la Formación Vulcanitas Básicas.	214
Ilustración 130. Perfil de meteorización típica de rocas metamórficas e ígneas intrusivas.	214
Ilustración 131 Estimación de la resistencia a la compresión Simple Esclerómetro de la For. Vulcanitas Básicas.	215
Ilustración 132. Clasificación geomecánica RMR, Bieniawski, 1998 de la For. Vulcanitas Básicas.	216
Ilustración 133 Vista de la unidad geológica suelo residual Sr-N2g.	218
Ilustración 134. Perfil de campo, reporte de N45 con N60.	219
Ilustración 135. Variación de las propiedades índices Wn, LL, LP e IP en profundidad.	220
Ilustración 136. Perfil de meteorización típicos de rocas metamórficas e ígneas intrusivas,	224
Ilustración 138. Perfil de campo, reporte de N45 con N60.	226
Ilustración 139. Talud Infinito. Donde z= altura de la masa deslizante (m), h= altura del agua subterránea durante el movimiento (m), β = ángulo de inclinación con la horizontal (grados), γ = peso suelo específico del suelo (KN/m ³), Φ = ángulo de fricción (grados), C= cohesión (KN/m ²), Q= sobrecarga (KN/m ²). N.R= Nivel de Referencia.	230

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

Ilustración 140. Histograma del Factor de Seguridad. La zona en rojo indica los análisis que obtuvieron un factor de seguridad igual o menor que 1. 240

Ilustración 141. Distribución del factor de seguridad, probabilidad de falla, definición del factor seguridad e índice de confiabilidad..... 241

Ilustración 142. Mapa de Amenaza por movimientos en masa – Método Talud Infinito..... 243

Ilustración 143 Distribución de probabilidad del Factor de Seguridad..... 246

Ilustración 144. Mapa de Ladera municipio de San Agustín. 250

Ilustración 145. Perfiles de análisis sobre el mapa de Laderas..... 251

Ilustración 146. Modelo geológico – geotécnico para el perfil representativo P4. 253

Ilustración 147. Análisis de estabilidad para el perfil representativo P4 en el Escenario 1. 254

Ilustración 148. Análisis de estabilidad para el perfil representativo P4 en el Escenario 2. 255

Ilustración 149. Análisis de estabilidad para el perfil representativo P4 en el Escenario 3. 256

Ilustración 150. Análisis de estabilidad para el perfil representativo P4 en el Escenario 4. 257

Ilustración 151. Análisis de estabilidad para el perfil representativo P4 en el Escenario 5. 258

Ilustración 152. Factor de Seguridad para las abscisas del perfil representativo P4 en el Escenario 1. 259

Ilustración 153. Factor de Seguridad para las abscisas del perfil representativo P4 en el Escenario 2. 259

Ilustración 154. Factor de Seguridad para las abscisas del perfil representativo P4 en el Escenario 3. 260

Ilustración 155. Factor de Seguridad para las abscisas del perfil representativo P4 en el Escenario 4. 260

Ilustración 156. Factor de Seguridad para las abscisas del perfil representativo P4 en el Escenario 5. 260

Ilustración 157. Mapa de amenaza por movimientos en masa para el municipio San Agustín. 263

Ilustración 158 Vista local de la categorización de Amenaza por movimiento en masa en el Barrio Siloé..... 265

Ilustración 159 Vista local de la categorización de Amenaza por movimiento en masa en el Barrio La Brisas..... 265

Ilustración 160 Vista local de la categorización de Amenaza por movimiento en masa en el Barrio Los Olivos. 266

Ilustración 161 Vista local de la categorización de Amenaza por movimiento en masa en el Barrio Konrad Preuss. 267

Ilustración 162 Vista local de la categorización de Amenaza por movimiento en masa en el predio de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. 267

Ilustración 163 Vista local de la categorización de Amenaza por movimiento en masa en el Barrio Nueva Alianza. 268

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

Ilustración 164. Mapa hidrográfico del casco urbano de San Agustín.	274
Ilustración 165 Modelo de elevación digital del terreno – MDT del municipio de San Agustín..	276
Ilustración 166 Distribución espacial de los N-Manning de la tabla 77 según su cobertura del suelo para el casco urbano del municipio de San Agustín.	279
Ilustración 167 Espacialización de la inundación con periodos de retorno de 15, 100 y 500 años en las quebradas Las Moyas y sus afluentes a la altura del casco urbano del municipio de San Agustín.	281
Ilustración 168. Puente las Moyas parte alta.	282
Ilustración 169. Comportamiento lámina de Agua sector 1.	283
Ilustración 170. Comportamiento lámina de Agua sector 2.	283
Ilustración 171. Comportamiento lámina de Agua sector 3.	284
Ilustración 172. Comportamiento lámina de Agua sector 4.	284
Ilustración 173. Comportamiento lámina de Agua sector 5.	285
Ilustración 174. Comportamiento lámina de Agua sector 6.	285
Ilustración 175. Comportamiento lámina de Agua sector 7.	286
Ilustración 176. Ubicación puntos de interés amenaza por inundación.	287
Ilustración 177. Ubicación puntos de interés amenaza por inundación.	288
Ilustración 178. Mapa de Amenaza por inundación del casco urbano del municipio de San Agustín.	290
Ilustración 179 Espacialización de la avenida torrencial con periodos de retorno de 15, 100 y 500 años en las quebradas Las Moyas y sus afluentes a la altura del casco urbano del municipio de San Agustín.	294
Ilustración 180. Ubicación puntos de interés amenaza por avenida torrencial.	296
Ilustración 181. Mapa de amenaza por Avenida Torrencial del Casco urbano del municipio de San Agustín - Huila.	298
Ilustración 182. Diagrama de flujo del proceso propuesto para la evaluación de los pesos ponderados normalizados utilizando metodología AHP-difuzza.	302
Ilustración 183. Calificación difusa de los criterios de calificación AHP (relación directa).	305
Ilustración 184 Calificación difusa de los criterios de calificación AHP (relación inversa).	305
Ilustración 185. Diagrama de flujo para la calificación de la susceptibilidad utilizado los métodos WLC y OWA.	308
Ilustración 186. Esquema de deslizamiento.	315
Ilustración 187. Estimación de la distancia de viaje a partir del ángulo de fricción aparente y el volumen deslizado.	318
Ilustración 188. Modelación cinemática de movimiento para la determinación de la distancia de viaje.	319

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

Ilustración 189. Intensidad de deslizamiento de acuerdo a la velocidad esperada y volumen estimado	319
Ilustración 190. Ejemplo de escala de velocidad para describir el potencial de daño de un deslizamiento	320
Ilustración 191. Niveles de agua y presiones que actúan sobre una casa para diferentes escenarios.....	323
Ilustración 192. Índice de Daño de las Viviendas de 1 Piso.....	326
Ilustración 193. Índice de Daño de las Viviendas de Poca Altura.....	327
Ilustración 194. Índice de Daño de las Viviendas de Altura Intermedia.....	327
Ilustración 195. Índice de Daño de las Viviendas de Gran Altura.....	328
Ilustración 196. Índice de Daño de la Categoría de infraestructura vial.....	329
Ilustración 197. Distribución de las edificaciones encuestadas según su fecha de construcción.....	335
Ilustración 198. Distribución de las edificaciones encuestadas según su número de pisos.	336
Ilustración 199. Distribución de las edificaciones encuestadas según su forma de construcción	337
Ilustración 200. Distribución de las edificaciones encuestadas según su tipo de entrepiso.	338
Ilustración 201. Distribución de las edificaciones encuestadas según su tipo de cubierta.	339
Ilustración 202. Distribución de las edificaciones encuestadas según su sistema estructural. .	340
Ilustración 203. Distribución de las edificaciones encuestadas según tipo de daño.....	341
Ilustración 204. Distribución de las edificaciones encuestadas según tipo de daño.....	342
Ilustración 205. Distribución de las edificaciones encuestadas según la localización de sus daños.....	343
Ilustración 206 Distribución de las edificaciones encuestadas según la severidad de daños...	344
Ilustración 207. Vivienda Tipología B1 (Vivienda en materia reciclaje).....	345
Ilustración 208. Vivienda Tipología B2 (Vivienda en mampostería sin estructura).	346
Ilustración 209. Vivienda Tipología B3 (Edificaciones hasta de dos (02) niveles de buena calidad de construcción (con estructura).	346
Ilustración 210. Vivienda Tipología B4 (Edificaciones de más de dos (02) niveles de buena calidad de construcción (con estructura).	347
Ilustración 211. Tipología de Viviendas.....	347
Ilustración 212. Valoración del ID (potencial y actual) utilizando conjuntos difusos.....	350
Ilustración 213. Vulnerabilidad Física predios San Agustín - movimientos en masa.	351
Ilustración 214. Vulnerabilidad Física vías San Agustín- movimientos en masa.	352
Ilustración 215. Mapa de vulnerabilidad física por movimientos en masa de San Agustín	353
Ilustración 216. Vulnerabilidad Física predios casco urbano de San Agustín- Inundación.	354
Ilustración 217. Vulnerabilidad Física vías casco urbano de Agustín- Inundación.	355

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

Ilustración 218. Mapa de vulnerabilidad física por inundación casco urbano de San Agustín. .	356
Ilustración 219. Vulnerabilidad Física predios San Agustín- Avenida Torrencial.	357
Ilustración 220. Vulnerabilidad Física vías San Agustín- Avenida Torrencial.	358
Ilustración 221. Mapa de vulnerabilidad física por avenida torrencial en el casco urbano de San Agustín.	359
Ilustración 222 Distribución de la población por Lugar de Procedencia y por Pertenencia a una Minoría Étnica.	362
Ilustración 223. Distribución de las edificaciones encuestadas según la cantidad de menores de edad que viven en el inmueble.	364
Ilustración 224. Nivel educativo.	366
Ilustración 225. Limitación física.	367
Ilustración 226. Uso Actual de los Predios.	368
Ilustración 227. Servicios Públicos.	369
Ilustración 228. Distribución Servicio de Alcantarillado y Acueducto.	370
Ilustración 229. Vulnerabilidad Social por movimientos en masa predios San Agustín.	378
Ilustración 230. Mapa de vulnerabilidad social de San Agustín.	379
Ilustración 231. Relación entre el índice de vulnerabilidad total con los índices de vulnerabilidad física y social.	380
Ilustración 232. Vulnerabilidad Total predios San Agustín- movimiento en masa.	382
Ilustración 233. Mapa de vulnerabilidad total por movimientos en masa en el casco urbano de San Agustín.	383
Ilustración 234. Vulnerabilidad Total predios San Agustín- inundación.	384
Ilustración 235. Mapa de vulnerabilidad total por inundación en el casco urbano de San Agustín.	385
Ilustración 236. Vulnerabilidad Total predios San Agustín- Avenida Torrencial.	386
Ilustración 237. Mapa de vulnerabilidad total por avenida torrencial en el casco urbano de San Agustín.	387
Ilustración 238. Conjuntos difusos trapezoidales.	393
Ilustración 239. 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.	396
Ilustración 240. Categorización del nivel de riesgo por movimientos en masa de los elementos expuestos para el escenario actual.	397
Ilustración 241. Distribución del número de construcciones y pérdidas económicas esperadas para las categorías de riesgo por movimientos en masa.	399
Ilustración 242. Distribución de las pérdidas económicas esperadas de la infraestructura vial que se encuentra dentro de las categorías de riesgo por movimientos en masa.	399
Ilustración 243. Mapa de riesgo por movimientos en masa casco urbano de San Agustín.	401

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

Ilustración 244. Categorización del nivel de riesgo por inundación de los elementos expuestos para el escenario actual. 402

Ilustración 245. Distribución del número de construcciones y pérdidas económicas esperadas para las categorías de riesgo por Inundación. 403

Ilustración 246. Distribución de las pérdidas económicas esperadas de la infraestructura vial que se encuentra dentro de las categorías de riesgo por Inundación. 404

Ilustración 247. Mapa de riesgo por inundación casco urbano de San Agustín. 405

Ilustración 248. Categorización del nivel de riesgo por avenida torrencial de los elementos expuestos para el escenario actual. 406

Ilustración 249. Distribución del número de construcciones y pérdidas económicas esperadas para las categorías de riesgo por Avenida Torrencial. 407

Ilustración 250. Distribución de las pérdidas económicas esperadas de la infraestructura vial que se encuentra dentro de las categorías de riesgo por Avenida Torrencial. 408

Ilustración 251. Mapa de riesgo por avenida torrencial casco urbano de San Agustín. 409

Ilustración 252 Identificación de los elementos constituyentes de la ronda hídrica. 411

Ilustración 253 Delimitación de la ronda hídrica para los drenajes presentes en el casco urbano de San Agustín. 412

Ilustración 254. Relación Entre Sensibilidad y Aptitud Frente a proyectos 415

Ilustración 255. Mapa de zonificación Ambiental, Casco urbano de San Agustín. 424

Ilustración 256 Vista local de la categorización de Amenaza por movimiento en masa en el Barrio Siloé. 425

Ilustración 257 Vista de la zona 2, como parte del barrio Siloé 428

Ilustración 258 Vista de la zona 5, evidencias construcción de viviendas cortas a media ladera, sin algún tipo de diseño de implantación 429

Ilustración 259. Sector de la calle 3 con carrera 5 432

Ilustración 260. Aislamientos mínimos para el pie de taludes con pendiente superior a 45° 433

Ilustración 261 Vista del suelo residual movilizado con el nivel de roca intermedia de las Vulcanitas Básicas. 433

Ilustración 262 Vista de los detalles de la implementación de la malla TECCO. 435

Ilustración 263. Vista en planta de la localización de la Vivienda afectada. 436

Ilustración 264. Se observa corte en ladera para la construcción de la vivienda del costado sur. La vivienda afecta en la parte superior del corte. 436

Ilustración 265 Predimensionamiento estructura rígida 441

Ilustración 266 Dimensionamiento del Muro de gravedad H: 3.5 m. 442

Ilustración 267 Dimensionamiento del Muro de gravedad H: 3.5 m. Evidencia de Cumplimiento de los Factores de seguridad estáticos Capacidad Portante, Deslizamiento, Volcamiento. 443

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

Ilustración 268 Dimensionamiento del Muro de gravedad H: 3.5 m. Evidencia de Cumplimiento de los Factores de seguridad dinámicos Deslizamiento y Volcamiento. 443

Ilustración 269 Dimensionamiento del Muro en voladizo H: 3.0 m. 445

Ilustración 270 Dimensionamiento del Muro en voladizo H: 3.0 m. Evidencia de Cumplimiento de los Factores de seguridad estáticos Capacidad Portante, Deslizamiento, Volcamiento. 446

Ilustración 271 Dimensionamiento del Muro de gravedad H: 3.0 m. Evidencia de Cumplimiento de los Factores de seguridad dinámicos Deslizamiento y Volcamiento. 446

Ilustración 272 Cuneta longitud de la vía. 447

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 273 se presenta un esquema de Dren de Penetración Horizontal. 448

Ilustración 274. Esquema de dren horizontal. 448

Ilustración 275 Vista local de los perfiles de ubicados en el barrio Siloé 449

Ilustración 276 Vista del perfil 2b en condición actual. 449

Ilustración 277 Vista del perfil 2b en condición crítica FS 0.52. 450

Ilustración 278 Vista del perfil 2b en condición crítica FS 1.069. 450

Ilustración 279 Vista del perfil 1b en condición actual. 451

Ilustración 280 Vista del perfil 1b en condición crítica FS 0.62 451

Ilustración 281 Vista del perfil 1b en condición crítica FS 1.167 452

Ilustración 282 Vista del perfil 7A en condición actual. 453

Ilustración 283 Vista del perfil 7A en condición crítica FS 0.929 453

Ilustración 284 Vista del perfil 7A en condición crítica FS 1.123 454

Ilustración 285 Vista de los detalles de la implementación de la malla TECCO. 455

Ilustración 286 Pre dimensionamiento del Muro en Voladizo de H: 2.0 m. 456

Ilustración 287 Pre dimensionamiento del Muro en Voladizo de H: 2.0 m. Evidencia de Cumplimiento a Capacidad Portante, Deslizamiento, Volcamiento dinámico y estático. 457

Ilustración 288 Vista en planta de la localización de las medidas estructurales recomendadas en el barrio Siloé parte 1. 458

Ilustración 289 Vista en planta de la localización de las medidas estructurales recomendadas en el barrio Siloé parte 2. 459

Ilustración 290 Vista local de la categorización de Amenaza por movimiento en masa en el Barrio La Brisas. 460

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

Ilustración 291 Cuneta longitud de la vía.....	462
Ilustración 292. Aislamientos mínimos para el pie de taludes con pendiente superior a 45°	463
Ilustración 293 Detalle típico muro de gravedad.....	464
Ilustración 294 Dimensionamiento del Muro de gravedad H: 3.5 m.....	465
Ilustración 295 Dimensionamiento del Muro de gravedad H: 3.5 m. Evidencia de Cumplimiento de los Factores de seguridad estáticos Capacidad Portante, Deslizamiento, Volcamiento.	466
Ilustración 296 Dimensionamiento del Muro de gravedad H: 3.5 m. Evidencia de Cumplimiento de los Factores de seguridad dinámicos Deslizamiento y Volcamiento.	466
Ilustración 297 Dimensionamiento del Muro en voladizo H: 3.0 m.....	468
Ilustración 298 Dimensionamiento del Muro en voladizo H: 3.0 m. Evidencia de Cumplimiento de los Factores de seguridad estáticos Capacidad Portante, Deslizamiento, Volcamiento.....	469
Ilustración 299 Dimensionamiento del Muro de gravedad H: 3.0 m. Evidencia de Cumplimiento de los Factores de seguridad dinámicos Deslizamiento y Volcamiento.	469
Ilustración 300 Vista del perfil 8 en condición actual.....	471
Ilustración 301 Vista del perfil 8 en condición crítica FS 0.895	471
Ilustración 302 Vista del perfil 8 con obras de control de infiltración de aguas superficiales y de infiltración FS 1.209.....	472
Ilustración 303 Vista local de la categorización de Amenaza por movimiento en masa en el Barrio Los Olivos.....	473
Ilustración 304 Vista de taludes expuestos inestables en el Barrio Los Olivos	474
Ilustración 305 Cuneta longitud de la vía.....	474
Ilustración 306. Aislamientos mínimos para el pie de taludes con pendiente superior a 45°	475
Ilustración 307 Perfil típico de un muro de contención en gravedad.....	477
Ilustración 308 Dimensionamiento del Muro de gravedad H: 3.5 m.....	478
Ilustración 309 Dimensionamiento del Muro de gravedad H: 3.5 m. Evidencia de Cumplimiento de los Factores de seguridad estáticos Capacidad Portante, Deslizamiento, Volcamiento.	478
Ilustración 310 Dimensionamiento del Muro de gravedad H: 3.5 m. Evidencia de Cumplimiento de los Factores de seguridad dinámicos Deslizamiento y Volcamiento.	479
Ilustración 311 Vista del perfil 3 en condición actual.....	480
Ilustración 312 Vista del perfil 3 en condición crítica FS 0.335	480
Ilustración 313 Vista del perfil 3 con obras de mitigación.....	481
Ilustración 314 Vista del perfil 3 con medidas de mitigación FS 1.3.....	481
Ilustración 315 Vista de los detalles de la implementación de la malla TECCO.....	483
Ilustración 316 Vista implantación de la malla para estabilización y malla control de erosión..	483
Ilustración 317 Pre dimensionamiento del Muro en Voladizo de H: 2.0 m.....	484
Ilustración 318 Pre dimensionamiento del Muro en Voladizo de H: 2.0 m. Evidencia de Cumplimiento a Capacidad Portante, Deslizamiento, Volcamiento dinámico y estático.	485

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

Ilustración 319 Vista local de la categorización de Amenaza por movimiento en masa en el Barrio Konrad Preuss	487
Ilustración 320 Vista local de la categorización de Amenaza por movimiento en masa en el predio de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.	488
Ilustración 321 Vista local de la categorización de Amenaza por movimiento en masa en el Barrio Nueva Alianza.....	490
Ilustración 322. Sectores a intervenir por amenaza de Inundación.....	493
Ilustración 323. Quebrada Las Moyas ubicación de piscina sector 1.....	495
Ilustración 324. Quebrada Las Moyas ubicación de Box Culvert sector 1.....	497
Ilustración 325. Quebrada Las Moyas sector 2.....	499
Ilustración 326. Quebrada Las Moyas ubicación de canal abierto sector 2.....	500
Ilustración 327 Quebrada Las Moyas sector 3.....	502
Ilustración 328.Canal S.	504
Ilustración 329 Quebrada Las Moyas ubicación de piscina parque Maloka sector 2.....	505
Ilustración 330. Detalle de viviendas a reubicar – sector 5.	507
Ilustración 331.Canal – sector 5.	508
Ilustración 332.Coliseo.	513
Ilustración 333. Localización Box Culvert– sector 6.....	515
Ilustración 334. – sector 7.	516
Ilustración 335. Localización Canal– sector 7.....	518
Ilustración 336. Zona Crítica– sector 8.	519
Ilustración 337. Canal sector 8.	520

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

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro- Área a Evaluar de Acuerdo al Estudio de Amenaza de la UNAL – municipio de San Agustín.....	35
Tabla 2. Identificación de viviendas afectadas por cauce quebrada Las Moyas.....	39
Tabla 3. Síntesis de amenazas por zona.....	53
Tabla 4. Relación de aerofotografías utilizadas para el estudio de Geología y Geomorfología del municipio de San Agustín, Huila.....	74
Tabla 5. Perfil de meteorización utilizado para agrupar los materiales geológicos en el mapa de unidades Geológicas de ingeniería.....	86
Tabla 6. Descripción de las unidades Geológicas para Ingeniería en la zona de estudio.....	99
Tabla 7. Mediciones de estratificación y familias de diaclasas en el terreno.....	101
Tabla 8. Inclinación de laderas.....	101
Tabla 9. Longitud de las laderas, Van Zuidam (1986).....	102
Tabla 10. Descripción de las unidades geomorfológicas del área de estudio.....	108
Tabla 11. Relación de aerofotografías utilizadas para el estudio de Geología y Geomorfología del municipio de San Agustín, Huila.....	118
Tabla 12. Clasificación de unidades hidroestratigráficas en la zona de estudio.....	129
Tabla 13. Coeficientes de diseño sísmico.....	131
Tabla 14. Sistema de coordenadas utilizadas en el mapa de cobertura municipio de San Agustín.....	135
Tabla 15. Leyenda del mapa de cobertura a escala 1:2.000 para el municipio de San Agustín.....	137
Tabla 16. Leyenda de Actualización del mapa de cobertura a escala 1:2.000 del área del municipio de San Agustín del departamento del Huila.....	138
Tabla 17 . Porcentajes de las áreas correspondientes a las coberturas identificadas en el municipio de San Agustín.....	162
Tabla 18. Información cartográfica en el municipio de San Agustín.....	166
Tabla 19. Parámetros morfométricos obtenidos de las cuencas generadas del casco urbano del municipio de San Agustín.....	166
Tabla 20. Estaciones representativas por municipio (casco urbano).....	169
Tabla 21. Valores de Precipitación Mensual.....	169
Tabla 22. Valores Medios de Temperatura Mensual.....	171
Tabla 23. Valores Totales de Evaporación Mensual.....	172
Tabla 24. Valores Medios mensuales de Humedad Relativa.....	174
Tabla 25. Valores Medios mensuales de Brillo Solar.....	175
Tabla 26. Estimación de los tiempos de concentración de las cuencas de los puntos críticos del municipio San Agustín.....	177

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

Tabla 27. Información hidrometeorológica en el municipio de San Agustín.....	178
Tabla 28. Relación de duraciones cortas de la lluvia	179
Tabla 29. Relación entre la lluvia de 1 hora y la de 24 horas.	179
Tabla 30. Serie Anual de Precipitación Máxima en 24 horas en la estación San Rafael.	180
Tabla 31. Serie Anual de Precipitación Máxima en 24 horas. Estación Betania TV.	181
Tabla 32. Ajuste a funciones de distribución de probabilidades. Estación Parque Arqueológico.	181
Tabla 33. Ajuste a funciones de distribución de probabilidades. Estación Betania TV.....	183
Tabla 34. Precipitación Máxima en 24 horas Estación Parque Arqueológico Estación Betania TV	184
Tabla 35. Curvas de Precipitación – Duración – Frecuencia de la Estación Parque Arqueológico.	185
Tabla 36. Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia de la Estación Parque Arqueológico.	185
Tabla 37: Curvas de Precipitación – Duración – Frecuencia de la Estación Betania TV.....	186
Tabla 38. Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia de la Estación Betania TV.....	186
Tabla 39. Caudales Máximos Instantáneos para Cada Hoya Hidrográfica.	193
Tabla 40. Coordenadas Exploración Geofísica Líneas Sísmica	196
Tabla 41. Clasificación Ripabilidad Vp L1.	198
Tabla 42. Resumen Perfil simple Vp L1.	198
Tabla 43. Resumen Tomografía Vs L1.....	199
Tabla 44. Clasificación Ripabilidad Vp L2.	200
Tabla 45. Resumen Tomografía Sísmica Vp L2.	200
Tabla 46. Resumen Tomografía Vs L2.	202
Tabla 47. Clasificación Ripabilidad Vp L3.	203
Tabla 48. Resumen Tomografía Sísmica Vp L3.	203
Tabla 49. Resumen Tomografía Vs L3.....	204
Tabla 50. Coordenadas Exploración con perforaciones.....	204
Tabla 51. Coordenadas Exploración Geofísica Líneas Sísmica.....	205
Tabla 52. Normas INVIAS para ensayos de laboratorio	205
Tabla 53. Parámetros de resistencia para el suelo Residual Sr-N2Q1vb	209
Tabla 54. Correlación mediante el SPT para la estimación de los parámetros de resistencia de Suelo residual Sr- N2Q1vb.....	211
Tabla 55. Correlación mediante el SPT y Cortes directos para la estimación de los parámetros de resistencia de Suelo residual.....	212
Tabla 56. Parámetros de resistencia para la roca dura Rd-N2Q1vb	216

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

Tabla 57. Parámetros de clasificación geomecánica RMR Bieniawski, 1989.	217
Tabla 58. Parámetros de clasificación geomecánica Hoek y Brown.....	218
Tabla 59. Parámetros de resistencia para el suelo Residual Sr-N2g.	221
Tabla 60. Correlación mediante el SPT para la estimación de los parámetros de resistencia de Suelo residual Sr-N2g.	223
Tabla 61. Correlación mediante el SPT y Cortes Directos para la estimación de los parámetros de resistencia de Suelo residual Sr-N2g.....	224
Tabla 62. Parámetros de resistencia para la roca intermedia Ri-N2g.	226
Tabla 63. Correlación mediante el SPT para la estimación de los parámetros de resistencia de Roca Intermedia.	227
Tabla 64. Perfil Geotécnico del área de estudio.	228
Tabla 65. Descripción de los Factores detonantes e intrínsecos evaluados para la amenaza por movimientos en masa.....	231
Tabla 66. 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.	233
Tabla 67. Distribuciones de Probabilidad y parámetros de las variables aleatorias (coeficiente de aceleración horizontal y nivel de agua) de la ecuación de talud infinito modificada.	236
Tabla 68. Parámetros de las variables geotécnicas aleatorias obtenidas de la caracterización geotécnica de la zona de estudio.	237
Tabla 69. Cohesión de las raíces de acuerdo con el tipo de cobertura.	238
Tabla 70 Categorización adoptada para Amenaza por movimientos en masa.	239
Tabla 71. Probabilidades de ocurrencia de los escenarios planteados para el factor detonante de agua.	242
Tabla 72. Probabilidad de los escenarios de análisis.	247
Tabla 73. Parámetros de las variables geotécnicas aleatorias obtenidas de la caracterización geotécnica de la zona de estudio. Fuente: Geocing SAS.	247
Tabla 74 Parámetros de estabilidad para el perfil P4.	261
Tabla 75 Porcentaje de amenaza por movimientos en masa sectorizado para el área total de la zona de estudio.	264
Tabla 76. Coeficientes de rugosidad de Manning seleccionados para el casco urbano del municipio de San Agustín.	278
Tabla 77. Caudales de las Crecientes Pico esperadas en la quebrada Las Moyas con sus respectivos afluentes.....	280
Tabla 78. Categorización de Amenaza por Inundación.	289
Tabla 79. Áreas y Porcentajes de cada nivel de amenaza por Inundación.....	291
Tabla 80. Clasificación de Amenaza por Avenida torrencial.	293

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

Tabla 81. Caudales de las Crecientes Pico esperadas en la quebrada Las Moyas con sus respectivos afluentes.....	293
Tabla 82 Áreas y Porcentajes de cada nivel de amenaza por Avenida Torrencial.	299
Tabla 83. Escala numérica para comparación entre pares	303
Tabla 84. Índices de aleatoriedad (IA) de las matrices de comparaciones por pares, según su orden (Ormazábal, 2002).	304
Tabla 85. Valores del número difuso triangular para las diferentes categorías borrosas.	305
Tabla 86. Criterios de resistencia de la estructura.	312
Tabla 87. Tipología de las viviendas.	312
Tabla 88. Clasificación de los daños según el DRM.	313
Tabla 89. Clasificación de la tipología de vías.	314
Tabla 90. Clasificación de los daños de la infraestructura vial.	314
Tabla 91. Rangos de velocidad utilizadas en el estudio.	315
Tabla 92. Categorías de las presiones laterales utilizadas en el estudio.....	316
Tabla 93. Matriz de daño utilizada en el estudio.....	316
Tabla 94. Matriz de daño para infraestructura vial para los tipos de vías presentes en el casco urbano.....	317
Tabla 95. Categoría de Daños según materiales y estructura.....	324
Tabla 96. Clasificación Difusa del índice de daño potencial de las viviendas.....	328
Tabla 97. Clasificación Difusa del índice de daño potencial de la infraestructura vial.	329
Tabla 98. Categoría de Daños según materiales y estructura para avenidas torrenciales.	330
Tabla 99. Índice de Daño Potencial por avenidas torrenciales de las Viviendas de 1 Piso.....	330
Tabla 100. Índice de Daño Potencial por avenidas torrenciales de las Viviendas de Poca Altura.	331
Tabla 101. Índice de Daño Potencial por avenidas torrenciales de las Viviendas de Altura Intermedia.	331
Tabla 102. Índice de Daño Potencial por avenidas torrenciales de las Viviendas de Gran Altura.	332
Tabla 103. Clasificación Difusa del índice de daño potencial por avenidas torrenciales de las viviendas.	333
Tabla 104. Pesos ponderados - Parámetro: Edad de la Construcción.	335
Tabla 105. Pesos - Parámetro: Número de pisos.....	335
Tabla 106. Pesos - Parámetro: Forma de construcción.	336
Tabla 107. Pesos – Tipo de entrepiso.....	337
Tabla 108. Pesos - Parámetro: Tipo de Cubierta.	338
Tabla 109. Pesos - Parámetro: Sistema Estructural.....	339

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

Tabla 110. Pesos - Parámetro: Estado del inmueble.	341
Tabla 111. Pesos ponderados - Parámetro: Daños en toda la construcción.....	341
Tabla 112. Pesos – Parámetro Localización de los Agrietamientos en la Estructura de la edificación.	342
Tabla 113. Pesos – Parámetro Localización de las Humedades en la Estructura de la edificación.	343
Tabla 114. Pesos - Parámetro: Severidad de Daños.....	344
Tabla 115. Descripción Tipología de la vivienda.....	344
Tabla 116 Pesos - Parámetro: Tipología de la vivienda.....	345
Tabla 117. Pesos de los parámetros evaluados para calcular el índice de daño actual.	348
Tabla 118. Categorización del índice de vulnerabilidad física.	349
Tabla 119. Números difusos utilizados para valorar el ID (potencial y actual) con una confianza del 100%	350
Tabla 120. Categorización de los parámetros para la vulnerabilidad cultural.	361
Tabla 121. Valoración de los parámetros Comunidades étnicas y Lugar de Procedencia.....	362
Tabla 122. Categorización de los parámetros para la vulnerabilidad socioeconómica.	363
Tabla 123. Valoración del parámetro edad vulnerable.	364
Tabla 124. Valoración del parámetro educación.	365
Tabla 125. Valoración del parámetro Limitación Física.	367
Tabla 126. Valoración del parámetro Uso Actual.....	368
Tabla 127. Valoración de Servicios Públicos.....	369
Tabla 128. Matriz de Comparación para la evaluación de las variables de la Vulnerabilidad Socioeconómica.....	371
Tabla 129. Pesos ponderados de las variables obtenidos por el método AHP para la Vulnerabilidad Socioeconómica.....	371
Tabla 130. Matriz de Comparación Borrosa para el cálculo de pesos difusos de las variables de la Vulnerabilidad Socioeconómica.	373
Tabla 131. Vector de pesos difusos para las variables evaluadas en la Vulnerabilidad Socioeconómica.....	375
Tabla 132.Intervalos izquierdo y derecho (P_{α} -left y P_{α} -right respectivamente) del vector de pesos para la Vulnerabilidad Socioeconómica.....	375
Tabla 133. Pesos Normalizados de las Variables para la evaluación de la Vulnerabilidad Socioeconómica.....	376
Tabla 134. Categorización de los parámetros para la vulnerabilidad social.	376
Tabla 135. Categorización de la vulnerabilidad Total.	381
Tabla 136. Costo estimado para las vías (Valor en m/l)	391
Tabla 137. Categorización del riesgo.....	396

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

Tabla 138. Valores de los índices de vulnerabilidad, amenaza y riesgo por movimientos en masa del casco urbano de San Agustín.	398
Tabla 139. Valores de los índices de vulnerabilidad, amenaza y riesgo por inundación del casco urbano de San Agustín.	403
Tabla 140. Valores de los índices de vulnerabilidad, amenaza y riesgo por avenida torrencial del casco urbano de San Agustín.	407
Tabla 141. Relación de áreas de exclusión zona de estudio.	415
Tabla 142 Área de protección para cauces secundarios.	417
Tabla 143 Cuñas probables de falla para un talud vertical a diferentes alturas.	420
Tabla 144. Áreas de zonificación ambiental para la zona de estudio.	422
Tabla 145 Resumen de área de la zonificación ambiental.	423
Tabla 146 Construcciones que deben ser reubicadas de la Zona 1- Barrio Siloé.	426
Tabla 147 Presupuesto estimado para las obras en la Zona 1- Barrio Siloé.	427
Tabla 148 Presupuesto estimado para las obras en la Zona 2- Barrio Siloé.	429
Tabla 149 Construcciones que deben ser reubicadas de la Zona 3- Barrio Siloé.	430
Tabla 150 Presupuesto estimado para las obras en la Zona 3- Barrio Siloé.	431
Tabla 151 Presupuesto estimado para las obras en la Zona 4- Barrio Siloé.	435
Tabla 152 Presupuesto estimado para las obras en la Zona 5- Barrio Siloé.	437
Tabla 153 Identificación de viviendas en el Barrio Siloé categorizadas en riesgo alto.	437
Tabla 154 Factores de seguridad mínimos exigidos en la NSR-10.	442
Tabla 155 Dimensiones muros típicos.	444
Tabla 156 Identificación de puntos críticos en el Barrio Las Brisas.	460
Tabla 157 Factores de seguridad mínimos exigidos en la NSR-10.	465
Tabla 158 Dimensiones tipificadas para los muros en gravedad.	467
Tabla 159 Dimensiones de los muros típicos.	470
Tabla 160 Construcciones que se deben reubicar.	470
Tabla 161 Presupuesto estimado para las obras en el Barrio Las Brisas.	472
Tabla 162 Factores de seguridad mínimos exigidos en la NSR-10.	477
Tabla 163 Dimensiones de los muros típicos.	479
Tabla 164 Construcciones a reubicar en el Barrio Los Olivos.	486
Tabla 165 Presupuesto estimado para las obras en el Barrio Los Olivos.	486
Tabla 166 Construcciones a reubicar en el Barrio San José.	489
Tabla 167 Presupuesto estimado para las obras en el Barrio San José.	489
Tabla 168 Construcciones que se DEBEN reubicar en el Barrio Nueva Alianza.	490
Tabla 169 Presupuesto estimado para las obras en el Barrio Nueva Alianza.	491
Tabla 170 Construcciones que se DEBEN reubicar en el Barrio Rodrigo Lara Bonilla.	491

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

Tabla 171 Presupuesto estimado para las obras en el- Barrio Rodrigo Lara Bonilla	492
Tabla 172 . Presupuesto reubicación Punto Crítico 1	496
Tabla 173. Dimensiones típicas de Box Culvert.....	496
Tabla 174. Presupuesto sector 1	498
Tabla 175 Presupuesto estimado para las obras Primer Sector.....	498
Tabla 176 Presupuesto sector 2	499
Tabla 177 Presupuesto sector 2	501
Tabla 178 Presupuesto Box Culvert Sector 2	501
Tabla 179 Presupuesto estimado para las obras Segundo Sector	501
Tabla 180 Presupuesto Reubicación Sector 3	503
Tabla 181 Presupuesto Canal Sector 3	504
Tabla 182 Presupuesto estimado para las obras Tercer Sector	505
Tabla 183. Presupuesto Reubicación sector 4.....	506
Tabla 184 Presupuesto estimado para las obras Cuarto Sector	506
Tabla 185 Presupuesto Reubicación sector 5.....	507
Tabla 186 Presupuesto Canal 3 sector 5	509
Tabla 187 Presupuesto Canal 4 sector 5.....	509
Tabla 188 Presupuesto Canal 5 sector 5	510
Tabla 189 Presupuesto Canal 6 sector 5	510
Tabla 190 Presupuesto Box Culvert 3 Sector 5	511
Tabla 191 Presupuesto Box Culvert 4 Sector 5	511
Tabla 192 Presupuesto Box Culvert 5 Sector 5	512
Tabla 193 Presupuesto Box Culvert 6 Sector 5	512
Tabla 194 Presupuesto estimado para las obras Quinto Sector.....	512
Tabla 195 Presupuesto Reubicación Coliseo.....	514
Tabla 196 Presupuesto de Box Culvert Sector 6.....	515
Tabla 197 Presupuesto estimado para las obras Sexto Sector	516
Tabla 198 Presupuesto Reubicación Séptimo Sector	517
Tabla 199 Presupuesto Canal 7 Séptimo Sector.....	518
Tabla 200 Presupuesto estimado para las obras Séptimo Sector	519
Tabla 201 Presupuesto Reubicación Octavo Sector	520
Tabla 202 Presupuesto canal Octavo Sector	521
Tabla 203 Presupuesto Box Culvert.....	521
Tabla 204 Presupuesto estimado para las obras Octavo Sector	522
Tabla 205. Áreas y Porcentajes de cada nivel de amenaza por inundación.....	524

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

Tabla 206. Valor de la vulnerabilidad total por movimientos en masa para el casco urbano de San Agustín..... 526

Tabla 207. Valor de la vulnerabilidad total por inundación para el casco urbano de San Agustín. 526

Tabla 208. Valor de la vulnerabilidad total por avenida torrencial para el casco urbano de San Agustín..... 526

Tabla 209. Valor del riesgo por movimientos en masa para el casco urbano de San Agustín. .527

Tabla 210. Categoría de riesgo por movimientos en masa de las construcciones y sus pérdidas esperadas. 527

Tabla 211. Categoría de riesgo por movimientos en masa la infraestructura vial y sus pérdidas esperadas. 527

Tabla 212. Valor del riesgo por inundación para el casco urbano de San Agustín. 528

Tabla 213. Categoría de riesgo por inundación de las construcciones y sus pérdidas esperadas. 528

Tabla 214. Categoría de riesgo por inundación de la infraestructura vial y sus pérdidas esperadas. 529

Tabla 215. Valor del riesgo por avenida torrencial para el casco urbano de San Agustín..... 529

Tabla 216. Categoría de riesgo por avenida torrencial de las construcciones y sus pérdidas esperadas. 530

Tabla 217. Categoría de riesgo por avenida torrencial de las vías y sus pérdidas esperadas.. 530

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

LISTA DE PLANOS GENERALES

MAPA	NOMENCLATURA
PLANTA TOPOGRÁFICA	GE426-SAN-PSIG-TPG-001-00
MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL	GE426-SAN-PSIG-MDT-001-00
IMAGEN SATELITAL	GE426-SAN-PSIG-IDR-001-00
EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO	GE426-SAN-PSIG-ES-001-00
COBERTURA Y USO DE SUELO	GE426-SAN-PSIG-CS-001-00
GEOLOGÍA LOCAL	GE426-SAN-PSIG-GE-001-00
GEOMORFOLOGÍA LOCAL	GE426-SAN-PSIG-GM-001-00
AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA	GE426-SAN-PSIG-AMM-001-00
AMENAZA POR INUNDACIÓN	GE426-SAN-PSIG-AZI-001-00
VULNERABILIDAD MOVIMIENTOS EN MASA	GE426-SAN-PSIG-VTF-001-00
VULNERABILIDAD INUNDACIÓN	GE426-SAN-PSIG-VTI-001-00
RIESGO MOVIMIENTOS EN MASA	GE426-SAN-PSIG-RRM-001-00
RIESGO INUNDACIÓN	GE426-SAN-PSIG-RPI-001-00
ZONIFICACIÓN AMBIENTAL	GE426-SAN-PSIG-RAT-001-00
OBRAS	GE426-SAN-PSIG-RRM-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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

1 INTRODUCCIÓN

El municipio de San Agustín, al igual que la mayor parte del país está localizado en un área de amenaza sísmica alta, la cual se extiende desde el Macizo Colombiano hacia el norte del territorio, continuando su recorrido por las cordilleras oriental y central. La principal causa de amenaza la constituyen por tanto, los movimientos sísmicos que se ven acentuados por las numerosas fallas geológicas presentes en la zona. En los últimos años el municipio se ha visto afectado por movimientos en masa, inundaciones, procesos erosivos consecuencia en parte a las fuertes temporadas invernales y cambios climáticos; es por ello que en el municipio se han invertido recursos para la elaboración de estudios que permitan evaluar las amenazas presentes. Uno de los estudios más importantes ha sido el realizado por la universidad Nacional en el cual se indica que las amenazas naturales de mayor impacto para el casco urbano del municipio de San Agustín son las de origen geomorfológico (movimientos en masa), de origen hidroclimático (inundación) generado por la quebrada las Moyas, río los Naranjos y amenaza antrópica (estación de servicio).

Debido a la necesidad anteriormente descrita, 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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015”; el cual es objeto del actual estudio.

Dentro del presente documento se presenta el desarrollo de las actividades relacionados con: topografía, estudios de suelos, geología, geotecnia, estudios hidrológicos e hidráulicos, socavación y análisis de estabilidad; los cuales fueron insumo para la realización de la zonificación de la amenaza por inundación, movimientos en masa y avenida torrencial (escala 1:2.000) para posteriormente poder obtener el análisis de vulnerabilidad (física, social y total) de las construcciones existentes en el área de estudio. 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. Adicionalmente se presentan los términos de referencia y las especificaciones de construcción correspondiente a 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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</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 San Agustín en el departamento del Huila, teniendo en cuenta los lineamientos del decreto 1077 de 2015”.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para el municipio de San Agustín 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 estudio de suelos, geológicos y geotécnicos correspondiente al área de estudio.
- Realizar estudio detallado de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo de la zona de estudio.
- Identificar las amenazas por eventos naturales de deslizamiento de ladera, inestabilidad de cauce, inundación y/o avenidas torrenciales para el casco urbano a escala 1:2.000.
- Realizar estudio hidrológico, hidráulico y de socavación en la zona de estudio.
- Evaluar el análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo frente a los de 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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

3 LOCALIZACIÓN

El municipio de San Agustín se encuentra situado al suroccidente del departamento del Huila, en la parte oriental del Macizo Colombiano, región donde se encuentra el Valle Alto del río Magdalena resguardado naturalmente por las primeras estribaciones de las cordilleras Central y Oriental, desde donde fluye la más significativa riqueza hídrica de Colombia, la jurisdicción territorial es de 1.389,77 Km², su topografía está caracterizada por área montañosa, con alturas entre los 1250 y 4350 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con los municipios de Ísnos y Puracé (Cauca), al sur, con los municipios de San Sebastián y Santa Rosa (Cauca), al oriente, con el municipio de Pitalito (Huila) y al occidente con los municipios de Puracé y Sotaró (Cauca). A continuación se presenta la localización del municipio de estudio.

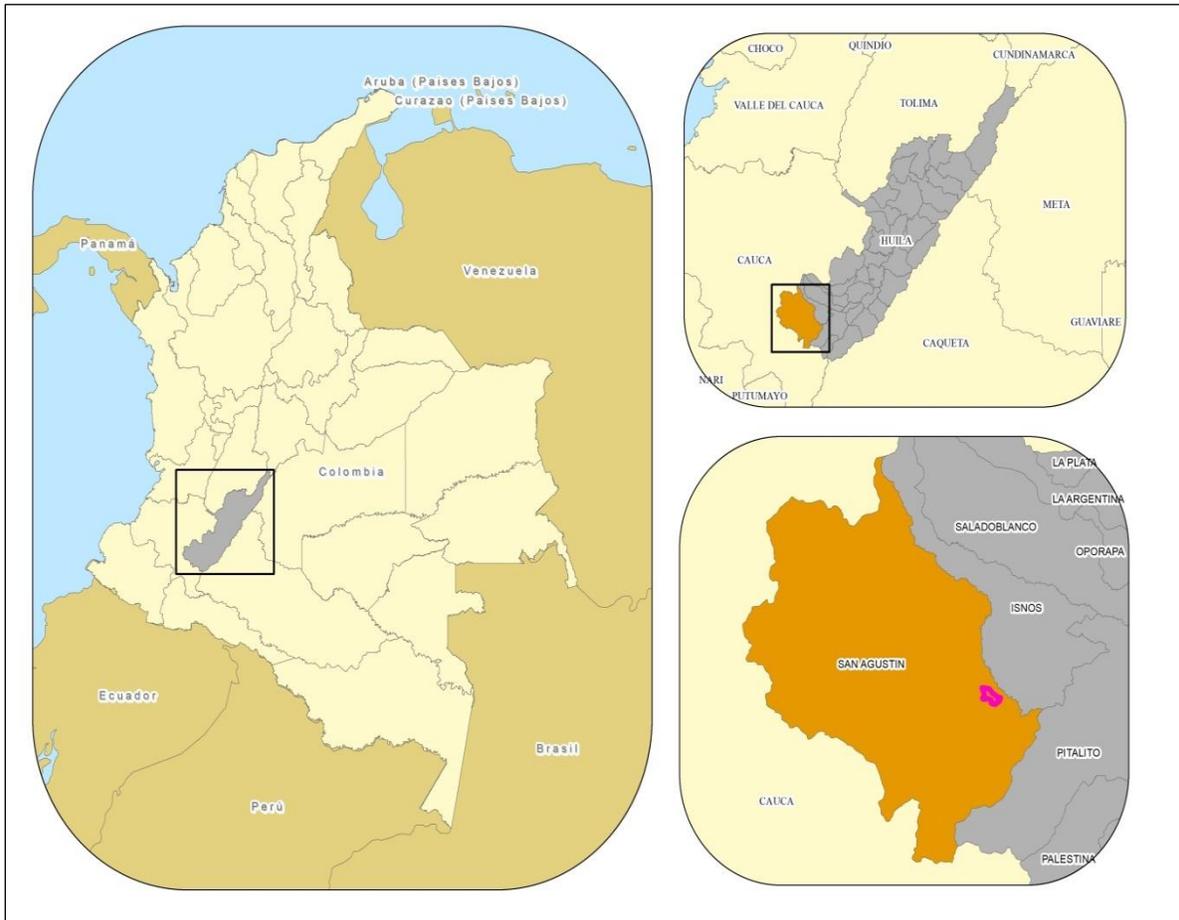


Ilustración 1. Localización general del municipio de estudio San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

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

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN

En la región sur-occidental del departamento del Huila las amenazas potenciales de origen natural están relacionadas con la actividad sísmica, los procesos erosivos presentes en la zona y el régimen de corrientes principalmente, así como con los cambios climáticos del Niño y la Niña. El municipio de San Agustín, al igual que la mayor parte del país está localizado sobre un área de amenaza sísmica alta, la cual se extiende desde el Macizo Colombiano hacia el norte del territorio, continuando su recorrido por las cordilleras oriental y central. En el área de estudio se han identificado además amenazas de origen geomorfológico (movimientos en masa), de origen hidroclimático (inundación) generado por la quebrada las Moyas, río los Naranjos y amenaza antrópica (estación de servicio).

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.

Así mismo este estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo permitirá establecer rondas de protección o aislamientos de las fuentes hídricas que surca el casco urbano, su situación actual o diagnóstico en función del riesgo, su grado de intervención antrópica y la distancia mínima que debe dejarse para su protección y en el cual no puede haber desarrollo urbanístico.

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

4 ACTIVIDADES REALIZADAS

4.1 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

Esta actividad consistió en acudir a diversos lugares (Alcaldía municipal de San Agustín, CAM, cuerpos de bomberos y demás entidades) que poseían información sobre la zona de estudio y/o los temas relacionados para el desarrollo del objeto del contrato.

Se recopiló información secundaria temática, cartográfica de la zona de estudio; así mismo estudios sobre amenaza, vulnerabilidad y riesgo, extraída del POT del municipio de San Agustín, estudio de evaluación de amenazas realizados por la CAM y la Universidad Nacional, noticias relevantes relacionadas con la gestión de riesgo, identificando las amenazas presentes en la zona de estudio tales como amenaza sísmica, amenazas de tipo geológico, geomorfológico, amenazas de origen hidrometeorológico y a su vez problemáticas por inundaciones, movimientos en masa, erosión fluvial, entre otras que afectan a los habitantes del municipio. 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 (remociones 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)

De acuerdo a la recopilación y análisis de la información; se identificó en el estudio denominado “Evaluación de las amenaza potenciales de origen geológico (actividad sísmica, volcánica), geomorfológico (movimientos en masa, erosión) e hidrometeorológico (dinámica fluvial, inundaciones y Sequias)” realizado por la Universidad Nacional cada una de las amenazas que afecta al municipio de San Agustín. Esta información es de gran utilidad para los análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo; dado que permite determinar las áreas que se encuentran expuestos ante alguna categoría de amenaza. En la Tabla 1 se presenta las amenazas y áreas que fueron identificadas en el estudio mencionado anteriormente para el casco urbano del municipio de San Agustín.

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

Tabla 1. Cuadro- Área a Evaluar de Acuerdo al Estudio de Amenaza de la UNAL – municipio de San Agustín.

Municipio de San Agustín	Área (m ²)
Aml (amenaza media por inundación)	23,047
AmRM (amenaza media por movimientos en masa)	111,253
An (amenaza nula)	1193,59
Área total	1327,89

Fuente: (CAM - Idea UN, 1999).

- **Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT, 2012)**

De acuerdo a la revisión del PBOT para el municipio de San Agustín, en el municipio se han identificado amenazas naturales de origen antrópico, geomorfológico e hidroclimático, etc. A continuación se presenta la recopilación y análisis de la información suministrada en este documento.

- **Amenazas de origen geomorfológico**

En la zona de la colina El Templete, se presentan pendientes de media inclinación (mayores de 15°) y suelos no aptos para la construcción; allí se ha identificado una amenaza de categoría media por movimientos en masa. En los últimos años en esta colina se han aumentado la construcción de viviendas; las cuales no cumplen con las normas actuales sismoresistente; adicionalmente no se ha realizado en la zona el manejo de aguas servidas ni aguas lluvias (escorrentía). Aunque no se han tenido reportes de deslizamientos anteriores es importante resaltar que las condiciones actuales pueden generar deslizamientos afectando en un futuro un buen sector del municipio.

- **Amenazas de tipo geológico**

La cabecera municipal de San Agustín se encuentra ubicada en una zona de amenaza sísmica alta y la falla Pitalito- Altamira está localizada aproximadamente a 5 Km al noroccidente del municipio y la falla Suaza a 14 Km al sur-oriente del mismo, en la cordillera oriental, el cual según el Ingeominas 1989, presenta evidencias de actividad neo-tectónica.

- **Amenazas de origen antrópico**

En el municipio se identificaron dos estaciones de servicio las cuales dado a su cercanía a la población; en algún momento pudiesen representar una amenaza.

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

La estación ubicada a la entrada del municipio, en el momento no presenta ninguna amenaza para la población ya que se encuentra lo suficientemente retirada del casco urbano para ser considerada como una amenaza. Existe otra estación de servicio ubicada en la calle 1 entre las carrera 8 y 9 en el perímetro urbano, para la cual se recomienda un perímetro de seguridad de 15 metros como mínimo, donde no se debe permitir ningún tipo de construcción habitacional.

• Amenazas por procesos morfodinámicos y movimientos en masa

Estas amenazas se han identificado al sur del municipio en las veredas Alto Frutal, Bajo Frutal, Las Delicias, Buenos Aires, Los Pinos, Argelia y La Castellana principalmente. A continuación se presentan las zonas puntuales donde se han identificado problemas de movimientos en masa:

1. *Carretera El Palmar - Río Mazamorras:* Presenta la falla Mazamorras, zona de alta humedad y procesos intensivos de uso del suelo, donde se han presentado deslizamientos del suelos especialmente el de taludes y laderas sobre esta vía.
2. *Carretera El Palmar – Platanares:* Por saturación y usos intensivos del suelo, deforestación, se han generado fallas en la banca de la vía.
3. *Vereda de Villa Fátima:* Se han generado derrumbes por humedad y uso intensivo del suelo y deforestación; en zonas aledañas a la escuela, el polideportivo y varias viviendas; además se han presentado deslizamientos sobre sectores de la vía de acceso, entre Pradera y Villa Fátima.
4. *Vereda Las Eras:* Sobre la vía de acceso a esta vereda se ha identificado dos zonas que por humedad y uso intensivo del suelo pueden provocar deslizamientos principalmente sobre la quebrada La Crespita.
5. *Vereda de Alto Frutal:* Zona boscosa, falla geológica que se manifiesta por el lento desplazamiento hacia el lecho de la quebrada de Matanzas de una gran masa, como consecuencia de agua retenida por el suelo, con incidencia en el posible represamiento de esta fuente hídrica.
6. *Vereda de Bajo Frutal:* Sobre la vía, por humedad, deforestación y uso intensivo del suelo con afectación de la vía, en el sitio denominado el “Hueco del diablo”.
7. *Carretera veredas Alto Frutal-Bajo Frutal-La Tribuna:* Esta vía es una de las más afectadas en tiempo de invierno pues cuenta con distintos sitios donde se generan deslizamientos, provocando el cierre de la carretera.
8. *Vereda de El Cedro:* Por uso intensivo del suelo, humedad y deforestación, con

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

posible afectación de la vía de acceso, cultivos y viviendas, en dos zonas.

9. Vereda San Lorenzo: Por uso intensivo del suelo, humedad, y deforestación, con afectación de cultivos, viviendas y la vía a La Florida.

10. Vereda Simón Bolívar (parte alta): Por humedad y uso intensivo del suelo, con afectación posible de viviendas.

11. Carretera El Playón - Alto del Obispo: Desplazamiento pendiente abajo, por el uso intensivo del suelo (extracción de materiales de afirmado de vías) y por humedad en período de lluvias, con afectación de la vía y de vehículos en la vereda de El Playón.

12. Carretera San Agustín-Sombrerillos: La vía de comunicación entre la vereda La Florida al municipio, se han presentado deslizamientos de material pétreo y masas de suelo, con detonantes como las fuertes lluvias y la erosión generada en el sitio del “cajón”.

13. Carretera Los Cauchos–Santa Clara: Presenta dos sectores donde se manifiestan latente riesgo de deslizamiento ubicados en la vereda Los Cauchos.

14. Carretera veredas La Argentina-La Palmita-La Esperanza: Se han presentado derrumbes y deslizamientos sobre este tramo vial de grandes proporciones generando obstaculización del paso vehicular y la incomunicación de esta región con el resto del municipio.

15. Carretera Obando-Agua Bendita-El Jabón: En épocas de lluvias se han presentado derrumbes y deslizamientos en diez sectores de esta vía, provocando el cierre total y parcial en varias ocasiones.

16. Carretera Pedregal-La Estrella: Se ha presentado varios deslizamientos sobre esta vía, especialmente en la vereda Pedregal.

17. Carretera Nazaret-Sevilla: La fuerte pendiente y el uso de los suelos para la ganadería y la agricultura han generado deslizamientos sobre esta carretera especialmente en la vereda Nazaret.

18. Carretera La Argelia-Las Delicias: En esta vía se presentan constantemente derrumbes.

- **Amenazas de origen hidroclimático**

Las corrientes que se han reportado con algún tipo de torrencialidad en el municipio de San Agustín corresponden al río Naranjos. En el año 1982 un evento de torrencialidad afectó a más de 25 familias y taponó varias vías de comunicación. En la información

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

recopilada se indica que las márgenes de este río desde unos 5 Km aguas arriba desde San Agustín hasta la desembocadura al río Magdalena se considere como área con susceptibilidad avenidas torrenciales.

Otras fuentes asociadas a esta condición, son las quebradas Negra y La Robada y río Quinchana que se encuentran en la vereda Puerto Quinchana, las cuales han ocasionado desplazamiento de volúmenes de suelo, detritos, piedra y roca por humedad y deforestación con posibles avalanchas, afectando la carretera, imposibilitando su circulación en épocas de lluvias. Esta misma situación se presenta en otros sitios del municipio, principalmente sobre las quebradas Grande y Chiquita en la vereda Cascajal; quebradas EL Palmar y La Caliente en la vereda El Palmar; quebradas Las Minas y Aguas Claras en la vereda Los Cauchos; quebradas El Chulo y El Chorro en la vereda La Pradera.

Amenazas por inundación: La quebrada las Moyas hace su recorrido por el sector occidental y sur del municipio, debido a sus características de baja pendiente y la tamaños de grano de los materiales de arrastre de su cauce no presenta un comportamiento torrencial, aunque dada la intervención antrópica en dos sectores de la misma, esta presenta problemas por inundación. En el sector de la piscina municipal, vía al parque arqueológico, se canalizo un pequeño tramo de aproximadamente 20 metros de la quebrada; canal que en épocas de crecientes no tiene la capacidad de evacuar el agua, ocasionando el desborde de la quebrada, colmatando la piscina e inundando las viviendas aledañas, en la Ilustración 2



Ilustración 2. Sector de la piscina, que a causa de la canalización inunda el sector.
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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

En el sector del Coliseo, se presentó el mismo problema, afectando viviendas ubicadas entre la Carrera 12 y la Calle 1, el área recreacional del colegio y la vía que pasa por allí (Ver Ilustración 3).



Ilustración 3. Sector inundado por canalización contigua al coliseo.
Fuente: (CAM - Idea UN, 1999) PBOT Municipio De San Agustín – Huila.

A continuación se presentan en la Tabla 2, la recopilación de viviendas afectadas por el cauce de la quebrada Las Moyas y a su vez información de la categoría de amenaza.

Tabla 2. Identificación de viviendas afectadas por cauce quebrada Las Moyas.

Localización	Descripción	Registro fotográfico	Amenaza
<p>Corresponde al área aledaña a la quebrada Las Moyas entre la vía que conduce al Parque Arqueológico y la Piscina Municipal.</p>	<p>Las Viviendas han sido construidas aledañas al cauce de la quebrada Las Moyas, los patios son inundados en las crecientes periódicas, En el caso de la piscina la cual se encuentra aledaña al cauce de la quebrada y ha sido inundada en varias ocasiones.</p>		<p>AMENAZA ALTA por Inundación.</p>

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

Localización	Descripción	Registro fotográfico	Amenaza
<p>Corresponde al área aledaña a la quebrada Las Moyas a la altura de la desembocadura de la Quebrada El Batán.</p>	<p>Las Viviendas han sido construidas al pie del cauce de la quebrada Las Moyas, los patios son inundados en las crecientes periódicas, la zona habitable de las Viviendas ha sido alcanzada por las aguas. Debido al remanso que se forma en la confluencia de las dos quebradas.</p>		<p>AMENAZA ALTA por Inundación</p>
<p>Corresponde al área aledaña a la quebrada Las Moyas a la altura de la Piscina del Parque recreacional Maloka.</p>	<p>La piscina y la infraestructura del parque fueron construidas sobre el cauce de la quebrada, para lo cual modificaron su curso canalizándolo. La sección del canal es insuficiente, no hay ronda de protección hídrica, en crecientes periódicas se desborda inundando la piscina.</p>		<p>AMENAZA ALTA por Inundación</p>
<p>Corresponde al área aledaña a la quebrada Las Moyas a la altura de la Calle tercera con Carrera 16. Barrio Primero de Mayo.</p>	<p>Las Viviendas han sido construidas al pie del cauce de la quebrada Las Moyas, los patios son inundados en las crecientes periódicas, la zona habitable de las Viviendas ha sido alcanzada por las aguas. El cauce de la quebrada fue desviado y se hizo un terraplén para construcción de Viviendas.</p>		<p>AMENAZA ALTA por Inundación</p>
<p>Corresponde al área aledaña a la quebrada Las Moyas a la altura de la Calle segunda entre Carreras 15 y 16 Barrio Santa Teresita</p>	<p>Las Viviendas han sido construidas al pie del cauce de la quebrada Las Moyas, los patios son inundados en las crecientes periódicas, la zona habitable de las viviendas ha sido alcanzadas por las aguas. La luz del puente es insuficiente y hace represar las aguas en las crecientes</p>		<p>AMENAZA ALTA por Inundación.</p>

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

Localización	Descripción	Registro fotográfico	Amenaza
<p>Corresponde a las Viviendas ubicadas en el costado sur de la Calle primera entre la Carrera 11 hasta el cauce de la quebrada las Moyas. Barrio San José.</p>	<p>Las Viviendas han sido construidas al pie del cauce de la quebrada Las Moyas, los patios son inundados en las crecientes periódicas, la zona habitable de las Viviendas ha sido alcanzada por las aguas negras son vertidas directamente a la quebrada.</p>		<p>AMENAZA ALTA por Inundación</p>

Fuente: (Municipio de San Agustín - Huila, 2012).

• Amenaza volcánica

El estudio de Amenazas elaborado por el IDEA de la Universidad Nacional para la CAM, en el informe regional, menciona que en la zona occidental del departamento, en una región comprendida entre los municipios de San Agustín al sur y San Agustín al norte, existen algunos edificios volcánicos de moderadas proporciones, en buen estado de conservación geomorfológica de sus conos, pero que en opinión de los expertos vulcanólogos son volcanes inactivos y no representan ningún peligro para las poblaciones circundantes.

• Centro poblado Puerto Quinchana

Hacia el costado occidental se ha presentado un movimiento en masa el cual, deja en riesgo alto a una vivienda que se encuentra en la zona. Todo este costado se cataloga con amenaza media por deslizamiento a excepción del extremo occidental el cual la amenaza es alta. Respeto a la vulnerabilidad ninguna vivienda tiene muros de contención, ni manejo adecuado del talud ni de aguas; en el sector la vulnerabilidad se encuentra en categoría media. Por consiguiente el nivel de riesgo es medio, la vivienda ubicada en construcción se localiza en una zona con nivel de riesgo alto no mitigable. En las otras viviendas la amenaza y el riesgo son mitigables (Ver Ilustración 4 e Ilustración 5).

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



Ilustración 4. Ladera de alta pendiente en el costado occidental del centro poblado de Puerto Quinchana.

Fuente: (Municipio de San Agustín - Huila, 2012).

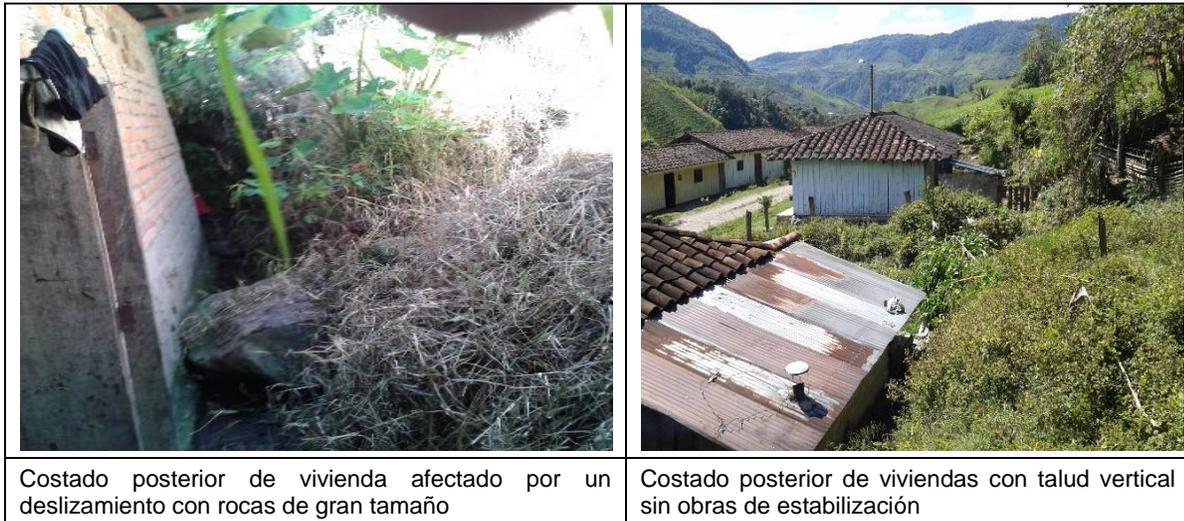


Ilustración 5. Zona posterior de las viviendas del costado occidental del centro poblado de Puerto Quinchana.

Fuente: (Municipio de San Agustín - Huila, 2012).

Muchas de las viviendas presentan agrietamientos y hundimiento; en esta zona del costado occidental se presenta amenaza y vulnerabilidad en categoría alta. Las construcciones que se encuentran en la zona no cumplen con la normativa vigente (NSR-10), adicionalmente en la sector se encuentran 5 viviendas en riesgo alto. Dentro de las medidas que se han planteado en el estudio de la Universidad Nacional y la CAM se propuso la implementación de un sistema de manejo de aguas superficiales y subsuperficiales en el sector del colegio, adicionalmente estructuras de contención 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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

área de caseta municipal y el puesto de salud con el fin de mitigar los procesos de movimientos en masa y controlar la inestabilidad que afecta la zona.



Viviendas en zona de amenaza alta por deslizamiento



Viviendas con evidencias de deslizamiento, sus paredes están agrietadas



Zona posterior del colegio con alta humedad y evidencia de asentamientos

Parte posterior del puesto de salud y caseta comunal y manejo inadecuado de talud

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

Ilustración 6. Evidencias de amenazas y riesgo en el costado oriental del centro poblado de Puerto Quinchana.

Fuente: (Municipio de San Agustín - Huila, 2012).

De acuerdo a la información suministrada por los pobladores, en los últimos 50 años, se han presentado crecientes de gran magnitud, pero sin llegarse a desbordar de su cauce. Dentro del centro poblado también se identificaron dos puntos críticos en los cuales se han presentado flujos de lodo y rocas afectando algunas viviendas y la vía principal (Ver Ilustración 7).

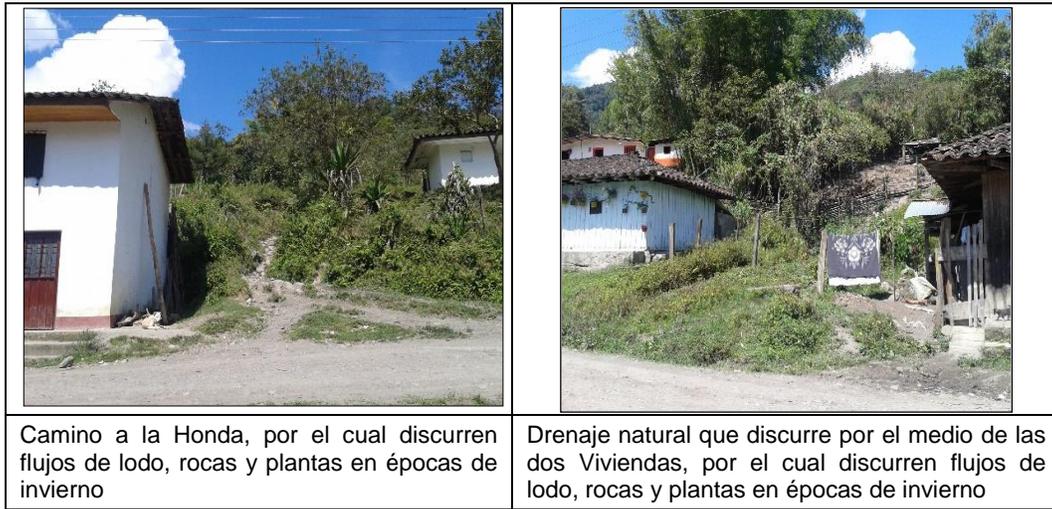


Ilustración 7 Puntos críticos afectados por flujos torrenciales, Centro Poblado Puerto Quinchana.

Fuente: (Municipio de San Agustín - Huila, 2012)

• Centro Poblado Los Cauchos

La ubicación actual del centro poblado obedece a la reubicación sufrida a raíz de la avalancha de la quebrada Los Cauchos en el año 2006. Las viviendas se localizan en el piedemonte de una ladera en una zona con pendientes entre el 25 y el 25%. Su construcción se ha hecho mediante el taraceo sin un manejo adecuado de taludes. En la zona se identificó amenaza media por movimiento en masa (Ver Ilustración 8).

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

	
<p>Viviendas construidas en terrazas</p>	<p>Talud en la parte posterior sin muro de contención</p>
	
<p>Talud lateral sin muro de contención</p>	<p>Vivienda en zona de amenaza por inundación y deslizamiento, debe ser reubicada</p>

Ilustración 8 Registro fotográfico viviendas amenazadas por deslizamiento en el Centro Poblado Los Cauchos.

Fuente: (Municipio de San Agustín - Huila, 2012)

El centro poblado en el año 1996 fue afectado por una avalancha de la quebrada Matanzas, por lo cual fue necesaria la reubicación total. Luego de la reubicación se han construido cinco Viviendas en la zona de amenaza alta por inundación, sin ninguna obra de protección (Ver Ilustración 9).

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



Ilustración 9 Viviendas ubicadas en la zona de amenaza alta por inundación de la Quebrada Matanzas. Centro Poblado Los Cauchos.
Fuente: (Municipio de San Agustín - Huila, 2012).

Por el centro poblado pasa la quebrada las Minas, antes de ingresar al perímetro del centro poblado a la altura del tanque de almacenamiento del acueducto, debido a que su cauce no tiene gran profundidad; estas pueden desbordarse y afectar a las viviendas que se encuentran construidas dentro de la ronda hídrica de la quebrada reubicarlas (Ver Ilustración 10).

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



Ilustración 10 Viviendas ubicadas en la zona de amenaza alta por flujos torrenciales de la Quebrada Las Minas. Centro Poblado Los Cauchos.
Fuente: (Municipio de San Agustín - Huila, 2012)

La quebrada Aguas Claras pasa contiguo a la escuela Los Cauchos, en épocas de invierno presenta fuertes crecientes, que han amenazado la infraestructura de la escuela así con la estabilidad de sitio donde está construida por lo cual se ha recurrido a la construcción de gaviones (Ver Ilustración 11).



Ilustración 11 Escuela Los Cuchos ubicada en la zona de amenaza alta por flujos torrenciales de la Quebrada Aguas Claras.
Fuente: (Municipio de San Agustín - Huila, 2012)

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

Contiguo al perímetro del centro poblado hacia la vía que conduce al municipio de Pitalito, se localiza una vivienda la cual ha sufrido constantes inundaciones (Ver Ilustración 12).



Ilustración 12. Vivienda ubicada en zona de amenaza alta por inundación, en la vía que de Los Cauchos conduce hacia Pitalito.

Fuente: (Municipio de San Agustín - Huila, 2012)

Adicionalmente por la vía que del Centro Poblado Los Cauchos conduce a la vereda Paraíso, en una depresión natural por donde discurren aguas de escorrentía se han construido cinco viviendas, las cuales se encuentran amenazadas por eventuales flujos de suelo, rocas y plantas que ya se han presentado en otras épocas (Ver Ilustración 13).

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



**Ilustración 13. Viviendas ubicada en zona de amenaza alta flujos torrenciales, en la vía que de Los Cauchos conduce hacia la vereda El Paraíso.
Fuente: (Municipio de San Agustín - Huila, 2012).**

Teniendo en cuenta el objeto de estudio del presente contrato corresponde al casco urbano del municipio de San Agustín, se identificaron las amenazas de origen hidroclimatológico las cuales están asociadas a la quebrada Las Moyas. Esta quebrada realiza su recorrido por el sector occidental y sur del municipio, debido a sus características de baja pendiente y la granulometría del material de su cauce no presenta un comportamiento torrencial, pero debido a la intervención antrópica en cuatro sectores presenta problemas por inundación. A continuación se presentan los sectores que se han visto afectados por la quebrada Las Moyas.

El primer sector corresponde a la piscina de las Moyas (Ver Ilustración 14), donde se construyó su infraestructura sobre el cauce de la fuente ocasionando una fuerte intervención y estrangulamiento de su cauce; que en época de invierno inunda la piscina y las viviendas aledañas.

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



Ilustración 14. Panorámica del sector de la piscina Las Moyas.
Fuente: (Municipio de San Agustín - Huila, 2012)

El segundo sector está en la piscina municipal del parque recreacional Maloka, donde se ha construido una canalización en un tramo de aproximadamente 60 m de la quebrada Las Moyas desviando su cauce, canal que en épocas de crecientes no tiene la capacidad de evacuar el agua, ocasionando el desborde de la quebrada, colmatando la piscina y áreas aledañas (Ver Ilustración 15).

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



Ilustración 15. Panorámica del sector de la piscina municipal Parque Recreacional Maloka. Fuente: (Municipio de San Agustín - Huila, 2012).

El tercer sector identificado se encuentra identificado en el barrio Primero de Mayo y Santa Teresita sobre la Calle 3ª con carrera 16 donde se identificó la construcción de dos viviendas en la ronda de protección de la quebrada (Ver Ilustración 16).



Ilustración 16. Panorámica Viviendas en riesgo de colapsar barrios Primero de Mayo y Santa Teresita. Fuente: (Municipio de San Agustín - Huila, 2012).

El cuarto sector donde se ha presentado inundaciones, es en el Coliseo, donde se canalizo un tramo de la quebrada para poder construir este escenario y la vía de

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

comunicación con el colegio. Durante el periodo de invierno afecta las viviendas ubicadas entre la carrera 12 y la calle 1 (Ver Ilustración 17).



Ilustración 17 Sector Coliseo municipal. Canalización cerrada de la quebrada Las Moyas.
Fuente: (Municipio de San Agustín - Huila, 2012).

Otro de las zonas identificadas con amenaza por inundación por aguas de escorrentía en régimen de lluvias, es la zona del barrio Nueva Alianza comprendido entre la calle 1 sur con carrera sexta (Ver Ilustración 18), donde existe una depresión natural del terreno que genera un drenaje natural en época de precipitaciones, el cual ha sido ocupado por edificaciones que sufren las consecuencias de inundaciones y debilitamiento del terreno por el paso del agua.



Ilustración 18. Barrió Nueva Alianza, sector de inundación por régimen alto de precipitaciones y escorrentía del agua.
Fuente: (Municipio de San Agustín - Huila, 2012)

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

En el estudio realizado por la Nacional y la CAM se identificó como zona de amenaza media por movimientos en masa en la ladera ubicada en el costado norte, la cual incluye los Barrios Las Brisas, Siloé, San Antonio y las zonas aledañas de la vía que conduce al Estrecho de Bordones, prolongándose hasta la planta de tratamiento de agua potable del acueducto Municipal. En la zona de la colina El Templete, se presentan pendientes de media inclinación (mayores de 15°) y suelos no aptos para la construcción.

En los últimos años en esta colina ha aumentado considerablemente el número de viviendas sin el cumplimiento de las normas de construcción vigente en el país, ni manejo de aguas de infiltración y superficial. Es importante resaltar que aunque no se tienen reportes de deslizamientos anteriores; las condiciones actuales pueden generar deslizamientos afectando un buen sector del municipio, no solo en esta parte alta, sino en las zonas bajas (pie de talud), barrios como Las Brisas y San Martín.

Otro sector susceptible a amenaza por movimientos en masa e inestabilidad se identificó en el barrio Nueva Alianza, correspondiente a la manzana del extremo sur de la calle 2 sur entre carreras 6ª y 7, este barrio se encuentra construido sobre la corona del talud que forma la depresión natural del terreno al paso de la quebrada Las Moyas.

A continuación se presenta en la Tabla 3, la recopilación de las zonas que se han sido afectadas en el casco urbano por movimientos en masa, a su vez se incluye las recomendaciones que realizaron en este estudio para las zonas identificadas.

Tabla 3. Síntesis de amenazas por zona.

Localización	Descripción	Registro fotográfico	Amenaza
<p>Son las viviendas construidas en el costado Occidental de la carrera 1 entre calles 4 y 5 a partir de su parte media.</p> <p>Barrió Las Brisas.</p>	<p>Topografía con pendiente moderada, existe red de acueducto, no hay red de alcantarillado independiente, zona en proceso de construcción. Se ha construido mediante terrazas, la mayoría de viviendas no tienen muros de contención ni manejo de aguas sub-superficiales.</p>		<p>AMENAZA MEDIA por movimientos en masa.</p>
<p>Las viviendas construidas en el costado occidental de la carrera 1 a partir de la calle 5 hacia la zona rural (Vereda Timanco).</p> <p>Barrió Las Brisas.</p>	<p>Topografía con pendiente media, existe red de acueducto, no hay red de alcantarillado independiente, viviendas construidas por debajo del nivel de la vía, en algunos casos se ha nivelado mediante muros de contención o con columnas y vigas. No hay manejo de aguas sub-superficiales.</p>		<p>AMENAZA MEDIA por movimientos en masa.</p>

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

Localización	Descripción	Registro fotográfico	Amenaza
<p>Viviendas construidas en el costado norte de la calle 5 entre las de la carreras 1 y la parte media de las carreras 4 y 5.</p> <p>Barrió Las Brisas.</p>	<p>Topografía con pendiente media, existe red de acueducto, no hay red de alcantarillado independiente, viviendas construidas en su mayoría por encima del nivel de la vía, mediante terrazas, y en la gran mayoría las viviendas no tienen muros de contención ni manejo de aguas sub superficiales.</p>		<p>AMENAZA MEDIA por movimientos en masa.</p>
<p>Viviendas construidas en el costado sur de la calle 5 entre las de la carreras 1 y la parte media de la carrera quinta y la sexta.</p> <p>Barrió Las Brisas.</p>	<p>Topografía con pendiente media, existe red de acueducto, no hay red de alcantarillado independiente, viviendas construidas en su mayoría por encima del nivel de la vía, las viviendas han sido construidas mediante terrazas, y en la gran mayoría de viviendas no tienen muros de contención ni manejo de aguas sub-superficiales hay humedad.</p>		<p>AMENAZA MEDIA por movimientos en masa.</p>
<p>Viviendas en la ladera que da con el costado de las viviendas de la calle 5 a continuación de la zona 3.</p> <p>Barrió Las Brisas.</p>	<p>Topografía con pendiente alta, deficiencia en la red de acueducto no hay red de alcantarillado independiente. Zona con baja densidad de viviendas, las cuales han sido construidas mediante terrazas, y en la gran mayoría de viviendas no tienen muros de contención ni manejo de aguas sub-superficiales. Se han identificado pequeños deslizamientos.</p>		<p>AMENAZA ALTA por movimientos en masa.</p>
<p>Viviendas construidas en la carrera 6 (peatonal) entre las calles 4 y 5 Bis.</p> <p>Barrió Siloé.</p>	<p>Topografía con pendiente alta, hay deficiencia de redes de acueducto, no hay red de alcantarillado independiente, zona con baja densidad de viviendas, las cuales han sido construidas mediante terrazas, y en la gran mayoría de viviendas no tienen muros de contención ni manejo de aguas su- superficiales. Se han identificado pequeños deslizamientos.</p>	 <p>Viviendas margen derecha</p>	<p>AMENAZA ALTA por movimientos en masa.</p>

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

Localización	Descripción	Registro fotográfico	Amenaza
<p>Viviendas construidas en el costado norte de la calle 4 entre carreras 5 y 7.</p> <p>Barrio Siloé</p>	<p>Topografía con pendiente media, hay redes de acueducto, no hay red de alcantarillado independiente, zona construida en su mayoría por encima del nivel de la vía, las cuales han sido construidas mediante terrazas, con muro de contención, en el costado posterior y lateral, no hay manejo de aguas sub-superficiales.</p>		<p>AMENAZA MEDIA por movimientos en masa.</p>
<p>Viviendas construidas en el costado norte de la calle 5 entre carreras quinta y sexta.</p> <p>Barrio Siloé.</p>	<p>Predomina topografía con pendiente alta, hay deficiencia de redes de servicios públicos, no hay red de alcantarillado, zona con baja densidad de viviendas, las cuales han sido construidas mediante terrazas, y en la gran mayoría las viviendas no tienen muros de contención ni manejo de aguas sub-superficiales. Las viviendas han sido construidas por encima del nivel de la vía.</p>		<p>AMENAZA ALTA por movimientos en masa.</p>
<p>Viviendas construidas en el costado sur de la calle 5 bis entre carreras quinta y sexta.</p> <p>Barrio Siloé.</p>	<p>Predomina topografía con pendiente media, hay redes de servicios públicos, no hay red de alcantarillado, viviendas construidas mediante terrazas, algunas viviendas en el costado posterior no tienen muros de contención ni manejo de aguas sub-superficiales. Construcciones por debajo del nivel de la vía.</p>		<p>AMENAZA BAJA por movimientos en masa.</p>
<p>Viviendas construidas en la manzana conformada por la calle 6 Bis y la carrera 6 con el límite de la zona urbana con la vereda Timanco.</p> <p>Barrio Siloé.</p>	<p>Predomina topografía con pendiente baja, hay redes de servicios públicos, no hay red de alcantarillado, viviendas construidas mediante terrazas, algunas viviendas en el costado posterior y lateral no tienen muros de contención ni manejo de aguas sub-superficiales</p>		<p>AMENAZA BAJA por movimientos en masa.</p>

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

Localización	Descripción	Registro fotográfico	Amenaza
<p>Viviendas construidas en el costado occidental de la carrera 6 entre la calle 5 Bis y el límite urbano con la vereda Timanco.</p> <p>Barrió Siloé.</p>	<p>Predomina topografía con pendiente media hay deficiencia de redes de servicios públicos, no hay red de alcantarillado, zona con baja densidad de viviendas, las cuales han sido construidas mediante terrazas, por debajo del nivel de la vía, la gran mayoría de viviendas no tienen muros de contención ni manejo de aguas sub superficiales.</p>		<p>AMENAZA MEDIA por movimientos en masa.</p>
<p>Viviendas construidas en el costado occidental de la carrera 6 entre la calle 5 Bis y el límite urbano con la vereda Timanco.</p> <p>Barrió Siloé.</p>	<p>Predomina topografía con pendiente media hay deficiencia de redes de servicios públicos, no hay red de alcantarillado, zona con baja densidad de viviendas, las cuales han sido construidas mediante terrazas, por debajo del nivel de la vía, no manejo de aguas sub-superficiales.</p>		<p>AMENAZA MEDIA por movimientos en masa.</p>
<p>Viviendas localizadas en los dos costados de la calle 5 Bis entre la carrera 6 y 7.</p> <p>Barrió Siloé.</p>	<p>Topografía con pendiente alta, hay deficiencia de redes de servicios públicos, no hay red de alcantarillado, zona con baja densidad de viviendas, las cuales han sido construidas mediante terrazas, no se tienen muros de contención ni manejo de aguas sub- superficiales.</p>		<p>AMENAZA MEDIA por movimientos en masa.</p>
<p>Viviendas ubicadas en el costado norte de la calle 6 entre las carreras 8 y 8 bis.</p> <p>Barrió Siloé.</p>	<p>Topografía con pendiente media hay deficiencia de redes de servicios públicos, no hay red de alcantarillado, zona con baja densidad de viviendas, las cuales han sido construidas mediante terrazas, por encima del nivel de la vía, en la gran mayoría de viviendas no se tienen muros de contención ni manejo de aguas sub-superficiales.</p>		<p>AMENAZA MEDIA por movimientos en masa.</p>

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

Localización	Descripción	Registro fotográfico	Amenaza
<p>Viviendas localizadas en el costado norte de la calle 6 entre las carreras 8 bis y el límite urbano con la vereda Timanco.</p>	<p>Topografía con pendiente media hay deficiencia de redes de servicios públicos, no hay red de alcantarillado, zona con baja densidad de viviendas, las cuales han sido construidas mediante terrazas, no se tienen muros de contención ni manejo de aguas sub- superficiales.</p>		<p>AMENAZA MEDIA por movimientos en masa.</p>
<p>Viviendas construidas en el costado norte de la zona 15 entre las carreras 8 bis y el límite urbano con la vereda Timanco.</p>	<p>Topografía con pendiente baja hay deficiencia de redes de servicios públicos, no hay red de alcantarillado, zona con baja densidad de viviendas, las cuales han sido construidas mediante terrazas, la gran mayoría de viviendas no se tienen muros de contención ni manejo de aguas sub- superficiales.</p>		<p>AMENAZA BAJA por movimientos en masa.</p>
<p>Viviendas ubicadas en el costado sur de la calle 6 entre carreras 8 y 10. Barrió Siloé.</p>	<p>Topografía con pendiente media, hay redes de servicios públicos, no hay red de alcantarillado, viviendas construidas mediante terrazas, algunas viviendas ubicadas al costado lateral no tienen muros de contención ni manejo de aguas sub- superficiales</p>		<p>AMENAZA MEDIA por movimientos en masa.</p>
<p>Viviendas ubicadas en el costado sur de la calle 6 entre las carrera 8 y 8 Bis. Barrió Siloé.</p>	<p>Topografía con pendiente media hay deficiencia de redes de servicios públicos, no hay red de alcantarillado, zona con baja densidad de viviendas, las cuales han sido construidas mediante terrazas, en algunos casos las viviendas se encuentran por debajo del nivel de la vía, la gran mayoría de las viviendas no tienen muros de contención ni manejo de aguas sub- superficiales.</p>		<p>AMENAZA MEDIA por movimientos en masa.</p>

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

Localización	Descripción	Registro fotográfico	Amenaza
<p>Corresponde al área donde se localizan las Viviendas entre la carrera 8 y 8 bis y entre las calles 5 7 el costado sur de la zona 18.</p> <p>Barrió Siloé.</p>	<p>Topografía con pendiente media, hay redes de servicios públicos, no hay red de alcantarillado, zona construida mediante terrazas por debajo del nivel de la vía en algunos caso, algunas viviendas en el costado posterior no tienen muros de contención ni manejo de aguas sub-superficiales</p>		<p>AMENAZA MEDIA por movimientos en masa.</p>
<p>Corresponde a la zona donde se localizan las Viviendas aledañas a la vía de acceso a Siloé, entre la calle 4 y la 5 Bis.</p> <p>Barrió Siloé.</p>	<p>Predomina topografía con pendiente alta, hay deficiencia de redes de servicios públicos, no hay red de alcantarillado, zona con baja densidad de viviendas, las cuales han sido construidas mediante terrazas, por debajo y por encima del nivel de la vía en algunos casos,</p>		<p>AMENAZA ALTA por movimientos en masa.</p>
<p>Viviendas localizadas en el costado norte de la calle 4 hasta el límite de la zona urbana y la zona 17.</p> <p>Barrió San José.</p>	<p>Predomina topografía con pendiente media, hay redes de servicios públicos, no hay red de alcantarillado, zona construida mediante terrazas por encima del nivel de la vía en algunos casos, existe un elevado muro de contención sobre la calle 4, algunas viviendas en el costado posterior no tienen muros de contención ni manejo de aguas sub-superficiales.</p>		<p>AMENAZA MEDIA por movimientos en masa.</p>
<p>Viviendas localizadas en el costado norte de la calle 7 y la carrera 13 hasta el límite de la zona urbana en la vía que conduce a la Vereda La antigua.</p> <p>Barrió Los Olivos.</p>	<p>Predomina topografía con pendiente media hay deficiencia de redes de servicios públicos, no hay red de alcantarillado, zona con baja densidad de viviendas, las cuales han sido construido mediante terrazas, por debajo y por encima del nivel de la vía en algunos casos, la gran mayoría de viviendas no tienen muros de contención ni manejo de aguas sub-superficiales.</p>		<p>AMENAZA ALTA por movimientos en masa.</p>

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

Localización	Descripción	Registro fotográfico	Amenaza
<p>Corresponde al área aledaña a la vía que conduce a Obando en su costado oriental y la zona aledaña a la planta de tratamiento de agua potable.</p> <p>Barrios San Antonio, Las Américas.</p>	<p>Predomina topografía con pendiente media, hay redes de servicios públicos, no hay red de alcantarillado, zona consolidada en los barrios actuales y para nuevas construcciones, las cuales han sido construidas mediante terrazas por encima del nivel de la vía no tienen muros de contención ni manejo de aguas sub superficiales.</p>		<p>AMENAZA MEDIA por movimientos en masa.</p>
<p>Corresponde a las Viviendas ubicadas en el costado norte de la Calle 1 entre la Carrera 11 hasta el cauce de la quebrada las Moyas.</p> <p>Barrió San José.</p>	<p>Las viviendas han sido construidas sobre la ladera que da hacia la quebrada las Moyas, en una zona de alta pendiente, no se cuenta con las obras de protección adecuadas.</p>		<p>AMENAZA ALTA por movimientos en masa.</p>
<p>Viviendas construidas en el costado sur de la calle primera sur entre las carreras 10 y 11.</p> <p>Barrios San José.</p>	<p>Predomina topografía con pendiente media, las viviendas han sido construidas por debajo del nivel de la vía, mediante terracedo, con talud vertical se evidencian deslizamientos.</p>		<p>AMENAZA MEDIA por movimientos en masa.</p>

Fuente: (Municipio de San Agustín - Huila, 2012).

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

- **Plan municipal de gestión de riesgo de desastres (CCMGRD, 2015)**

De acuerdo a la revisión del PMGRD, en el municipio se han identificado diferentes amenazas como sísmicas, por movimientos en masa, por inundación y avenidas torrenciales, incendios forestales, etc. A continuación se presenta una breve descripción de las principales amenazas para la población tanto en el área rural como el casco urbano:

- **Amenaza sísmica**

Los movimientos sísmicos que se han presentado en el municipio han sido producto de las numerosas fallas geológicas existentes. La amenaza sísmica en la cabecera municipal de San Agustín corresponde a categoría alta.

- **Amenaza por movimientos en masa**

Se han localizado zonas de riesgo debido a la erosión que se presenta en algunos sectores del municipio tales como: las veredas Alto Frutal, Bajo Frutal, Las Delicias, Buenos Aires, Los Pinos, Argelia, La Castellana, Villa Fátima, La Perdiz, El Oso, Candela, Pradera, Santa Mónica, Quebradón, La Pradera, Quebradillas, Arauca, La Estrella, Mesitas, Nueva Zelanda, Saldaña, Purutal, Luis Carlos Galán, Resinas, Cascajal, El Carmen, Eucaliptus, Jabón, Agua Bendita, Peñas Blancas, El Palmar y Platanares. En la zona urbana, se han identificado amenazas por movimientos en masa en los Barrios Las Brisas, Siloé, San Antonio y las zonas aledañas de la vía que conduce al estrecho de bordones.

Las zonas de amenaza media por procesos erosivos y movimientos en masa corresponden a las zonas críticas de alto grado de deterioro de suelos propuestas, estas se encuentran ubicadas al Occidente de los municipios de San Agustín en las veredas Villa Fátima, La Perdiz, El Oso, Candela, Pradera, Santa Mónica, Quebradón, La Pradera, Quebradillas, Arauca, La Estrella, Mesitas, Nueva Zelanda, Saldaña, Purutal, Luis Carlos Galán, Resinas, Cascajal, El Carmen, Eucaliptus, Jabón, Agua Bendita, Peñas Blancas, El Palmar y Platanares.

- **Amenaza por inundaciones y avenidas torrenciales**

Se ha detectado como zona de amenaza por inundación los Barrio San Martín, Obrero, Urbanización Ullumbe, viviendas ubicadas en la vereda las moyas, sector de la piscina municipal, sector del coliseo, los cuales son zona de influencia de la quebrada las Moyas la cual pasa hace su tránsito por un sector del Municipio. Los centros poblados han sido afectados por inundaciones por los siguientes drenajes: río Magdalena, río Quinchana, quebrada Matanzas, Las Minas y Aguas Claras. Para las avenidas

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

torrenciales el río Naranjos tiene antecedente dado a un evento que se presentó en marzo de 1982, las quebradas El Chulo y El Chorro en la vereda La Pradera han ocasionado desplazamiento de volúmenes de suelo, detritos, piedra y roca. Finalmente la quebrada Matanzas en el año 1996 presentó una gran creciente que causó pérdidas de vidas humanas, cuantiosas pérdidas materiales afectando viviendas y vías.

4.1.2 Noticias destacadas respecto a la zona de estudio

- **Vereda Nazaret de san Agustín, incomunicada por un derrumbe (voz de la región, 5 de Agosto del 2016)¹**

“Aislados quedaron los habitantes de la vereda Nazaret de San Agustín por el taponamiento vial que produjo un derrumbe en su vía de acceso. Pablo Emilio Torres, habitante del sector indicó que las lluvias que precipitaron en la zona en las últimas horas, sumado a la inestabilidad de las laderas por donde pasa el carretable, provocaron que se generara un deslizamiento que obstruyó el paso hacia dicha vereda. Una vez se presentó el movimiento, varios habitantes llamaron la atención del mandatario local para que enviara maquinaria a fin de destaponar el paso y con ello se recupere la normalidad en dicha comunidad del municipio

Organismos de socorro y las autoridades locales, hicieron un llamado de atención a las comunidades rurales, estar atentas a la ocurrencia de emergencias de tipo vial, en tal sentido recomendaron contribuir con la realización de mantenimientos preventivos en haciendo limpieza de cunetas y destaponando alcantarillas a fin de permitir el normal flujo del agua de escorrentía que se presenta luego de las precipitaciones.”

- **Alud de tierra por poco sepulta a una familia en vereda de san Agustín (Voz de la región, 27 de Marzo del 2017)²**

“Nueve personas, entre ellas cinco adultos y cuatro menores de edad, se salvaron de quedar sepultados tras la caída de un alud de tierra que se produjo la mañana de este domingo en la vereda la Argelia de San Agustín. Las lluvias que durante las últimas semanas se han presentado en la región, siguen provocando emergencias principalmente en las veredas.

¹ La voz de la región (5 de agosto de 2015) Vereda Nazaret de San Agustín , incomunicado por un derrumbe Recuperado de: <http://lavozdelaregion.co/vereda-nazaret-san-agustin-incomunicada-derrumbe/>

² Voz de la Región (27 de Marzo del 2017) Alud De Tierra Por Poco Sepulta A Una Familia En Vereda De San Agustín Recuperado de : <http://lavozdelaregion.co/alud-tierra-poco-sepulta-una-familia-vereda-san-agustin/>

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

Así quedó comprobado tras presentarse un deslizamiento de tierra a poca distancia de una vivienda, donde nueve personas que aún no se habían levantado la madrugada de este domingo, por poco terminan sepultados.

Voceros de la defensa civil de San Agustín, indicaron haber sido alertados de la situación que por fortuna no dejó personas lesionadas, pero sí daños considerables a una familia compuesta por nueve personas. Los hechos se produjeron a las 5:00 horas de este domingo, cuando un inmenso deslizamiento de tierra se produjo a poca distancia de la vivienda, provocando daños irreparables a la misma y el taponamiento de la vía que desde el casco urbano de San Agustín, conduce a las veredas de La Argelia, Las Delicias, El Retiro y Alto del Obispo. Además de los voluntarios de la Defensa Civil, al sitio acudieron las autoridades municipales quienes de forma inmediata emprendieron las acciones encaminadas a reubicar a los damnificados y rehabilitar el paso vial por medio del trabajo de maquinaria.”

- **Ola invernal deja grandes afectaciones en San Agustín (Huila) (RCN radio, 04 de Mayo del 2017)³**

“Debido a las fuertes lluvias que se han presentado en la zona rural del municipio de San Agustín se han registrado 20 derrumbes, los cuales han dejado importantes afectaciones al sector agrícola. Las autoridades competentes han realizado la respectiva valoración para poder atender y gestionar recursos en las zonas afectadas.”

- **La tarde de hoy se presentó un deslizamiento de tierra (De San Agustín para el mundo, 5 de Abril del 2018)⁴**

“La tarde de hoy se presentó un deslizamiento de tierra que amenaza con represar el río Suaza, el Cuerpo de Bomberos en conjunto con la Unidad de Gestión de Riesgos hicieron presencia en el lugar para evaluar la magnitud del evento.”

4.2 VISITA DE RECONOCIMIENTO

Dentro de las actividades desarrolladas del contrato se realizó una visita técnica los días 13 y 14 de junio del 2018, con el objetivo de poder reconocer el área en cuanto a

³RCN radio (04 de Mayo del 2017) Ola invernal deja grandes afectaciones en San Agustín (Huila). Recuperado de : <https://www.rcnradio.com/colombia/region-central/ola-invernal-deja-grandes-afectaciones-san-agustin-huila>

⁴De San Agustín para el mundo (5 de abril del 2018) La Tarde De Hoy Se Presentó Un Deslizamiento De Tierra, Recuperado: <https://sanagustinnoticias.com/category/regional/>

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

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 la Ilustración 19).



Ilustración 19. Fotografía del Municipio de San Agustín.
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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

5 5. TOPOGRAFÍA

Para el desarrollo de este componente se realizó topo-batimetría a 3 diferentes cauces existentes quebrada La moyas, La Alborada y El batán 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 35 GCP en la zona de estudio los cuales corresponde a puntos de control en la toma de las fotografías aéreas. 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.



Ilustración 20. Posicionamiento BASE GCP10.
Fuente: Geocing SAS.

5.2 ORTOFOTO

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 San Agustín. 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

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

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. En el Anexo 6. Mapas se adjunta el plano GE426-SAN-PSIG-MDT-001-00 el modelo de elevación digital del área de estudio y en el plano GE426-TRL-PSIG-IDR-001-00 se adjunta la imagen satelital. A continuación se presenta en la Ilustración 21 la imagen satelital del área de estudio.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

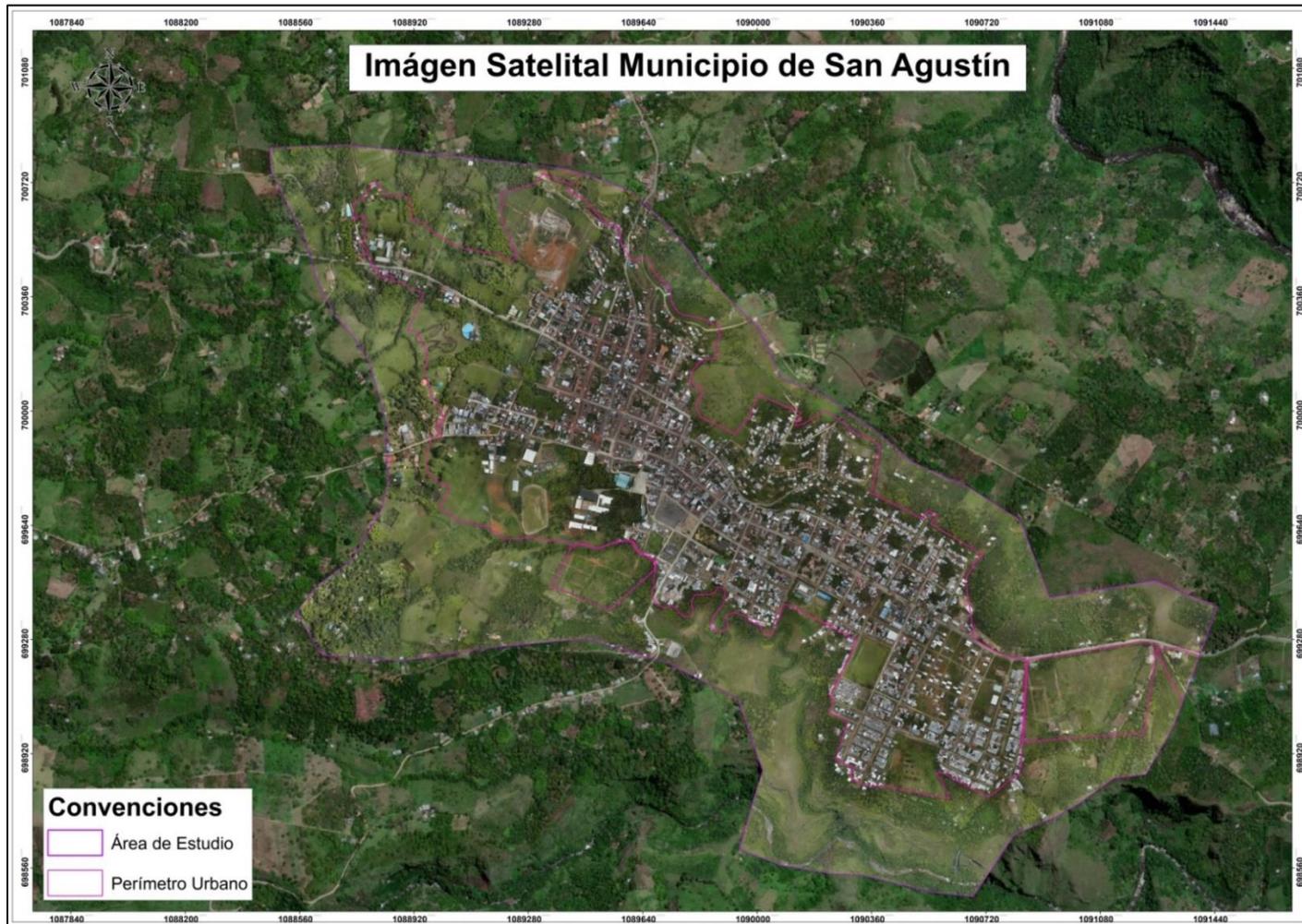


Ilustración 21. Imagen satelital municipio de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

Dirección de correo: Calle 120 No. 49-44
Teléfono (1) 7046969 / (1) 7458541
Bogotá D.C.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</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 22).



Ilustración 22. Procedimiento en campo toma de GCP.
Fuente: Geocing SAS

- Captura de datos:** El posicionamiento Geodésico fue de tipo estático. Esta labor se

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

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 fórmula 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 CALL; 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 geo-posicionados 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.

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

- 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, realizada en el software Concoord.
 - Una vez terminado el proceso anteriormente descrito, se obtienen las coordenadas de los puntos objeto de nuestro estudio.

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 San Agustín. 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

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

Software Misión Planner especializado en este tipo de actividad; este software permite ajustar el traslapeo 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 traslapeo lateral entre líneas de vuelo del 80% y traslapeo frontal entre fotos 75%. A continuación, se muestra un ejemplo de las líneas de vuelo y datos de vuelo (Ver Ilustración 23).



Ilustración 23. Líneas de vuelo proyecto San Agustín.
Fuente: Google Earth.

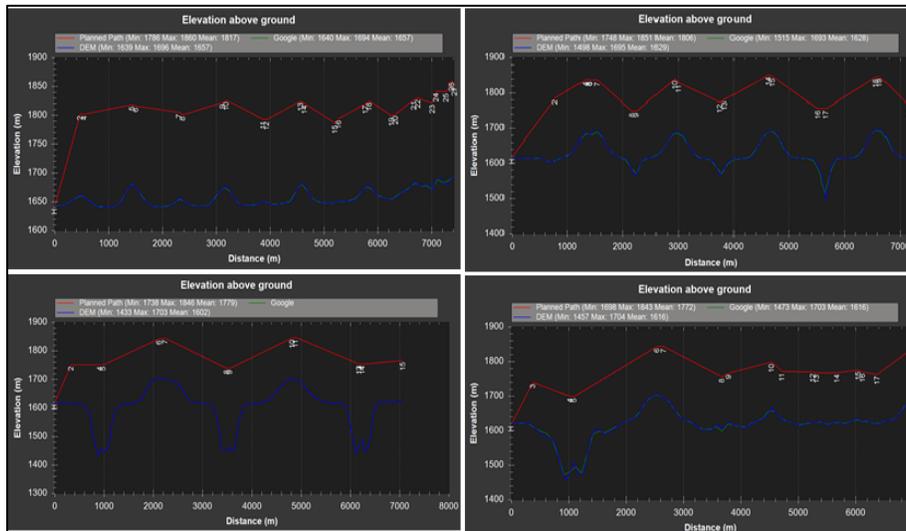


Ilustración 24. Perfil de las líneas de vuelo vs terreno natural.
Fuente: Geocing SAS.

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

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.

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 pixeles por foto y se depuró aquellas imágenes que no tuvieran una calidad suficiente (Ver Ilustración 25).



Ilustración 25. Calidad de imágenes con Dron.
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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

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.

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.

Para la generación del DTM, se realizó un paso intermedio, antes de la generación de la textura, el cual consistió en clasificar los puntos de acuerdo con su naturaleza. Mediante un proceso manual o automático, el Software permitió separar puntos de viviendas, árboles, obstáculos y terreno con base en criterios de diferencia de alturas y pendientes. Una vez se clasificaron los puntos, se realizó una nueva nube de puntos incluyendo únicamente los puntos correspondientes a la superficie del terreno, para así posteriormente generar el DTM.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</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 permitieron 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 realización del presente informe se desarrolló con base en el análisis de la información secundaria aportada en:

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

1. 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 como: Servicio Geológico Colombiano (SGC), Corporación Autónoma regional del alto Magdalena (CAM), Universidad Nacional de Colombia (UN), Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), 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.

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

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 respectiva.

Tabla 4. Relación de aerofotografías utilizadas para el estudio de Geología y Geomorfología del municipio de San Agustín, Huila.

Fecha	Vuelo	Sobre	Fotos	Escala	Procedencia
1972	C-1424	S-26325	10-11-12	1:21800	IGAC
1982	C-2061	S-31512	105-108	1:36470	IGAC
1991	C-2462	S-36166	226-229	1:30000	IGAC
2006	C-2789	S-40684	177-188	1:10900	IGAC
2013					GOOGLE EARTH
2018					GEOCING SAS

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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

6.1 ASPECTOS REGIONALES

6.1.1 Geología regional

A continuación se presenta la descripción regional de la geología y geomorfología dentro y en cercanías del casco urbano del municipio de San Agustín, realizando la descripción de las principales unidades geológicas y del comportamiento tectono-estructural. Para dicha descripción se recurrirá a la información encontrada en la geología de la Plancha 388 Pitalito del SGC 2003, memoria explicativa del Mapa Geológico del Huila escala 1:300000 del 2001 (), y se tendrán en cuenta 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 caracterización geotécnica preliminar de las cabeceras municipales del departamento del Huila”; así como los realizados por el INGEOMINAS (actualmente, SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, SGC). El municipio de San Agustín se encuentra ubicado en la parte sur oriental del departamento del Huila en la región que corresponde al flanco occidental de la Cordillera Oriental en el valle superior del Magdalena; en esta región la geomorfología se encuentra directamente relacionada con procesos denudativos y agradacionales.

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

Como se puede observar en la anterior ilustración, el casco urbano del municipio de San Agustín se encuentra sobre depósitos del Lahar de Altamira y rocas de la Formación Guacacallo.

- **Estratigrafía**

Como se puede observar en la las unidades estratigráficas que se describen a continuación con base en la memoria explicativa de la plancha 388 “Pitalito”, se encuentran organizadas por edad de más antigua a más reciente abarcando un rango temporal desde la parte alta del Paleozoico hasta el Paleógeno.

- **ROCAS PALEOZOICAS**

- ***Lodolitas y calizas de Granadillo (Pzlcg)***

En la plancha 388 Pitalito se encuentran afloramientos de secuencias sedimentarias conformadas por arenisca, lodolitas y calizas de colores gris, negro y, ocasionalmente, verde de diferentes tonalidades. El sector en donde mejor se puede observar la secuencia es el río Granadillo, al sur de San Agustín; de allí proviene el nombre de la unidad.

En la carretera Alto del Obispo – Vereda El Retiro – río Granadillo – San Agustín, se observaron afloramientos pequeños de mármol dentro de la Cuarzomonzodiorita de Sombrerillos; de oriente a occidente por la carretera Alto del Obispo – río Granadillo, se ven afloramientos de las rocas paleozoicas; se trata de calizas negras en bancos de menos de 1m de espesor, con un buzamiento hacia el oriente. Descendiendo hacia el río, se observan afloramientos de mármol de grano medio a fino, muy blanco y con pocas impurezas, esta secuencia calcárea continúa por la vertiente occidental del valle del río Granadillo, pasando el puente y continuando hacia San Agustín, persisten los afloramientos de mármoles sin mayores variaciones hasta que comienzan a observarse intercalaciones menores con lodolitas negras. También se apreciaron algunos paquetes de areniscas posiblemente con algo de metamorfismo de contacto evidenciado por la aparición de biotita. Cerca de la confluencia de esta vía con el carreteable que conduce a las veredas El Rosario y La Castellana, las lodolitas se presentan meteorizadas hasta convertirse en un material arcilloso plástico, qué predomina en el resto del trayecto.

Por el oriente, la secuencia es intruida por la Cuarzomonzodiorita de Sombrerillos, y se desarrollan efectos de metamorfismo de contacto manifestados en la memorización de las calizas. Por el occidente no se pudo observar el límite de la unidad, pero parece ser tectónico con la Formación Saldaña y, en parte, intrusivo con el Plutón de Sombrerillos. Por el norte y el occidente, el Lahar de Altamira y la Formación Guacacallo cubren discordantemente la secuencia de sedimentitas y metasedimentitas, que sólo vuelven a

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

aflorar como ventanas geológicas en el río Magdalena, al norte de San Agustín, en el sitio conocido como La Chaquira.

- **ROCAS DEL JURÁSICO**

- ***Cuarzomonzodiorita Sombrerillos (Jcmdso)***

Recibe el nombre de Cuarzomonzodiorita de Sombrerillos el cuerpo ígneo que aflora sobre la carretera de Pitalito – San Agustín, este cuerpo intrusivo corresponde al denominado por Grosse (1930, 1935) como Macizo del río Sombrerillo y el denominado Granitoide de San Agustín por Álvarez (1983).

Se reportan rocas graníticas, cuarzomonzoníticas y cuarzodioríticas en proporciones similares. Las variaciones se deben esencialmente al aumento o disminución en el contenido de los minerales esenciales. En los afloramientos se observa una roca fanerítica media a gruesa, de color rosado o gris, con tonalidades verdes, constituida por cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, hornblenda y biotita, estas últimas en proporciones variables. Intruye rocas calcáreas y siliciclásticas asignadas al Paleozoico que generan marmorización de las calizas y recristalización de lodolitas y areniscas, esto se puede apreciar en la carretera Alto del Obispo – San Agustín. El Lahar de Altamira, la Formación Guacacallo y terrazas pumíticas cubren discordantemente al intrusivo.

- **ROCAS DEL NEÓGENO**

- ***Lahar Altamira (Nlal)***

Kroonenberg & Diederix (1982) consideran el Lahar de Altamira como una “brecha volcánica conspicua”, Tello & Hernández (1976), en inmediaciones de San Agustín, diferenciaron un depósito que cubre sedimentitas cretácicas en forma discordante, y lo dividen en tres niveles: uno inferior de conglomerados tufíticos, otro de conglomerados de la misma composición con una mejor selección en la parte media y finalmente en la parte más alta una brecha volcánica.

En la plancha 388 se hace referencia a una serie de depósitos volcanoclásticos masivos de flujos de escombros, producto de materiales generados por actividad al parecer de la Cadena Volcánica de Los Coconucos y transportados en masa por el río Magdalena, que rellenaron una topografía deprimida a través de pulsos sucesivos; generalmente son caóticos con una buena compactación conformados principalmente por gravas y cantos en una matriz limo arenosa.

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

Geomorfológicamente se expresa como terrazas, con un drenaje característico paralelo a subparalelo, y presenta escarpes pronunciados producto de la disección de los principales causes de la región, alcanza un espesor máximo de 200 metros cerca a la desembocadura del río Sombrerillos al Magdalena. En Estos depósitos principalmente se encuentran una serie de capas que representan los pulsos u oleadas del evento de relleno, cada una de estas capas está constituida por limos arenosos y arenitas que van gradando hacia la base a cantos y gravas con fragmentos que pueden alcanzar los 2 m de diámetro en matriz limo arenosa. La composición de los fragmentos depende del sitio en donde se describa el depósito, este presenta variación dependiendo del tipo de roca asociado a la actividad volcánica, además de las rocas presentes en el canal que fueron arrastradas producto de erosión del fondo y paredes del canal. En la intersección de la carretera San Agustín – Vereda La Argentina con el río Naranjos, los fragmentos están constituidos principalmente por tobas andesíticas, esquistos, lodolitas, basaltos e ignimbritas.

- **Formación Guacacallo (Ngc)**

Designada por Kroonenberg et al. (1981) como Formación Guacacallo para designar una secuencia ignimbrítica, de composición riolítica – riodacítica, además describen dentro de la unidad tres tipo diferentes de ignimbritas, una gris rosada predominante, una vitrofirica y otra arenosa estratificada. En la Plancha Geológica 388, se encontró un gris morada que corresponde a la gris rosada de Kroonenberg y una toba aglomerática con abundantes fragmentos de pómez.

La morfología resultante del depósito de las ignimbritas es una altillanura, con una red de drenaje dendrítica bastante densa y valles profundos excavados por los ríos Magdalena, Mazamorras, Bordones, Granates, Granadillos y Sombrerillos. La unidad está conformada por flujos piroclásticos que tienen muy poca variación vertical, el grado de soldamiento es relativamente bajo, aunque se encuentran bien consolidados, son porosos y permeables. El tipo de toba gris morada son rocas de colores gris, morado a morado claro, con textura porfídica y microporfídica. Los fragmentos constituyentes entre 20% y 35%, con predominio de plagioclasa y, en menor proporción, de cuarzo, biotita y líticos dentro de una matriz afanítica de color gris. La Formación cubre, discordantemente, la mayor de las unidades pre-cuaternarias, incluido el Lahar de Altamira. Está cubierta a su vez por las Vulcanitas básicas y las Terrazas pumíticas.

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

- **ROCAS CUATERNARIAS**

- ***Vulcanitas Básicas (Qvb)***

Se utilizó esta denominación para una serie de rocas efusivas de composición basáltica, con presencia de material piroclástico y lavas que afloran en diferentes sitios y que son caracterizadas como productos de erupciones de tipo estromboliano de diferentes centros eruptivos.

Esta unidad está conformada por flujos de lava basáltica, en algunos sitios escoriácea, depositos de piroclastos de caída de diferente tamaño que se acumulan junto al cráter y edifican una serie de conos volcánicos pequeños.

Los flujos de lava basáltica fueron observados en la base de los conos y en algunos sitios en donde han salido a la superficie como escurrimientos relativamente cortos; estas rocas fueron clasificadas como basaltos alcalinos. En descripciones macroscópicas se observó en los basaltos una textura de fenocristales de olivino y clinopiroxeno dentro de una matriz afanítica. Las vulcanitas cubren discordantemente el Lahar de Altamira, la Formación Guacacallo, las formaciones cretácicas y la Cuarzomonzonita de Sombrerillos en los alrededores de San Agustín e Isnos. En la Vereda El Cerro de Oporapa reposa sobre las formaciones Guacacallo y Hondita – Loma Gorda. No se pudo determinar su relación con las Terrazas pumíticas. Las Vulcanitas Básicas reposan sobre la Formación Guacacallo del Plioceno tardío datada por K/Ar y huellas de fisión; por tal motivo se espera que los productos de este vulcanismo sean de una edad entre Plioceno y Pleistoceno.

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 riesgos en el municipio, se puede observar en la Ilustración 27 que en el municipio de San Agustín se reconocen dos unidades; estas son de más antigua a más reciente:

- **Formación Guacacallo (Tvi):** Ignimbritas riolíticas. En la parte inferior lahares, sedimentos y conglomerados.

- **Depósitos aluviales recientes (Qal):** asociados a corrientes principales. Compuestos por arenas gruesas, limos y gravas en menor proporción.

Como se observa en la Ilustración 27, el Casco Urbano del municipio de San Agustín, se encuentra asentado sobre la Formación Guacacallo en su totalidad. En la zona no se reconocen más unidades, sin embargo en los principales sistemas de drenajes se

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

reconocen zonas con depósitos aluviales que corresponden a cantos retrabajados de la misma formación.

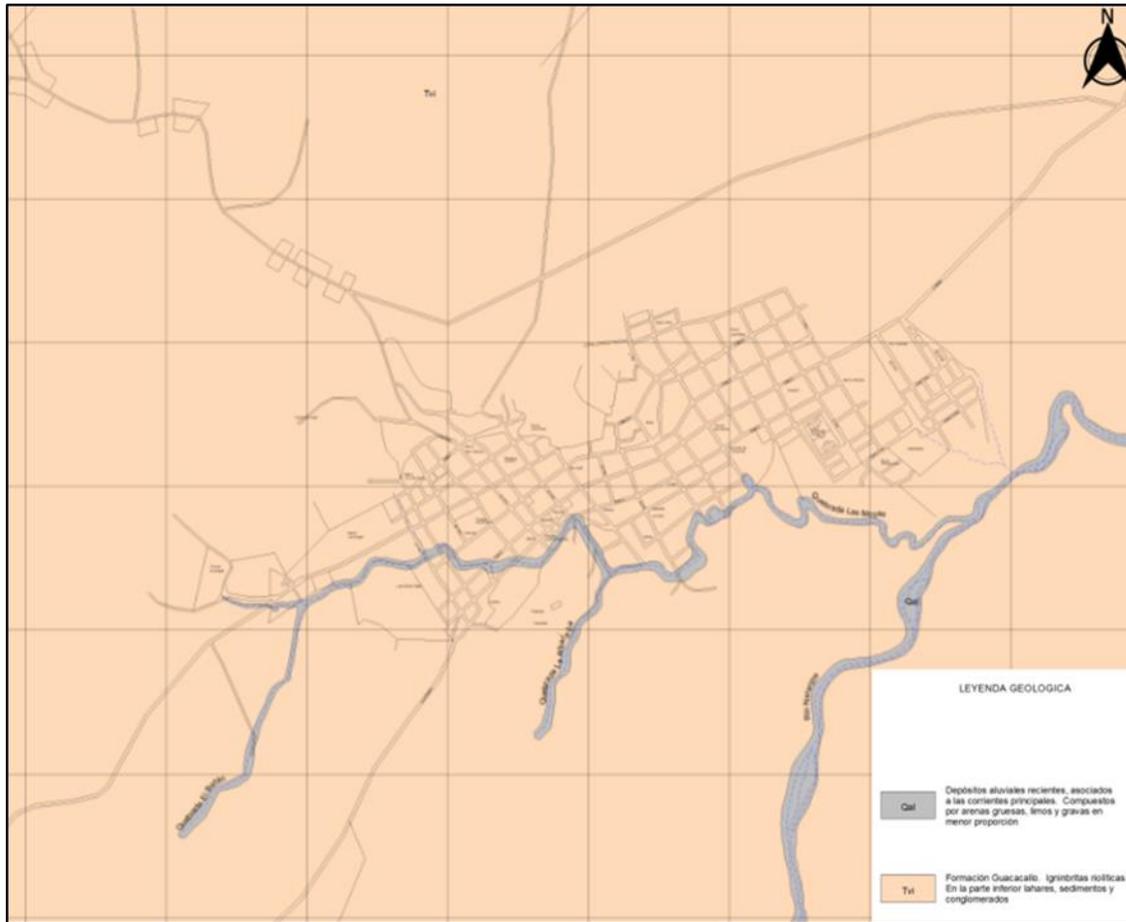


Ilustración 27 Mapa geológico del municipio de San Agustín y sus alrededores.
Fuente: Estudio de amenazas de la Universidad Nacional y la CAM del año 1999.

- **Aspectos de geología estructural**

El bloque tectónico del Valle Superior del Magdalena corresponde a una zona deprimida con relación a los bloques que lo delimitan (serranía de Las Minas y Cordillera Oriental), tiene un tren estructural con tendencia noreste y en él afloran rocas mesozoicas y cenozoicas, principalmente. El bloque corresponde en forma general a un sinclinal limitado en ambos costados por fallas de cabalgamiento que levantaron y montaron rocas más antiguas sobre unidades sedimentarias más jóvenes, el sinclinal está conformado en el núcleo por las unidades más recientes y en los bordes por las más antiguas. Hacia el sur, la culminación del sinclinal se confunde con el levantamiento de bloques que hacen parte de las cordilleras Central y Oriental, se presenta el cierre del sinclinal y algunas depresiones y valles tectónicos como el valle

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

de Pitalito y la depresión de Suaza - Acevedo que son las partes finales del Valle Superior del Magdalena y el inicio del Macizo Colombiano 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 procesos tectónicos han dado lugar a un intenso fracturamiento, fallamiento y plegamiento que se manifiestan en dos sistemas mayores, uno de dirección predominante al noreste que es el más notorio y otro hacia el noroeste.

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 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 28.

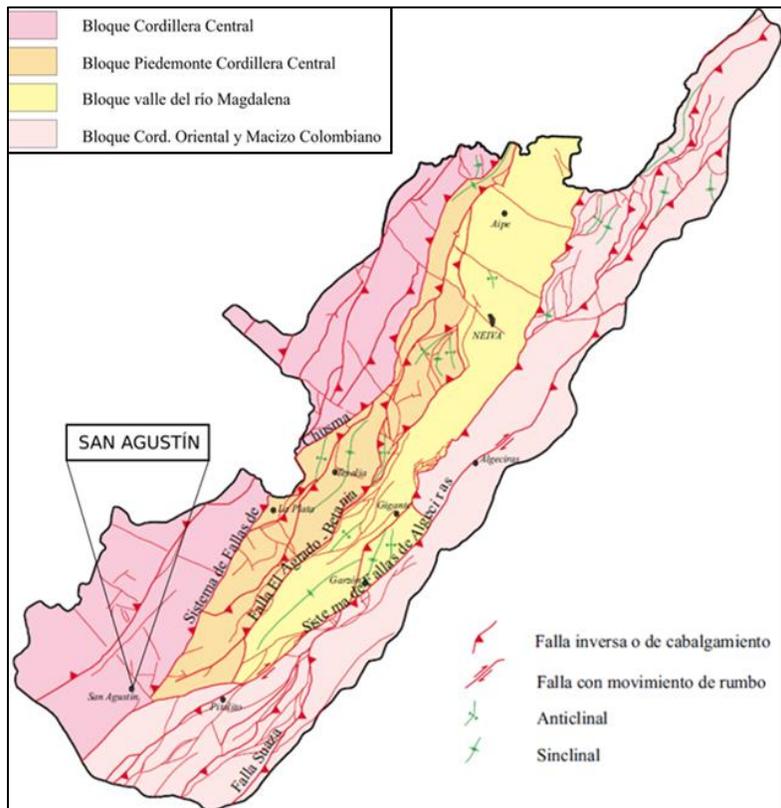


Ilustración 28. Esquema estructural del departamento del Huila. Dentro del recuadro negro se observa la ubicación relativa del poblado de San Agustín.
Fuente: Tomada y modificada de la memoria del mapa geológico del departamento del Huila, Esc. 1: 300.000 (SGC, 2001).

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

Como se puede apreciar en Ilustración 28 los principales procesos tectono – estructurales que pueden o pudieron tener influencia sobre el área que corresponde al casco urbano del municipio de San Agustín son:

• **La Falla La Plata-Chusma**

Según la memoria del mapa geológico escala 1:300.000 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 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. Hacia el sur de La Plata no hay tal diferenciación, y afectan sólo las unidades de rocas plutónicas y volcánicas, y pueden incluso tener efecto sobre las ignimbritas neógenas de la Formación Guacacallo, pero por falta de estudios detallados, se asume por ahora como solapada bajo estos depósitos.

Esta falla delimita un cinturón de cabalgamiento con estilo estructural de cobertura gruesa, con dirección de transporte tectónico al sureste de inclinación general del plano de falla al noroeste. 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 de Granadillo - Timaná**

Es considerada por Velandia et al. (2001b) como sintética del Sistema de Fallas de Algeciras, tiene trazo curvilíneo, controla o limita el flanco norte de la depresión de Pitalito, y expone hacia ese sector una zona montañosa en donde afloran rocas de la Formación Saldaña y la Cuarzomonzodiorita de Sombrerillos. Esta alinea el curso del río Guarapas entre la confluencia con la quebrada Aguadas y el río Guachicos, y continúa hacia el suroeste, donde quizás controla el río Magdalena hasta la confluencia con la quebrada El Ahorcado; en la Vereda El Retiro intercepta el río Granadillo, para relevarse con la Falla Aucayaco cerca al nacimiento de este río. Al igual que la Falla Pitalito, presenta desplazamiento de rumbo dextral con componente vertical mínimo de 1.200 m en la parte este del basamento de la cuenca de Pitalito, para luego disminuir hasta cerca de 400 m más hacia el oeste, de acuerdo con datos gravimétricos analizados por Bakker (1989, 1990).

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

Asociada a la falla se observan facetas triangulares, así como conos aluviales fallados, pequeños abanicos aluviales de origen torrencial y evidencias de desplazamientos laterales, de corta extensión, de varias corrientes que drenan la zona montañosa ubicada al norte de la falla; estos factores fueron considerados por Bakker (1989, 1990) y Diederix & Gómez (1991) como evidencias de actividad en el Cuaternario. En los depósitos que conforman las Terrazas pumíticas también se observó evidencias de actividad neotectónica, manifestada como desplazamientos pequeños entre las capas, tanto en la Vereda El Carmen como en las canteras de la quebrada Matanzas.

6.1.2 Geomorfología regional

Para la identificación y clasificación morfológica se utiliza 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 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 describirán a continuación ciertos aspectos referentes al cambio morfológico y características propias del área de estudio, en este caso el municipio de San Agustín.

Según lo observado en la Ilustración 29, el municipio de San Agustín se encuentra ubicado en una región con una morfología aplanada, que se encuentra afectada por la dinámica fluvial de los ríos Sombrerillos y Magdalena, generando unas fuertes depresiones que funcionan como límites para la zona.

El valle asociado al río Magdalena, presenta una inclinación máxima de 65% que según Carvajal (2012) corresponde a una pendiente Abrupta (15-30°); en el valle del río Sombrerillos corresponde a una pendiente Abrupta (15-30°). Van Zuidam (1986) clasifica las laderas a partir de la longitud de la misma, así las laderas del valle del río Magdalena corresponde a una ladera “moderadamente larga” (250-500m) y las laderas del río Sombrerillos se clasificarían como “cortas”(50-250m), lo que evidencia un proceso de socavación mayor en el cauce del río Magdalena que en el del río Sombrerillos. La región está caracterizada por presentar una densidad moderada de cobertura vegetal, con un incremento hacia la zona de los valles; la actividad antrópica se centra en el perímetro municipal, y en la actividad turística de la región.

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

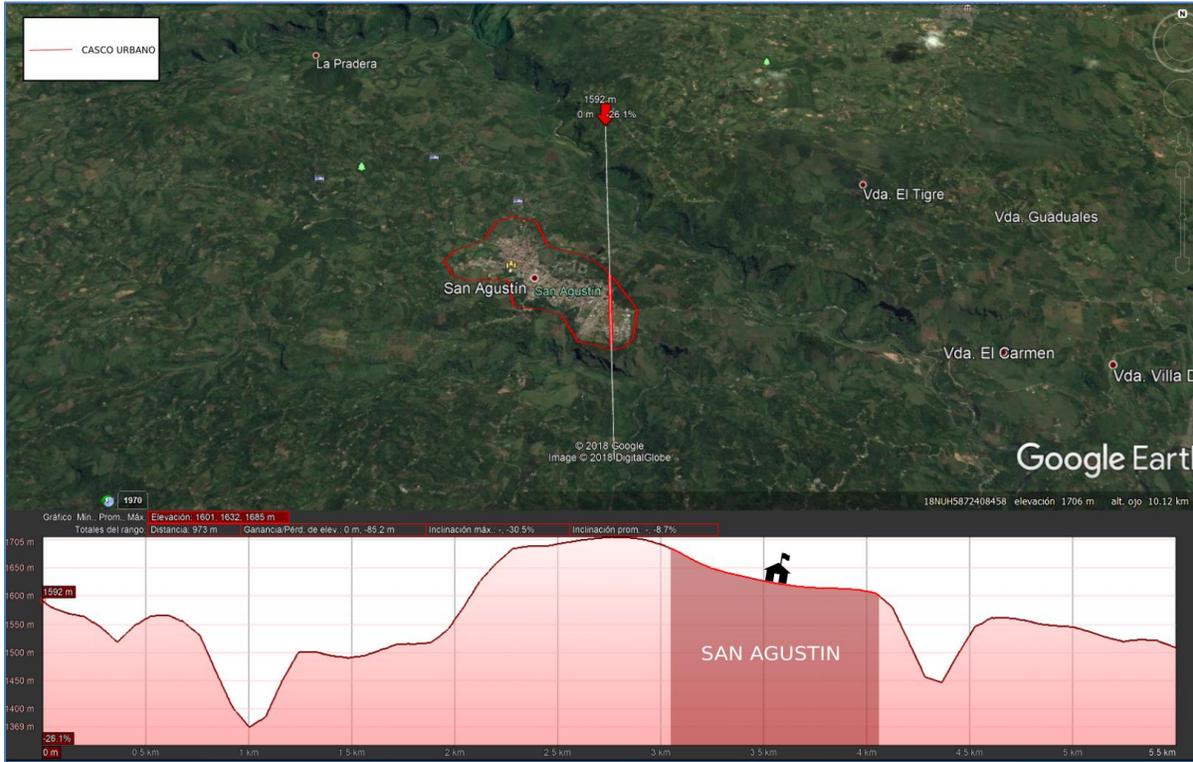


Ilustración 29. Principales rasgos geomorfológicos a nivel regional
Fuente: Google Earth.

La morfología de la región es abrupta en cercanías a los valles de los ríos con zonas de altas pendientes debido a la dinámica fluvial, en las inmediaciones del municipio se tienen pequeños cambios de pendiente, sin embargo la morfología es suavizada debido a que es un Lahar (Nlal) que en el momento de su depósito relleno la paleo topografía y dejó una superficie homogénea.

6.2 ASPECTOS LOCALES

Con base en la fotointerpretación y análisis de imágenes satelitales, se generó un plano fotogeológico preliminar, el cual se ajustó con base en la información existente, las observaciones de campo, las descripciones de los núcleos obtenidos en la campaña de exploración del subsuelo, la interpretación de las líneas de refracción sísmica (LRS) y demás estudios realizados en terreno; se integra, para caracterizar las unidades geológicas para ingeniería, UGI, unidades geomorfológicas, procesos morfodinámicos, y unidades hidrogeológicas, de los predios objeto de este estudio.

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

6.2.1 Geología local

Se llevó a cabo el levantamiento cartográfico de las unidades geológicas superficiales (rocas y suelos) presentes en el área de investigación, al igual que los elementos geomorfológicos, y procesos morfodinámicos, los cuales fueron procesados, analizados y presentados a una escala de utilidad para los análisis geotécnicos (escala 1:2.000) y su caracterización correspondiente.

- **Caracterización de las Unidades Geológicas de Ingeniería**

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. Infiuye 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. Como se observa en la Tabla 5, para definir el grado de meteorización de las rocas se utilizó el perfil generalizado de Dearman (1974, 1991).

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
	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.

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

Unidad usada en el mapa	Grado de meteorización	Nombre	Descripción
	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.

Fuente: 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 30).

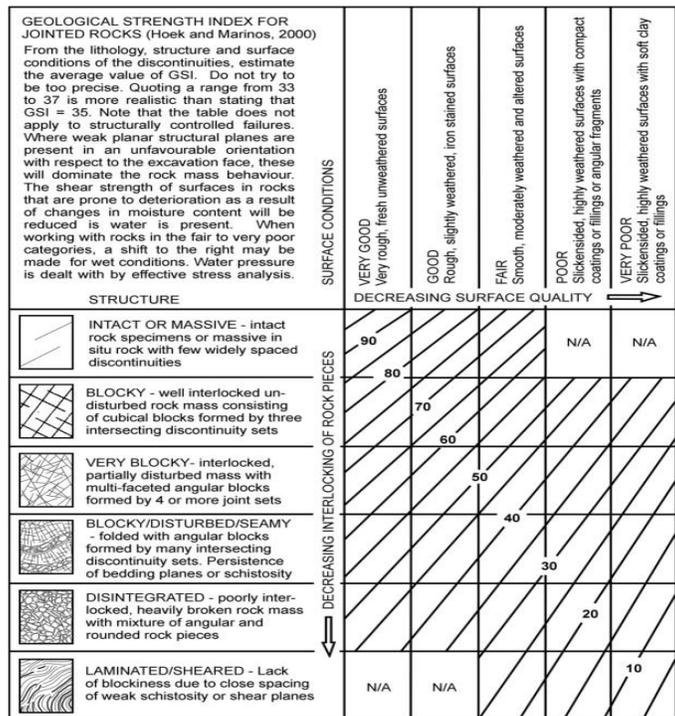


Ilustración 30. Factor G.S.I para Macizos Rocosos.

Fuente: (Tomado de Hoek et al., 1998).

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

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.

• **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 cartografiables, 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 propone 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 m² para cartografiar en planta, adicionalmente en escala vertical se trabajaron con materiales de espesores de 2 metros.

• **Origen y litología**

Se hizo una identificación preliminar de la unidad con base en su origen, que se complementará posteriormente de acuerdo con sus características litoestratigráficas,

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

esto es, la caracterización litológica (composición y estructura) de las sucesiones estratigráficas.

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

• Nomenclatura

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

El sistema de nomenclatura propuesto es el siguiente:

- La primera letra, en mayúscula, indica si es roca (R) o suelo (S).
- Si es 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 ajustará según la caracterización realizada cuantitativamente, que se denomina muy dura (md), dura (d), intermedia (i), blanda (b) y muy blanda (mb).
- Si es suelo (S), la segunda letra indicará el origen: transportado (t), residual (r) o antrópico (a).
- La tercera letra indica el tamaño del grano predominante o la textura del material.
- Se pueden agregar al nombre otras letras que indiquen las características geotécnicas del material.

A continuación se describen la Unidades Geológicas para Ingeniería (UGI) descritas en la zona de estudio; su extensión se observa en 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 emplearon con base en la clasificación de colores para unidades geológicas, relacionado en el informe de Estándares Cartográficos de Mapas Geológicos (SGC. 2012).

• Unidad de suelos

• **Suelo Antrópicos, Depósitos de Escombros, Sade**

Corresponde a mezclas heterogéneas de escombros de construcción, plásticos, restos de maderas, suelos, vidrios, y otros. Dispuestos de manera aleatoria, sin una

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

disposición técnica (Ver Ilustración 31). Son materiales no consolidados, muy permeables, de corta extensión y dispuestos para nivelar zonas deprimidas. Su espesor variable: El sondeo mecánico 1, Sme01, registro 2,5 metros de este material. El sondeo mecánico 2, Sme02, registro 3 metros de este material.



Ilustración 31 Coordenadas: E= 10902288, N= 699272, altura = 1624 m, orientación al noroccidente.
Depósito de Escombros, en escarpe.
Fuente: Geocing SAS

• **Suelo Antrópico, Rellenos Ingenieriles, Sari**

Hace referencia a los materiales seleccionados y compactados, donde se desarrolló la construcción de obras civiles como vías y andenes, del casco urbano y su zona de expansión. Este tipo de depósitos presentan espesores variables entre 0.50 y 2 m, siendo mayores, su composición, está conformada generalmente por mezclas proporcionadas de materiales granulares y cohesivos con coloraciones café, habano y rojizas, compactados. Presentan una matriz de textura arcillo limosa a limo arenosa, con presencia de gravas y bloques (de cualquier procedencia o composición) embebidos en esta. En algunas ocasiones pueden presentar materia orgánica.

Los depósitos utilizados para la construcción de vías, contienen principalmente gravas, bloques y arena bien seleccionados, separados y compactados, los cuales también se utilizan para la construcción de andenes. Las subrasantes tienden a ser mejoradas con mezclas de arenas y finos y, generalmente todos estos depósitos presentan coloraciones de gris claro a habano claro. Se encuentra suprayaciendo

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

discordantemente, materiales preexistentes como suelos residuales de la Formación Vulcanitas Básicas y Suelos residuales de la Formación Guacacallo.

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

- **Suelo Antrópico, Rellenos Indiferenciados, Sarin.**

Hace referencia a los materiales seleccionados, emplazados y compactados, para la construcción de obras civiles como parques, plazas o viviendas, generalmente presentan una matriz arcillo limosa, con lentes de arenas, gravas, y en ocasiones materia orgánica, embebidas en esta. Con coloraciones habano claro a oscuro. Se encuentra suprayaciendo discordantemente, materiales preexistentes como suelos residuales de la Formación Vulcanitas Básicas y Suelos residuales de la Formación Guacacallo.

- **Suelo Transportado Fluvial, Depósito Aluvial Activo, Stfaa**

Depósito cuaternarios que se está depositando actualmente, por lo general se encuentran bajo la tabla de agua de los cauces. Están conformados por material transportado y depositado por la quebrada Las Moyas, y sus tributarios, que atraviesan el casco urbano del municipio de San Agustín y su zona de expansión (Ilustración 32).

Está compuesto por la interdigitación e intercalación de lentes de: arenas, lodos, bloques y gravas; las gravas y bloques son de composición heterogénea, heterométricos, redondeados a subredondeados y de esfericidad media a alta, de espesores variables, continuos, pero de poca extensión sobre el área en estudio.



Ilustración 32 Coordenadas: E= 1089275, N= 700126, altura = 1655 m, orientación al noroccidente.
Cauce de la quebrada las Moyas.
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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

• **Suelo Residual de la Formación Vulcanitas Básicas, Sr-N2Q1vb**

Corresponde a suelos de textura arcillosa, Son el resultado de la degradación debida a agentes meteorológicos, por procesos: físicos, químicos y biológicos, sobre la Formación Vulcanitas Básicas (Ilustración 33 e Ilustración 34). Su espesor es variable: en el sondeo mecánico 02, Sme02, se reportan 7 metros de este material, que suprayacen la roca en estado fresco, e infrayace 3 m de Depósitos de Escombros, con una sumatoria de las 2 últimas secciones del SPT, variable entre 6 y 24 golpes.

Los sondeos manuales: 04, 05 y 06, reportan: 1.8 m, 2 m, y 5.5 m, respectivamente, de este material. La LRS 02, reporta 6 metros de este material, con Vs variable entre 450 y 490 m/s. la LRS 03 reporta 20 metros de este material, con Vs variable entre 510 y 524 m/s.



**Ilustración 33. Coordenadas: E= 1090532, N= 699665, altura = 1680 m, orientación al norte. Suelo residual en corte para vivienda.
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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>



Ilustración 34. Coordenadas: E= 1090698, N= 699314, altura = 1656 m, orientación al oriente. Suelo residual en corte para vivienda
Fuente: Geocing SAS

- ***Suelo Residual de la Formación Guacacallo, Sr-N2g***

Corresponde a suelos de textura arcillosa que varía localmente a areno – limoso, y que contiene algunos bloques muy meteorizados, de origen ígneo extrusivo. Este material es el resultado de la degradación debida a agentes meteorológicos, por procesos: físicos, químicos y biológicos, de rocas de la Formación Vulcanitas Básicas (Ilustración 35). Su coloración es café – rojiza. En el costado oriental de la pista de atletismo del colegio del costado sur – occidental del casco urbano, se observan bloques semiredondeados, con diámetro cercano al medio metro, muy meteorizados. También en corte, se observa la presencia de paleosuelos en la parte superior de esta unidad (Ilustración 36).

Su espesor variable, el sondeo mecánico 01, Sme01, reporta 6 metros de este material, que es suprayacido discordantemente por depósitos de escombros, e infrayacido por rocas de la Formación Guacacallo, con una sumatoria de las 2 últimas secciones del SPT, variable, entre: 4 y 7 golpes. Los sondeos manuales: 01, 02, 03, 04b, reportan respectivamente: 3.7 m, 3.4 m, 5.5 m y 2.8 m, de este material. La LRS 01, reporta 8 metros de este material, con Vs cercana a los 500 m/s.

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



Ilustración 35 Coordenadas: E= 1090051, N= 699344, altura = 1613 m, orientación al oriente. Suelo residual en corte para vivienda.
Fuente: Geocing SAS.



Ilustración 36 Coordenadas: E= 1089341, N= 699710, altura = 1667 m, orientación al norte. Paleosuelos en suelos residuales.
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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

- **Suelo transportado, inestabilidad reciente- Reptación, Stir1**

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 contribuyentes 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, el cambio en el uso del suelo y aportes constantes de agua. Dentro de la zona de estudio sucede indiferentemente sobre suelos residuales de las formaciones: Guacacallo y Vulcanitas Básicas.

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.

- **Suelo traslocado, inestabilidad reciente – Deslizamiento Rotacional, Stir2**

Hace referencia a los materiales originados por movimientos en masa tipo deslizamientos y/o flujos que suceden dentro de la zona de estudio, actuando indiferentemente sobre suelos residuales de las Formaciones: Vulcanitas Básicas y Guacacallo. 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.

- **UNIDAD DE ROCA**

- **Roca Dura, Formación Vulcanitas Básicas, Rd-N2Q1vb**

Se observan vario afloramientos donde se observa esta roca en estado meteorizado – roca fresca, como en el ingreso, calle 2 este con carrera 5ª este, y en la calle 3 con carrera 7, donde se observa una toba volcánica, muy fracturadas, donde se aprecian 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, de grano fino (Ver Ilustración 37). Suprayacen discordantemente rocas de la Formación Guacacallo.

La LRS 2, reporta entre 6 y 12 metros de profundidad, vulcanitas Básicas meteorizadas, con Vs variable entre 570 m/s y 740 m/s, a partir de los 12 metros, vulcanitas con Vs de 845 m/s. La LRS 03, reporta este material, a partir de los 20 metros con Vs de 862 m/s. El sondeo Sme02, reporta ese material a partir de los 10 metros de profundidad, y el Sme03, se realiza en su totalidad (15 m) en este material.

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



**Ilustración 37. Coordenadas: E= 1090817, N= 699233, altura = 1651 m, orientación al oriente.
Fuente: Geocing SAS.**

- ***Roca Intermedia, Formación Guacacallo, Ri-N2g***

Toba aglomerática, conformada por fragmentos gruesos alterados, al parecer de dacitas y riolitas, en una matriz de ceniza y lapilli, compuesta de cuarzo, plagioclasa y biotita (Ilustración 38).

Suprayacen discordantemente rocas de la Formación Lahar de Altamira, e infrayacen discordantemente por rocas de la Formación Vulcanitas Básicas. La LRS 01, reporta entre 8 y 20 metros este material, con Vs de 653 m/s. en los recorridos no se observaron afloramientos de este material. El sondeo Sme01, reporta este material a partir de los 8 metros de profundidad.

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



Ilustración 38. Coordenadas: E= 1090186, N= 699378, altura = 1624 m, detalle. Perforación Sme01, profundidad 8,5 a 10 metros. Fragmentos de la Formación Guacacallo.
Fuente: Geocing SAS.

• Roca Dura, Formación Lahar de Altamira, Rd-N21a

En ventana de roca, del costado sur del casco urbano, y en las márgenes de la quebrada Las Moyas, se observa un material conglomerático, muy cementado, que contiene cantos angulares a muy angulares, originado en un flujo caótico, en matriz vitro – arcillosa, de color oscuro (Ver Ilustración 39). Infrayacen discordantemente rocas de la Formación Lahar de Altamira. La LRS 01, registra este material, a partir de los 20 metros de profundidad, con Vs de 790 m/s.



Ilustración 39. Coordenadas: E= 1089948, N= 699329, altura = 1590 m, orientación al noroccidente. Rocas de Lahar de Altamira, en cauce de quebrada.
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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

Tabla 6. Descripción de las unidades Geológicas para Ingeniería en la zona de estudio.

Periodo / Época	Unidad UGI	Símbolo UGI	Descripción
Cuaternario	Suelo trasladado, inestabilidad reciente 2	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 contribuyentes 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, el cambio en el uso del suelo y aportes constantes de agua. Dentro de la zona de estudio sucede indiferentemente sobre suelos residuales de las formaciones: Guacacallo y Vulcanitas Básicas.
	Suelo trasladado, inestabilidad reciente 1	Stir-2	Hace referencia a los materiales originados por movimientos en masa tipo deslizamientos y/o flujos que suceden dentro de la zona de estudio, actuando indiferentemente sobre suelos residuales de las Formaciones: Vulcanitas Básicas y Guacacallo.
	Suelo Antrópicos, Depósitos de Escombros,	Sade	Corresponde a mezclas heterogéneas de escombros de construcción, plásticos, restos de maderas, suelos, vidrios, y otros. Dispuestos de manera aleatoria, sin una disposición técnica.
	Suelo Antrópico, Rellenos Ingenieriles	Sari	Hace referencia a los materiales seleccionados y compactados, donde se desarrolló la construcción de obras civiles como vías y andenes, del casco urbano y su zona de expansión. Este tipo de depósitos presentan espesores variables entre 0.50 y 2 m. Su composición, está conformada generalmente por mezclas proporcionadas de materiales granulares y cohesivos con coloraciones café, habano y rojizas, compactados. Presentan una matriz de textura arcillo limosa a limo arenosa, con presencia de gravas y bloques (de cualquier procedencia o composición) embebidos en esta.
	Suelo Antrópico, Rellenos Indiferenciados	Sarin	Hace referencia a los materiales seleccionados, emplazados y compactados, para la construcción de obras civiles como parques, plazas o viviendas, generalmente presentan una matriz arcillo limosa, con lentes de arenas, gravas, y en ocasiones materia orgánica, embebidas en esta. Con coloraciones habano claro a oscuro.
	Suelo Transportado Fluvial, aluvial activo	Stfaa	Depósito cuaternario reciente conformado por material transportado y depositado actualmente por la quebrada Las Moyas, y sus tributarios. Está compuesto por la interdigitación e intercalación de lentes de: arenas, lodos, bloques y gravas; las gravas y bloques son heterométricos, redondeados a subredondeados y de esfericidad media a alta. De espesores variables, continuos, pero de poca extensión sobre el área en estudio.
	Suelo Residual de la Formación Vulcanitas Básicas	Sr-N2Q1vb	Corresponde a suelos de textura arcillosa, originados a partir de la degradación de rocas de la Formación Vulcanitas Básicas. Su espesor es variable: en el sondeo mecánico 02, se reportan 5 metros. Los sondeos manuales: 04, 05 y 06, reportan: 1.8, 2, y 5,5 metros, respectivamente,

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

Periodo / Época	Unidad UGI	Símbolo UGI	Descripción
	Suelo Residual de la Formación Guacacallo	Sr-N2g	de este material. Corresponde a suelos de textura arcillosa que varía localmente a arenoso – limoso, y que contiene algunos bloques muy meteorizados, de origen ígneo extrusivo. Este material se origina, a partir de la degradación de rocas de la Formación Vulcanitas Básicas. Su coloración es café – rojiza. En el costado oriental de la pista de atletismo del colegio del costado sur – occidental del casco urbano, se observan bloques semiredondeados, con diámetro cercano al medio metro, muy meteorizados.
	Roca Dura, Formación Vulcanitas Básicas	Rd-N2Q1vb	Toba volcánica, muy fracturadas, donde se observan cristales de feldespatos alcalinos y plagioclasas, de cuarzo, con formas y dimensiones variables, fragmentos de riolitas vítreas y fragmentos de toba de grano fino, en una pasta de ceniza, de grano fino.
Neógeno	Roca Intermedia, Formación Guacacallo	Ri-N2g	Toba aglomerática, conformada por fragmentos gruesos alterados, al parecer de dacitas y riolitas, en una matriz de ceniza y lapilli, compuesta de cuarzo, plagioclasa y biotita. Suprayacen discordantemente rocas de la Formación Lahar de Altamira, e infrayacen discordantemente por rocas de la Formación Vulcanitas Básicas.
	Roca Dura, Formación Lahar de Altamira	Rd-N2la	En ventana de roca, del costado sur del casco urbano, y en las márgenes de la quebrada Las Moyas, se observa un material conglomerático, muy cementado, que contiene cantos angulares a muy angulares, originado en un flujo caótico, en matriz vitro – arcillosa, de color oscuro. Infrayacen discordantemente rocas de la Formación Lahar de Altamira.

Fuente: Geocing SAS.

• Condiciones Estructurales Locales

En los sectores donde afloran rocas de la Formación Vulcanitas Básicas, fue posible realizar mediciones de valores representativos de Familia de diaclasas, valores que son consignados en la Tabla 7 y se observan en el Plano de Geología Local. En estas rocas el macizo se presenta muy fracturado, donde la mayoría de fracturas tiene una persistencia mayor a los 5 metros, espaciamiento entre los 0,2 y 0,6 metros, y aberturas aproximadas de 1 mm.

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

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

Estación	Coordenadas			D1	D2	D3
	E	N	Altura			
21	1090817	699233	1651 m	322/50	60/84	208/40
41	1090088	699698	1655 m	210/88	300/65	
691				292/45	172/69	129/35

Fuente: Geocing SAS.

6.2.2 Geomorfología local

En la zona de estudio confluyen ambientes morfogenéticos de tipo: antropogénico, fluvial, denudacional, mixto denudacional – agradacional y volcánico, donde se describen las siguientes unidades geomorfológicas, cuya extensión se observa en el Plano de Geomorfología Local y sus principales características en la Tabla 6.

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

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: Vargas. 2001.

La longitud de la ladera es un posible indicador de la homogeneidad del material constitutivo de las geoformas, y se puede establecer una relación entre la longitud de la ladera y la homogeneidad del material (a mayor longitud mayor homogeneidad). Igualmente, la longitud de la ladera puede determinar una mayor superficie para el desarrollo de procesos morfodinámicos. Las anteriores relaciones no siempre son

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

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: Van Zuidam (1986).

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).

• UNIDADES DE AMBIENTE ANTROPOGÉNICO

- **Rellenos de Escombros y/o Escombreras, Are** Correlaciona con algunos 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. Los bordes de esta unidad, por ser no consolidados, y estar descubiertos, son altamente susceptibles a desarrollar procesos tipo caídas y pequeños deslizamientos.

- **Superficie de Explanación, Asp**

Correlaciona con los sectores, donde se ha adecuado el terreno para la construcción de obras civiles como vías, andenes y otros constituidos con rellenos técnicos. Corresponde a planos de allanamiento hecho en 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 la explanación o terraceos que disminuyen la pendiente del terreno, y/o rellenos para conformar el terreno (Ilustración 40).

En cuanto a las vías, gran parte de esta unidad se encuentra cubierto en pavimento rígido y otra en flexible, con pequeños sectores donde no se ha aplicado cubierta de pavimento. La mayor parte, se encuentra en buen estado, destacando sectores

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

deteriorados por el uso y mal mantenimiento. La inclinación presente en la zona de estudio, induce a un buen drenaje de aguas de escorrentía de esta unidad.



**Ilustración 40. Coordenadas: E= 1090647, N= 699524, altura = 1673 m, orientación al sur.
Ilustración de unidades geomorfológicas de Ar, Asp y Dir.
Fuente: Geocing S.A.S**

• Planos y Campos de Llenos Antrópicos, Ar

Corresponde a los sectores donde se ha adecuado el terreno para la construcción de diferentes tipos de unidades de viviendas de diferentes niveles y zonas comerciales. Planos artificiales con material de relleno para acondicionar terrenos anegadizos, y/o para mejorar los materiales de soporte de estructuras (terraplenes, y rellenos de mejoramientos de base para edificaciones). Técnicamente son gravas, bloques y arena bien a moderadamente compactados, sin embargo, también se encuentran en escombros y desechos de construcción (Ilustración 40 e Ilustración 41). Susceptible a presentar hundimientos por estudios de suelos deficientes, zonas de ladera con deficientes sistemas constructivos y/o procesos de inestabilidad actuantes.

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



Ilustración 41. Coordenadas: E= 1089710, N= 699286, altura = 1613 m, orientación al noroccidente. Ilustración de las unidades geomorfológicas de: Ar, Fca, Dlo. Fuente: Geocing SAS.

• Corte en Ladera Volcánica, Aclv

Presenta un paisaje de montaña, tipo de relieve de talud, y correlaciona con los cortes realizados en material volcánico. Estos taludes, tienen altura de hasta 20 metros, y se realizaron ara la conformación de parte de vías como lo son el trazado de la calle 2 este con carrera 5 a este (Ilustración 42), y la calle 3 con carrera 7.

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



Ilustración 42. Coordenadas: E= 1090817, N= 699233, altura = 1651 m, orientación al nororiente. Ilustración de la unidad geomorfológica de Aclv. Fuente: Geocing SAS.

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 abruptas (desde 10° a 30°). 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 de textura arcillosa de las formaciones: Guacacallo y de Vulcanitas Básicas).

- ***Laderas en movimiento o con procesos de inestabilidad reciente, MDAmir-2***

Hace referencia a las geoformas originadas por movimientos en masa recientes, de origen variado; con pendientes de inclinadas a muy abruptas (desde 10° a 30°). 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 montículo.

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

• **Unidades de Ambiente Denudacional**

• **Loma Residual, Dlr**

Geoforma con paisaje de montaña, tipo de relieve de lomas, forma de terreno de ladera, inclinación de laderas entre inclinada y abruptas (6° a 20°, Vargas, 2001). Correlaciona en los sectores donde afloran suelos residuales de la Formación Vulcanitas Básicas (Ilustración 40). Esta unidad es susceptible a desarrollar focos de erosión en los sectores desprovistos de capa vegetal protectora, así como susceptible a desarrollar procesos tipo reptación, flujos, y deslizamientos traslacionales por cambio en el uso del suelo, cortes en el mismo y mal manejo de las aguas de escorrentía y residuales.

• **Ladera Ondulada, Dlo**

Geoforma con paisaje de montaña, tipo de relieve de lomas, forma de terreno de ladera, inclinación de laderas entre planas a suavemente inclinadas y muy inclinadas (5° a 15°, Vargas, 2001). Se localiza en los sectores donde afloran suelos residuales de la Formación Guacacallo. Forma escarpes en los bordes y disecciones dentro de la unidad, con inclinaciones que pueden ser de hasta 45° (Ilustración 43). Esta unidad es susceptible a desarrollar focos de erosión en los sectores desprovistos de capa vegetal protectora, así como susceptible a desarrollar procesos tipo reptación, flujos.



Ilustración 43. Coordenadas: E= 1089948, N= 699329, altura = 1590 m, orientación al occidente (aguas arriba). Ilustración de las unidades geomorfológicas de: Dlo, Vefla, Fca. 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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

- **Unidades de Ambiente Fluvial**

- ***Cauce Aluvial, Fca***

Esta unidad presenta un paisaje de valle, tipo de relieve de valle estrecho. Geoforma generada por la dinámica de la quebrada La Moya y sus tributarios, que discurren el área de estudio. Está conformada por material aluvial transportado en estos cauces y se caracteriza por presentar una pendiente moderada a baja, y que se encuentran entallados en escarpes de diferente longitud. Localmente presenta puntos con procesos de socavación lateral y de fondo, así como sectores altamente susceptibles a crecientes y/o avenidas torrenciales, en especial, los localizados hacia el noroccidente de la zona de estudio (Ilustración 43). En el sector de la piscina del municipio, se observa que el cauce de la quebrada La Moya fue desviado para la construcción de la piscina (Ilustración 44).



Ilustración 44. Coordenadas: E= 1089102, N= 700334, altura = 1573 m, orientación al suroccidente. Ilustración de la unidad geomorfológica de Fca. Fuente: Geocing SAS.

- **Unidades de Ambiente Volcánico**

- ***Escarpe de Flujo Laharico Aterrazado, Vefla***

Correlaciona con los sectores donde aflora la unidad de roca de Lahar de Altamira, y donde estas ventanas se localizan en tipos de relieve de escarpes, inclinación de ladera variable entre abrupta y escarpada (16° a 45°, Ilustración 43). Susceptible a presentar caída de bloques por erosión diferencial.

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

Tabla 10. Descripción de las unidades geomorfológicas del área de estudio.

Ambiente Morfogénico	Unidad	Símbolo	Características	Procesos
Antropogénico	Rellenos de Escombros y/o Escombreras	Are	Correlaciona con algunos 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.	Los bordes de esta unidad, por ser no consolidados, y estar descubiertos.
	Superficie de Explanación	Asp	Correlaciona con los sectores, donde se ha adecuado el terreno para la construcción de obras civiles como vías, andenes y otros constituidos con rellenos técnicos. Corresponde a planos de allanamiento hecho en 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 la explanación o terracedos.	La inclinación presente en la zona de estudio, induce a un buen drenaje de aguas de escorrentía de esta unidad. Se observan hundimientos localizados.
	Planos y Campos de Llenos Antrópicos	Ar	Técnicamente son gravas, bloques y arena bien a moderadamente compactados, sin embargo, también se encuentran en escombros y desechos de construcción.	Susceptible a presentar hundimientos por estudios de suelos deficientes.
	Corte en Ladera Volcánica	Aclv	Presenta un paisaje de montaña, tipo de relieve de talud, y correlaciona con los cortes realizados en material volcánico. Estos taludes, tienen altura de hasta 20 metros, y se realizaron para la conformación de parte de vías como lo son el trazado de la calle 2 este con carrera 5 a este, y la calle 3 con carrera 7.	En esta unidad existe la susceptibilidad a presentar caída de bloques.
Denudacional	Loma Residual	Dlr	Geoforma con paisaje de montaña, tipo de relieve de lomas, forma de terreno de ladera, inclinación de laderas entre inclinada y abruptas (6° a 20°, Vargas, 2001). Correlaciona en los sectores donde afloran suelos residuales de la Formación Vulcanitas Básicas.	Susceptible a desarrollar procesos tipo reptación, flujos, y deslizamientos traslacionales por cambio en el uso del suelo y residuales.
	Ladera Ondulada	Dlo	Geoforma con paisaje de montaña, tipo de relieve de lomas, forma de terreno de ladera, inclinación de laderas entre planas a suavemente inclinadas y muy inclinadas (<5° a 15°, Vargas, 2001). Se localiza en los sectores donde afloran suelos residuales de la Formación	Esta unidad es susceptible a desarrollar focos de erosión en los sectores desprovistos de capa vegetal protectora, así como susceptible a desarrollar procesos tipo reptación, flujos, y

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

Ambiente Morfogénico	Unidad	Símbolo	Características	Procesos
			Guacacallo. Forma escarpes en los bordes y disecciones dentro de la unidad, con inclinaciones que pueden ser de hasta 45°.	deslizamientos traslacionales por cambio en el uso del suelo y cortes en el mismo, especialmente en los escarpes que bordea esta unidad.
Fluvial	Cauce Aluvial	Fca	Esta unidad presenta un paisaje de valle, tipo de relieve de valle estrecho. Geoforma generada por la dinámica de la quebrada La Moya y sus tributarios, que discurren el área de estudio. Está conformada por material aluvial transportado en estos cauces y se caracteriza por presentar una pendiente moderada a baja, y que se encuentran entallados en escarpes de diferente longitud.	Localmente presenta puntos con procesos de socavación lateral y de fondo, así como sectores altamente susceptibles a crecientes y/o avenidas torrenciales, en especial, los localizados hacia el noroccidente de la zona de estudio.
Volcánico	Escarpe de Flujo Laharico Aterrazado	Vefla	Correlaciona con los sectores donde aflora la unidad de roca de Lahar de Altamira, y donde estas ventanas se localizan en tipos de relieve de escarpes, inclinación de ladera variable entre abrupta y escarpada (16° a 45°).	Susceptible a presentar caída de bloques por erosión diferencial.
Mixto Denudacional - Agradacional	Laderas en movimiento o con procesos de inestabilidad reciente 1	MDAmir-1	Hace referencia a las geoformas originadas por movimientos superficiales tipo reptación y se puede presentar en pendientes de inclinadas a muy abruptas (desde 10° a 30°). Corresponde a movimientos superficiales, que presentan una deformación dúctil, sin existir plano de falla.	Actualmente suceden movimientos en masa tipo reptación.
	Laderas en movimiento o con procesos de inestabilidad reciente 2	MDAmir-2	Hace referencia a las geoformas originadas por movimientos en masa recientes, de origen variado; con pendientes de inclinadas a muy abruptas (desde 10° a 30°). El material se desprende en conjunto, deslizándose por pendientes abruptas, hasta que finalmente se emplaza sobre pendientes suaves a ligeramente inclinadas	Actualmente suceden movimientos en masa tipo flujos y/o deslizamientos.

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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

6.3 MORFODINÁMICA

A continuación, se describen los principales tipos de procesos erosivos y movimientos en masa, observados y/o con alta posibilidad de ocurrencia en el casco urbano del municipio de San Agustín y su zona de expansión.

La mayoría de procesos inventariados, no fueron observados en la fase de fotointerpretación e interpretación de imágenes satelitales, debido a la escala de estas; el inventario y la delimitación de estos procesos, fue posible en la fase de campo (a cada proceso, se le levanto en campo una ficha de procesos, cuya plantilla es tomada de la Guía Metodológica Para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad, y Riesgos por movimientos en masa. SGC. 2014).

Es de recordar que los procesos erosivos, si no son mitigados a tiempo, pueden favorecer la ocurrencia de movimientos en masa (FRM). La probabilidad de ocurrencia de estos, constituyen amenazas que al materializarse pueden generar riesgo para la infraestructura y/o población del casco urbano del municipio de San Agustín 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 quemadas, 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, 1.981).

• *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 adenaños.

Es importante anotar el socavamiento lateral del cauce se da 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

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

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 remociones en masa hacia las mismas.

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, 1.981). Este proceso tiene una incidencia baja y se presenta sobre las márgenes de la quebrada las Moyas y sus tributarios.

- ***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.

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, juntamente con las prácticas de desyerbe con azadón favorecen este tipo de erosión (Bahamon y Gaitán, 1.981).

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

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

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.

Este proceso se observa en los sectores que han sido adecuados para expansión del casco urbano, terrenos que fueron sometidos a procesos de descapote y cortes para la adecuación de construcciones, y en los cuales los procesos de erosión han actuado, ante la falta de cubierta vegetal protectora (Ilustración 45).



Ilustración 45 Sector con cortes para adecuación a futura zona urbanizable, donde priman procesos de erosión, en los sectores desprovistos de capa vegetal protectora.

Fuente: Geocing SAS.

- ***Hundimientos / tubificación***

Tipo de erosión mecánica, por dispersión y disolución y exportación que acaece en los suelos, regolitos y sus materiales parentales (sedimentos o rocas no consolidadas), cuyos minerales son evacuados por flujos hídricos subsuperficiales, especialmente cuando los materiales constituyentes son mayoritariamente finos (arena, limo y arcilla), con un alto contenido en sodio y arcillas expandibles.

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

Al ensanchar grietas previas, pueden generar badlands o cárcavas superficiales. Según comentarios del señor comandante del cuerpo de Bomberos del casco urbano del municipio de San Agustín, sr Mauricio, en la calle 3 con carrera 11, se ha presentado hundimiento de la vía por mucho tiempo; este hundimiento se ha corregido con relleno.



Ilustración 46. Sector de la calle 3 con carrera 11.
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 el 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 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

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

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, puede favorecer la inestabilidad del subsuelo al aportar grandes cantidades de agua lluvia, la cual, además de aumentar la presión 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.

• **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 5×10^1 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. Este proceso es susceptible de suceder, en cortes realizados en la unidad de Vulcanitas Básicas (Ilustración 47 e Ilustración 48).

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



Ilustración 47. Coordenadas. Sector de la calle 3 con carrera 5, con susceptibilidad a caída de bloques.
Fuente: Geocing SAS.



Ilustración 48. Sector de la calle 2 este con carrera 5ª este, con susceptibilidad a caída de bloques.
Fuente: Geocing SAS.

• **Deslizamientos**

Es un movimiento ladero 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.

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

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 cuna. 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 hablara de deslizamientos compuestos (Hutchinson, 1988) (Tomado de Movimientos en Masa en la Región Andina. Gemma. Año 2.007).

Dependiendo del tipo de superficie sobre la cual tiene lugar el movimiento, se tiene:

- Deslizamientos planares. Se dan a lo largo de superficies más o menos planas presentes en las rocas. Dichas superficies pueden ser planos de estratificación, diaclasas, planos de falla o planos de esquistosidad entre otros. Normalmente se producen cuando los planos estructurales se inclinan en la misma dirección de la pendiente con un ángulo peligroso.
- 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.

En la vivienda de la señora Ana María Santacruz, cerca de la carrera 4, entre calles 4 y 3, barrio Siloé, se presenta un proceso, de tipo deslizamiento traslacional, de tipo retrogresivo, muy lento, que ha afectado gran parte de la vivienda, y que al parecer ha afectado en los últimos 18 años. Se observa un corte en ladera, en suelos residuales de la formación Vulcanitas Básicas, realizado para la implantación de la casa vecina, al sur de la afectada, donde este corte ha sido un gran contribuyente del proceso (Ilustración 49 e Ilustración 50). Este proceso no es cartografiable a la escala de salida de los planos de este estudio. La unidad geológica Stir-2, representa sectores afectados por esta clase de procesos.



Ilustración 49. Se observa corte en ladera para la construcción de la vivienda del costado sur. La vivienda afecta en la parte superior del corte.
Fuente: Geocing SAS.



Ilustración 50. Vivienda afectada por proceso de tipo retrogresivo.
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

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

desplazamiento relativamente continuo en el tiempo. La reptación de suelos contribuye 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. La unidad geológica Stir-1, representa sectores afectados por esta clase de procesos.

6.4 ANÁLISIS MULTITEMPORAL

A los diferentes vuelos de aerofotografías seleccionadas (Tabla 11), 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 del municipio de San Agustín, Huila.

Fecha	Vuelo	Sobre	Fotos	Escala	Procedencia
1972	C-1424	S-26325	10-11-12	1:21800	IGAC
1982	C-2061	S-31512	105-108	1:36470	IGAC
1991	C-2462	S-36166	226-229	1:30000	IGAC
2006	C-2789	S-40684	177-188	1:10900	IGAC
2018					GEOCING SAS

Fuente: Geocing Sas.

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

- Las zonas elevadas se encuentran ubicadas sobre material competente con morfologías escarpadas y angulosas, poca vegetación herbácea y pendientes altas. Mientras que las zonas deprimidas presentan depósito de materiales recientes, vegetación de arbustiva a arbórea y en ocasiones rellenos con morfología de pendiente suave a moderada y redondeada.
- Las corrientes de aguas principales, como el río Magdalena y el río Sombrerillos se encuentran encañonados en la mayor parte de su recorrido, por lo que su mayor erosión es de fondo, sin embargo, se observan grandes escarpes antiguos en las zonas laterales de su recorrido
- A partir del análisis multitemporal realizado, se observa que la proporción de habitantes en el municipio aumentó desde el año 1972, fecha desde la cual se tiene

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

registro fotográfico hasta la fecha, que se evidencia en el crecimiento del casco urbano hacia el sector oriental y norte.

- Se logra observar, que debido a las actividades de construcción y desarrollo agropecuario, se presentan terrenos con coloraciones claras en las fotografías más recientes, producto de la aceleración de procesos erosivos debido a la intervención antrópica.
- Se observa un fuerte lineamiento en la parte sur de las fotografías, que puede corresponder a una falla que atraviesa el río Sombrerillos
- Se traza el contorno de posibles unidades litológicas, de acuerdo al tipo de drenajes y a la morfología que presentan. En la parte sur se identifican dos unidades, otra donde se encuentra el municipio de San Agustín otra y por último una hacia el nororiente de la zona de estudio

• AÑO 1972

Para el año 1972, el casco urbano del municipio de San Agustín se caracteriza por tener una población pequeña, repartida en 15 manzanas urbanas, las cuales se desarrollan utilizando como eje principal la vía que comunica el poblado de noroeste a noreste, va de la Carrera 16 a la Carrera 6 Este (de NW a SE). La zona urbana de San Agustín se encuentra sobre una unidad de topografía suavizada, la cual se encuentra disectada por múltiples drenajes que transcurren principalmente hacia el margen sur de la población. Hacia el sureste de la población se identifica una unidad rocosa con patrón de drenaje tipo subdendrítico muy denso en una unidad de topografía abrupta. Siguiendo en el sur, casi en la intersección entre los ríos Sombrerillos y Granadillo, se observa un lineamiento (marcado en color rojo) que viene desde el sur y altera el rumbo del cauce del primero, lo que indica que se trata de un lineamiento de una falla (Ilustración 51).

Existe un gran desarrollo de vías de comunicación hacia otros municipios. Las unidades de vivienda en la época, suceden en el sector de topografía suavizada; se observan algunos asentamientos en lo que va a ser el barrio Siloé. Sobre la unidad de vulcanitas, se observan 3 cortes, por la ejecución del trazado de vías. Se observa canalización de escorrentía N-S, sobre lo que hoy es la carrera 11; actualmente en esta zona se presentan hundimientos crónicos en la vía, y en algunas viviendas.

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



Ilustración 51. Aerofotografía 011, Vuelo C-1424.
Fuente: Modificado IGAC.

- AÑO 1982**

Alrededor de los ríos Sombrerillos y Magdalena se observan múltiples escarpes, sin embargo, estos a través de todas las aerofotografías disponibles y de sensores remotos (Google Earth) muestran que se encuentran cicatrizados, por lo que infiere que la acción erosiva de estos ríos es principalmente de fondo y no lateral.

Hacia la parte norte se traza el contorno alrededor de una unidad que presenta un patrón de drenaje tipo subparalelo en una topografía inclinada. Dentro de esta unidad se observa un patrón de drenaje radial alrededor de un cráter volcánico (marcado con negro, Ilustración 52).

El casco urbano del municipio de San Agustín, aumenta su extensión hacia la margen izquierda del río Sombrerillos. En el sector del actual barrio Siloé, se observa el trazado de algunas vías, algunas viviendas, pero se observa una gran cantidad de árboles en los espacios entre el trazado de las vías.

 <p>COMISIÓN NACIONAL DE AVALUACIÓN DE RIESGOS ¡Cuida tu naturaleza!</p>	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
 <p>Geociencias e Ingeniería</p>	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

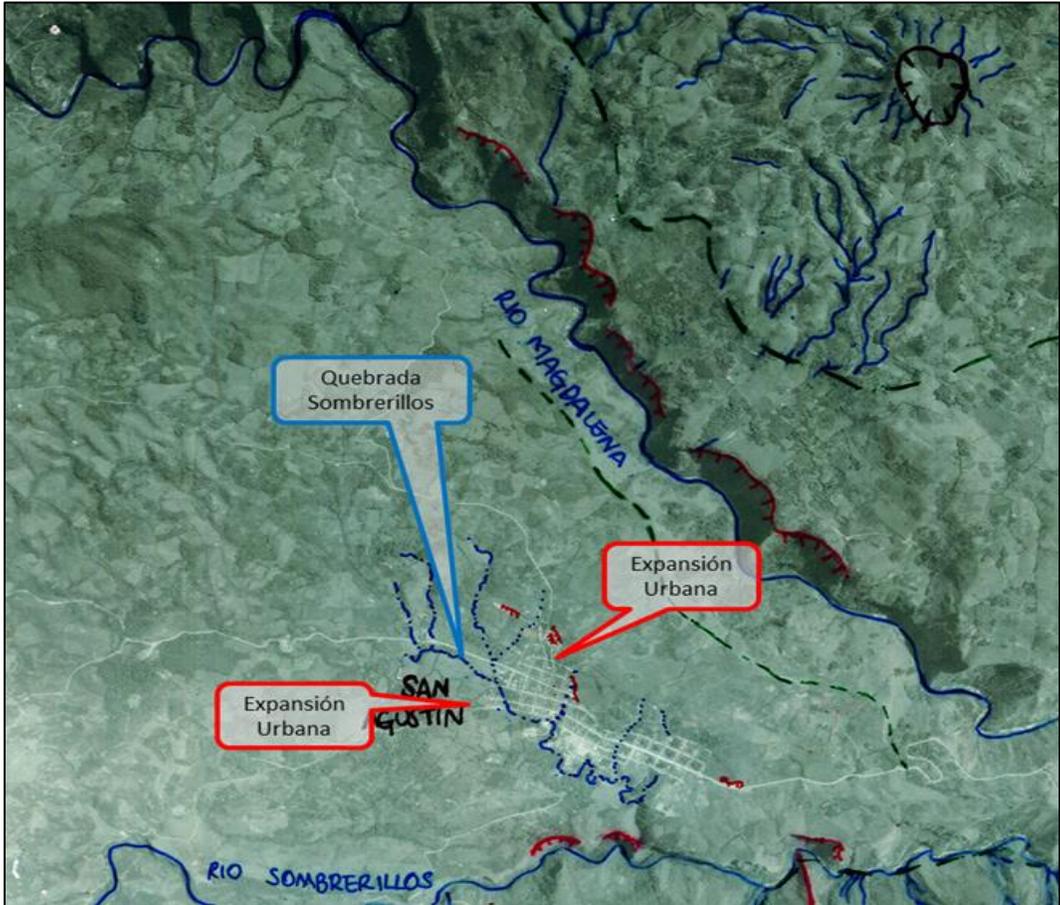


Ilustración 52. Aerofotografía 106, Vuelo C-2061.
Fuente: Modificado IGAC.

- **AÑO 1991**

Con respecto a la imagen anterior, se observa un gran desarrollo de la maya vial, y cantidad de viviendas en el sector del barrio Siloé.

Continúa el crecimiento de la ciudad hacia la margen izquierda de la quebrada Sombrerillos. Ya se observan varios drenajes canalizados. Incremento de actividad agrícola (cultivos de café) en los alrededores del casco urbano (Ilustración 53).

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

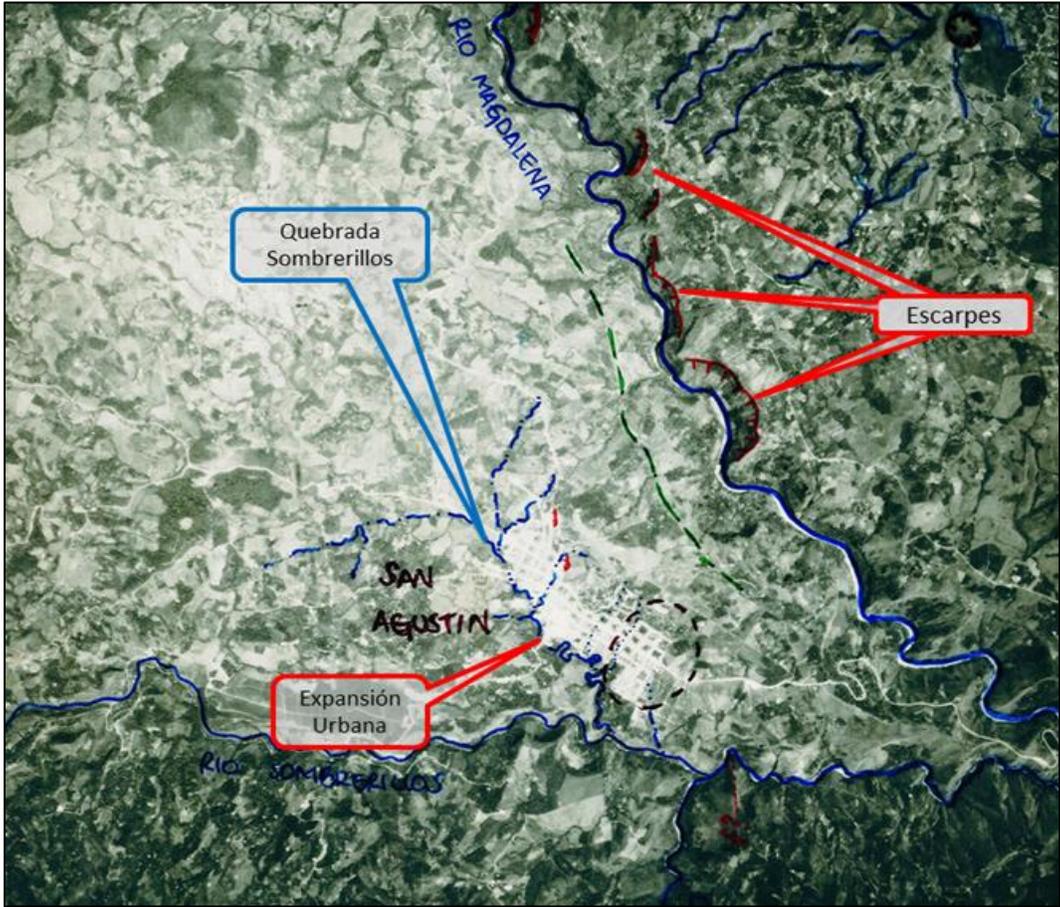


Ilustración 53. Aerofotografía 228, Vuelo C-2462.
Fuente: Modificado IGAC.

• **AÑO 2006**

Se observa con mayor claridad el crecimiento de la población principalmente en la parte oriental y en las zonas laterales del municipio. Además del casco urbano, se observan múltiples caseríos de tamaño poco considerable principalmente hacia la parte occidental, a lo largo de la vía principal. Hacia el SW de la cancha del colegio se observan cortes y terracedos, al parecer para la adecuación para la construcción de viviendas.

Desvío de un cauce menor para la construcción de una piscina sobre cauce de la quebrada Las Moyas, al sur del trazado de la calle 5 (vía de salida al parque arqueológico).

También se observa la construcción de la cancha del IE Laureano Gómez, en el costado sur del casco urbano de San Agustín. Al costado suroccidental de esta se observa cortes y terracedo, adecuación al parecer para construcción de viviendas.

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

También se observa que fue construido el coliseo, cerca del IE Laureano Gómez; por lo tanto fue canalizado tramo de la quebrada Las Moyas en este sector.

En contraste con las fotografías de años anteriores, se resalta el aumento de vías de comunicación hacia otros municipios, principalmente hacia el oriente. Se observa una alta densidad de sectores deforestados principalmente para el desarrollo de actividades agropecuarias (Ilustración 54).

Ingresando, por el sector de Pitalito, se observa un gran desarrollo urbanístico. Siguiendo hacia el barrio Siloé, se observan viviendas a media ladera, en donde en la imagen anterior no se observaba ninguna vivienda.

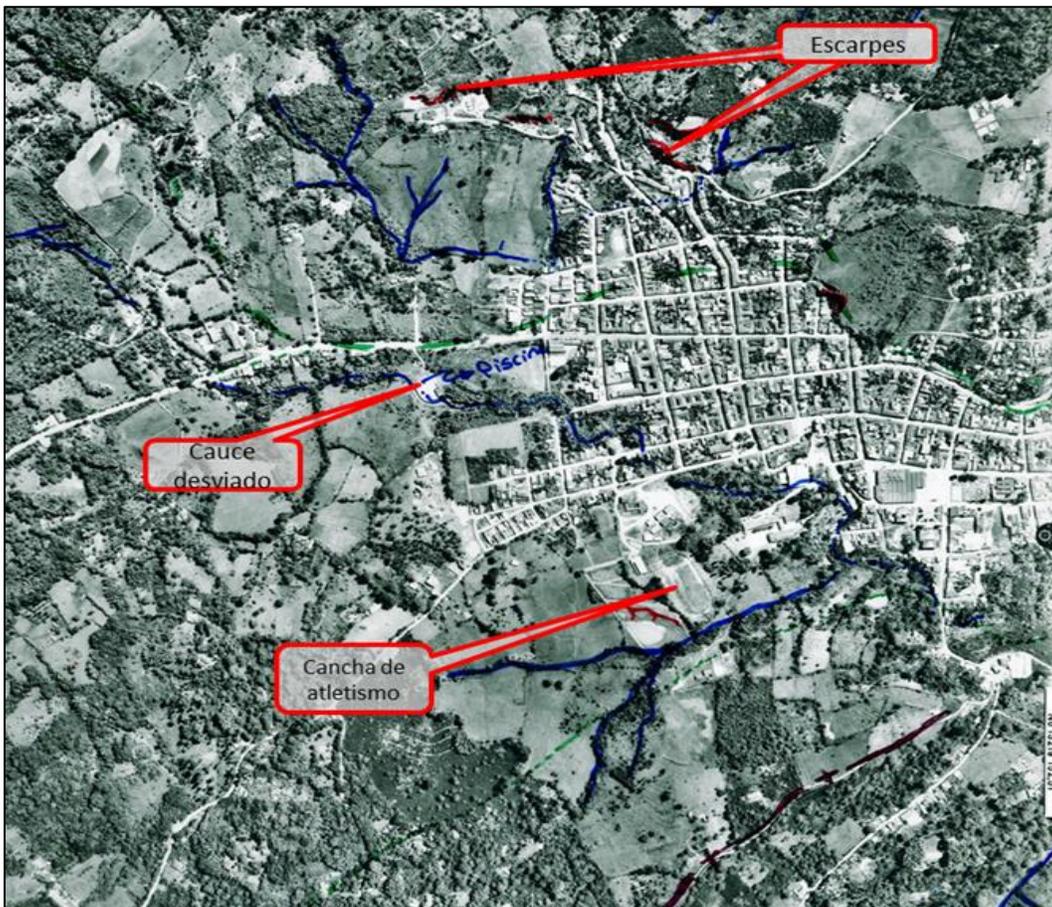


Ilustración 54. Aerofotografías 186, Vuelo C-2789.
Fuente: Modificado IGAC.

En la Ilustración 55 se observa un lineamiento que puede corresponder a la presencia de una Falla, inferido porque parece truncar y desviar el cauce normal de la quebrada Sombrerillos.

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

Para esta época ya estaba construido el coliseo en cercanías al colegio, por lo cual se rellena esta zona, y se canaliza parte de la quebrada que transcurre por este sector.

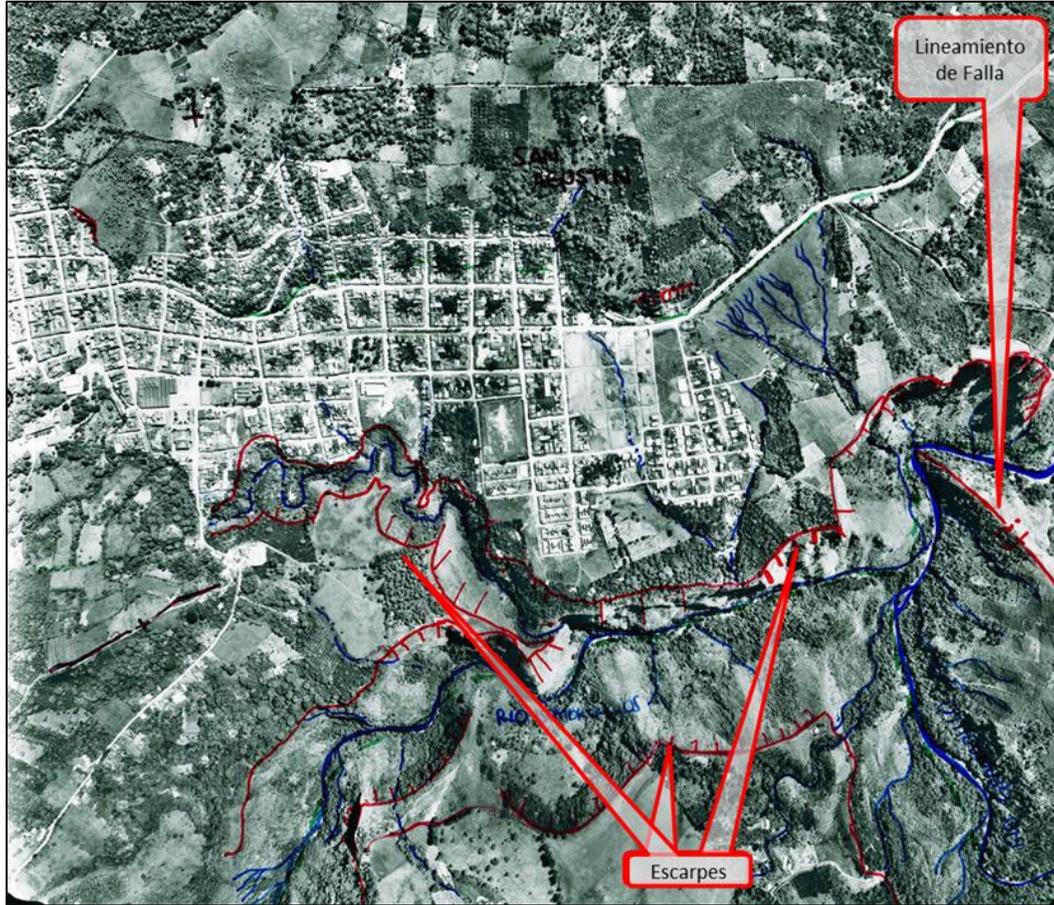


Ilustración 55. Aerofotografía 182, vuelo C-2789.
Fuente: Modificado IGAC.

- **AÑO 2018**

Respecto a la imagen anterior, el cambio más notorio son sectores con explanaciones para la construcción de unidades de vivienda, y que han sido “suspendidas”, pues se observan con procesos de erosión con cierto grado de avance (Ver Ilustración 56).

La cancha de trote del IE Laureano Gómez, se encuentra deformada en su extremo sur, presenta un desplazamiento hacia el suroeste que hace que pierda su forma original.

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

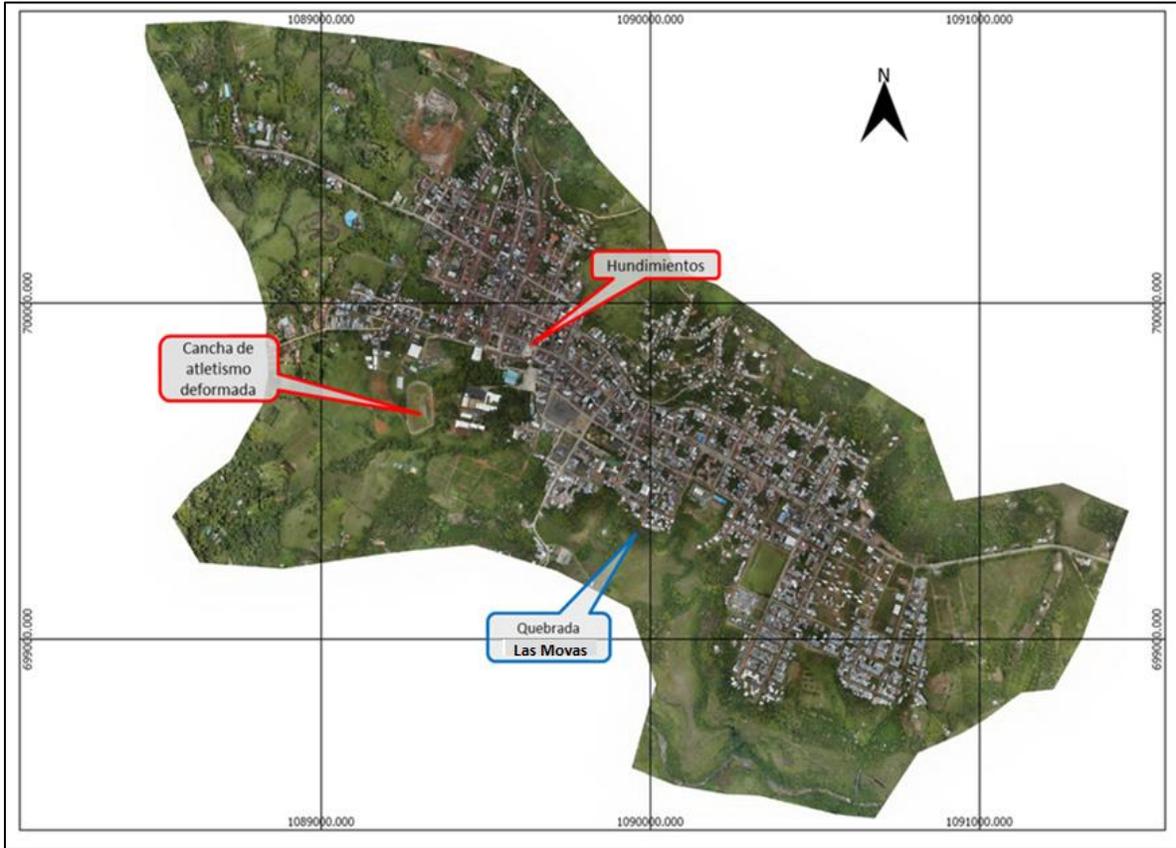


Ilustración 56. Municipio de San Agustín año 2018
Fuente: Geocing SAS.

• Resumen Análisis Multitemporal

Con base en las fotografías en análisis, desde el año 1972 hasta el 2018, se observa que el casco urbano de San Agustín fue fundado sobre la margen izquierda de la quebrada Sombrerillos sobre suelo residual de la Formación Guacacallo.

En la aerofotografía 182 del año 2006 se observa un lineamiento que interrumpe y cambia en un sector el cauce de la quebrada Sombrerillos, por lo que se infiere la presencia de una Falla geológica que pasa por este sector.

A través del tiempo se observa el aumento significativo de la población de San Agustín, con expansión principalmente hacia el sureste y suroeste.

Dentro del casco urbano, en cercanías a la estación de policía, se presentan hundimientos en la vía y en las viviendas a lo largo de la carrera 11 con Calle 3ra, posiblemente por inestabilidad en los rellenos realizados para la canalización de un antiguo drenaje que pasaba a lo largo de este sector.

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

Hacia el noroccidente del casco urbano se desvió el cauce de un afluente de la quebrada Las Moyas, para la construcción de una piscina. Esta modificación en su recorrido puede generar problemas a largo plazo ya que en época de lluvias, este drenaje puede fluir a altas velocidades por su cauce natural, afectando las construcciones realizadas sobre este.

6.5 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.

6.5.1 Hidrogeología regional

Con base en la Ilustración 57, tomada del Mapa de Unidades Hidroestratigráficas de Colombia, del Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales, IDEAM, y la Ilustración 58, extraída del mapa hidrogeológico de Colombia, del SGC (año 1988), la zona de estudio se localiza en un sector de acuíferos con recursos limitados o sin recursos por porosidad primaria, complejos ígneos y metamórficos.

El concepto de unidad hidroestratigráfica, 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 hidroestratigráfica 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 hidroestratigráfica como un cuerpo de roca distinguido y caracterizado por su porosidad y permeabilidad,

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

unificada y delimitada con base en sus características hidrológicas observables relacionadas con sus intersticios. Indican que los dos términos, tanto “unidad hidroestratigráfica”, como “unidad hidrogeológica” son aceptable, pero que se recomienda el uso del primero.

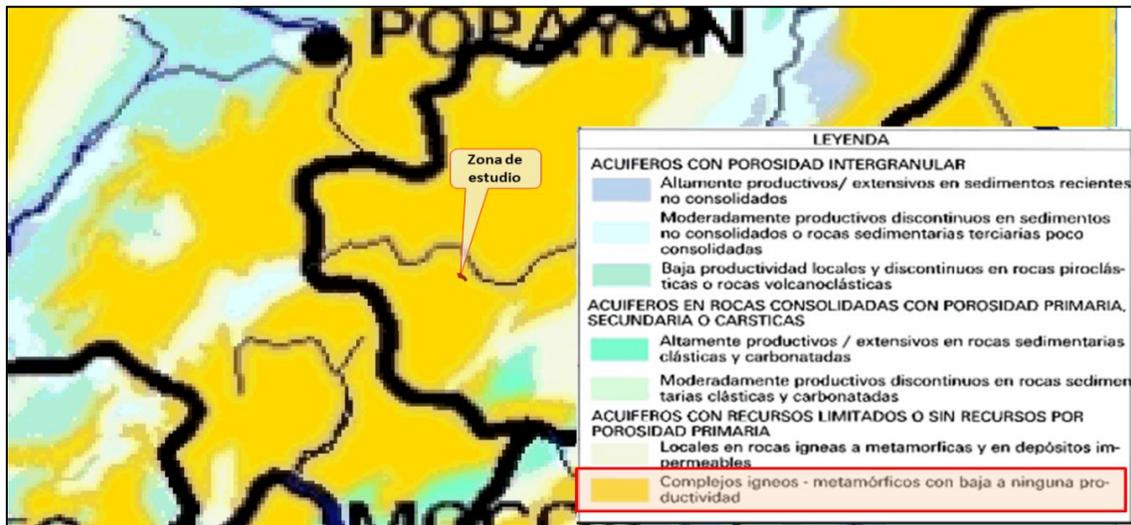


Ilustración 57. Mapa de Unidades Hidroestratigráficas de Colombia, IDEAM. El polígono rojo indica la ubicación de la zona de estudio.
Fuente: SGC (1989)

Con base en el Mapa Hidrogeológico de Colombia (SGC, 1989) (ver Ilustración 58), la zona de estudio se localiza en un sector de rocas con porosidad primaria y secundaria sin interés hidrogeológico con sedimentos y rocas con porosidad primaria de interés hidrogeológico, en regiones compuestas por rocas ígneas y metamórficas.

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



Ilustración 58. Mapa Hidrogeológico de Colombia, (SGC, 1989). El polígono rojo indica la ubicación de la zona de estudio.
Fuente: SGC (1989)

6.1.3 Modelo hidrogeológico conceptual

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 encuentra encerrada en los poros de las formaciones y no puede ser liberada (materiales como

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

arcillas, arcillas plásticas, arcillas limosas, etc). Se asumen como materiales impermeables.

- **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.

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 o carstificados.

- **Tipo III:** Corresponde a rocas granulares o fisuradas que forman acuíferos insignificantes por porosidad secundaria 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 en la zona de estudio

Unidad hidroestratigráfica	Símbolo	Unidad Geológica asociada	Descripción	Comportamiento posible de la unidad hidroestratigráfica
Depósitos aluviales inconsolidados	I1	Stfaa	Correlaciona con depósitos aluviales activos	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 antrópicos, ingenieriles e indiferenciados	II1	Sari - Sarin	Materiales seleccionados y compactados para el desarrollo de construcciones ingenieriles	Representan acuicludos locales.
Roca intermedia, Formación Guacacallo	II2	Ri-N ₂ g	Tobas aglomerática, conformadas por fragmentos de dacitas y riolitas en una matriz de ceniza y lapilli	Acuitardos de extensión considerable.
Suelo residual de la Formación Guacacallo	II3	Sr-N ₂ g	Corresponde a suelos de textura arcillosa que varía localmente a areno – limoso, y	Acuicludo de amplia extensión.

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

Unidad hidroestratigráfica	Símbolo	Unidad Geológica asociada	Descripción	Comportamiento posible de la unidad hidroestratigráfica
			que contiene algunos bloques muy meteorizados, de origen ígneo extrusivo	
Roca dura, Formación Lahar de Altamira	III1	Rd-N ₂ La	Material conglomerático cementado con cantos angulares en matriz vitro - arcillosa	Rocas compactas que no permiten el almacenamiento ni la transmisión de agua. Conforman Acuífugos
Roca Dura, Formación Vulcanitas Básicas	III2	Rd-N ₂ Q ₁ vb	Toba volcánica fracturadas con diversos cristales en una matriz de ceniza	Rocas compactas que no permiten el almacenamiento ni la transmisión de agua. Conforman Acuífugos
Suelo residual de la Formación Vulcanitas Básicas	III3	Sr-N ₂ Q ₁ vb	Corresponde a suelos de textura arcillosa, originados a partir de la degradación de rocas de la Formación Vulcanitas Básicas	No permite el libre flujo de agua a su través. Corresponde a Acuícludo

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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

7 SISMOLOGÍA

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, el municipio de San Agustín se encuentra localizado en una zona de amenaza sísmica Alta, con un coeficiente de Aceleración pico efectiva A_a de 0.25 g.

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	0.149	0.08

Fuente: NSR 10

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 K_{ST}/a_{max} mínimos para el análisis pseudoestático de Taludes, se debe tener en cuenta lo presentado en la Ilustración 59.

Material	K_{ST}/a_{max} Mínimo	Análisis de Amplificación Mínimo
Suelos, enrocados y macizos rocosos muy fracturados (RQD < 50%)	0.80	Ninguno
Macizos rocosos (RQD > 50%)	1.00	Ninguno
Todos los materiales térreos	0.67	Amplificación de onda unidimensional en dos columnas y promediar
Todos los materiales térreos	0.50	Amplificación de onda bidimensional

Ilustración 59. Valores de K_{ST}/a_{max}

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

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 K_{ST}/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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

8 COBERTURA Y USO DE 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 en el municipio de San Agustín, 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. El mapa de cobertura se adjunta en el Anexo 6. Mapas.

8.1 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 60, la cual involucra la implementación de las siguientes cuatro (4) fases de trabajo:

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

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

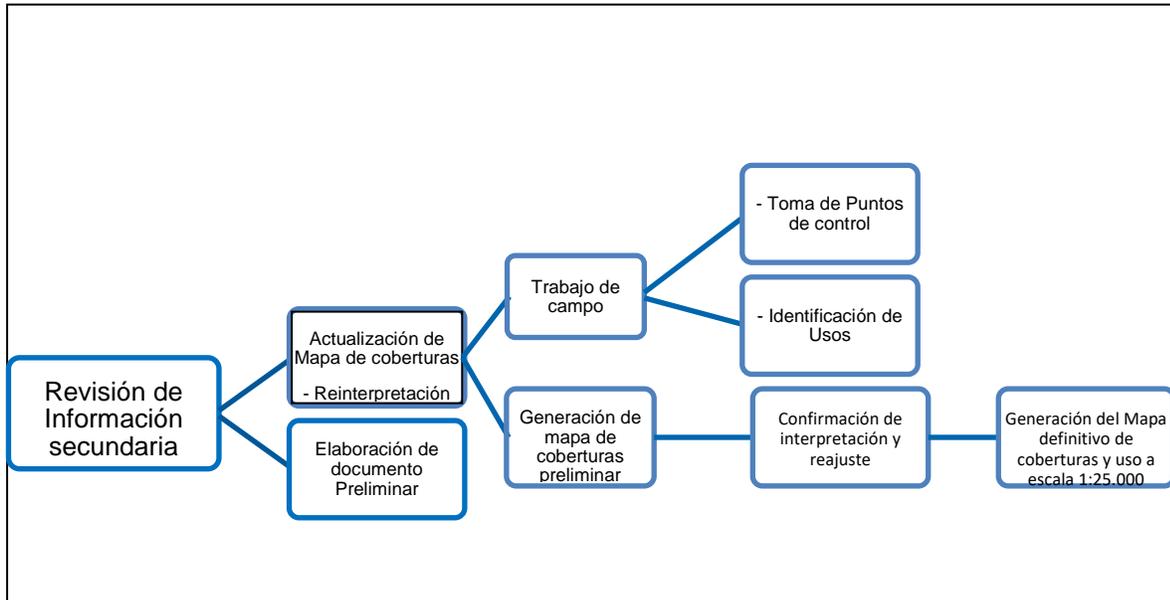


Ilustración 60. Metodología para la actualización del Mapa de Coberturas.
Fuente: Geocing SAS.

8.2 RECOPIACIÓN, REVISIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

8.2.1 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.

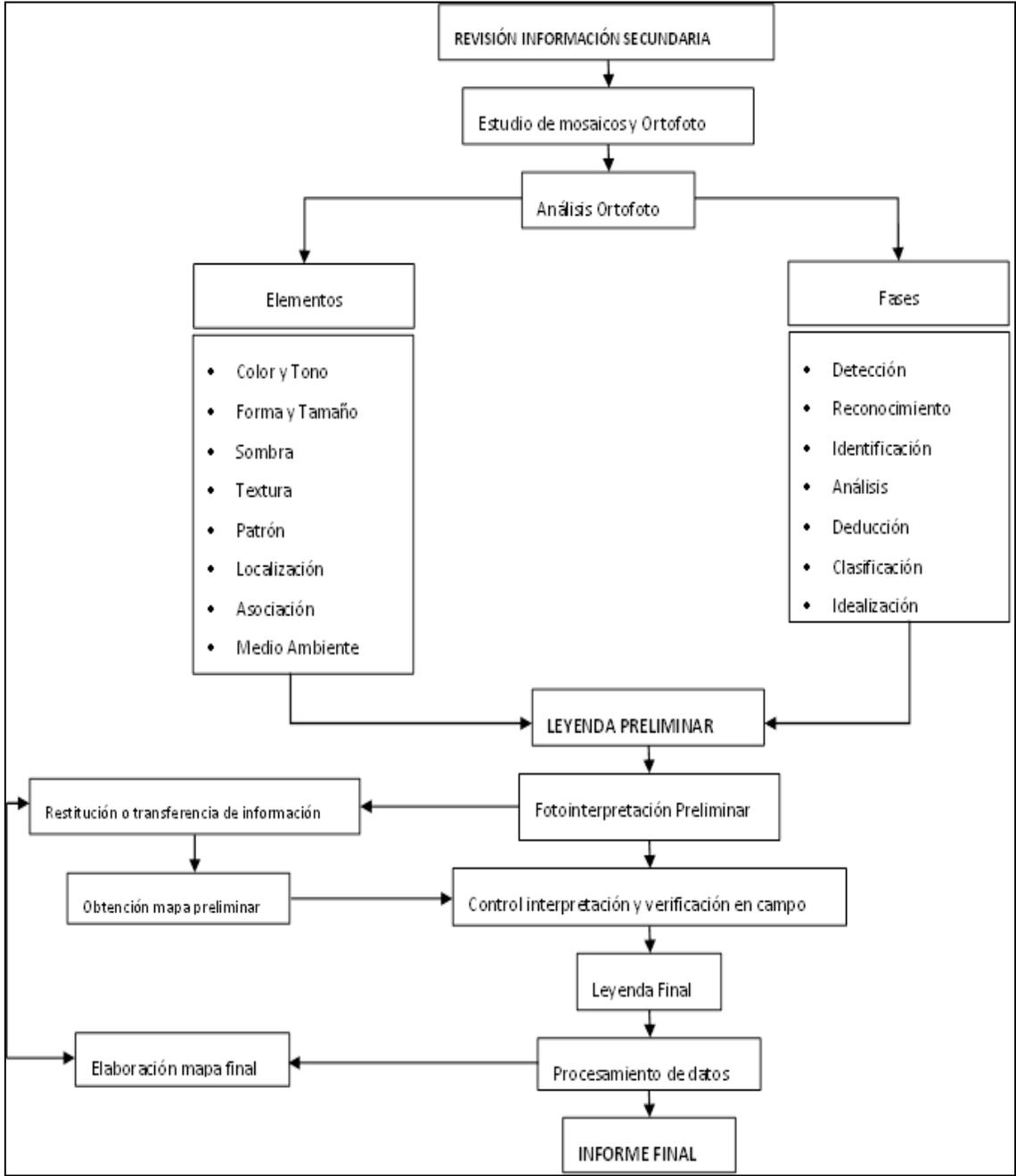


Ilustración 61. Proceso empleado para la delimitación de cobertura vegetal y uso actual de suelo.
Fuente: Geocing SAS.

8.2.2 Estudio general de mosaico y ortofoto

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

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

- Tipo de Archivo: ECW.
- Coordenadas tipo: Magma_Colombia_Oeste
- Tamaño pixel (GDS) de 20cm.

8.2.3 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 municipio de San Agustín.

Sistema de Coordenadas Proyecto	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

8.2.4 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.

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

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.

8.2.5 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.

8.2.6 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.

6.1.4 Fase ejecutoria

Durante esta fase se realizó la fotointerpretación de la ortofoto del municipio de San Agustín.

6.1.5 Fase de campo

Teniendo como base el mapa preliminar de cobertura del municipio de San Agustín 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 para el municipio de San Agustín.

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

8.3 CARACTERIZACIÓN DE COBERTURAS

8.3.1 Análisis de información

Para la generación del mapa de cobertura del municipio de San Agustín 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 diecinueve (19) coberturas; las cuales se encuentra distribuidas en el 3 y 4 nivel de detalle manejado a una escala 1:2.000.

Tabla 15. Leyenda del mapa de cobertura a escala 1:2.000 para el municipio de San Agustín

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 1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	1.2.1.1. Zonas Industriales 1.2.2.1. Red vial y terrenos asociados	
	1.3. Zonas de extracción mineras y escombreras	1.4.1. Zonas verdes urbanas	1.4.1.1. Otras zonas verdes urbanas 1.4.1.2 Parques Cementerio 1.4.1.5. Parques urbanos	
	1.4. Zonas verdes artificializados, no agrícolas	1.4.2. Instalaciones recreativas	1.4.2.2 Áreas deportivas	
	2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS	2.1. Cultivos transitorios	2.1.2. Cereales	2.1.2.2 Maíz
		2.2. Cultivos permanentes	2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos 2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	2.2.1.3. Plátano y banano 2.2.2.2. Café
		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		
		2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos		
		2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales		
	2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales			
	2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales			
3. BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	3.1 Bosques	3.1.4 Bosque de galería y ripario		
	3.2 Áreas con	3.2.1 Herbazal	3.2.1.2. Herbazal abierto	

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

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
	vegetación herbácea y/o arbustiva	3.2.2 Arbustal	3.2.2.2. Arbustal abierto
		3.2.3 Vegetación secundaria o en transición	
	3.3 Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	3.3.3 Tierras desnudas y degradadas	
		3.3.4 Zonas quemadas	
4. ÁREAS HÚMEDAS	4.1 Áreas húmedas continentales	4.1.1 Zonas pantanosas.	
5 SUPERFICIES DE AGUA	5.1 Aguas continentales	5.1.1. Ríos	
		5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales	
		5.1.3. Canales	
		5.1.4 Cuerpos de aguas artificiales	5.1.4.3. Estanques para acuicultura continental

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 del municipio de San Agustín del departamento del Huila siguiendo la metodología de Caracterización de la cobertura vegetal descrita en el numeral Tabla 16. La actualización de la cobertura dio como resultado 5 coberturas generales, un tipo de cobertura con nivel (2), 19 tipos de cobertura con nivel (3) y 12 tipos de coberturas con nivel (4) de detalle; esto para un total de 32 coberturas del suelo en el municipio de San Agustín Anexo 6. Mapas.

Tabla 16. Leyenda de Actualización del mapa de cobertura a escala 1:2.000 del área del municipio de San Agustín del departamento del Huila.

Cobertura	Código	Cobertura	Símbolo
1. Territorios Artificializados	1.1.1.	Tejido urbano continuo	Tuc
	1.1.2.	Tejido urbano discontinuo	Tud
	1.2.1.1.	Zonas industriales	Zi
	1.2.2.1.	Red vial y terrenos asociados	Rv
	1.3.2.1.	Otros sitios de disposición de residuos a cielo abierto	Oem
	1.3.2.2.	Escombreras	Es
	1.4.1.1.	Otras zonas verdes urbanas	Oz
	1.4.1.2.	Parque cementerio	Pc
	1.4.1.5.	Parques urbanos	Pur
	1.4.2.	Instalaciones recreativas	Irc
	1.4.2.2.	Áreas deportivas	Ad
	2. Territorios	2.1.2.2.	Maíz

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

Cobertura	Código	Cobertura	Símbolo
Agrícolas	2.2.1.3.	Plátano y banano	Plat
	2.2.2.2	Café	Caf
	2.3.1.	Pastos limpios	PI
	2.3.2.	Pastos arbolados	Pa
	2.3.3.	Pastos enmalezados	Pe
	2.4.1.	Mosaico de cultivos	Msc
	2.4.2	Mosaico de pastos y cultivos	Mpc
	2.4.3.	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Mcpe
	2.4.5.	Mosaico de cultivos y espacios naturales	Mcen
3. Bosques y Áreas Semi naturales	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.	Vegetación secundaria o en transición	Vst
	3.3.3.	Tierras desnudas y degradadas	Tdd
	3.3.4.	Zonas quemadas	Zqm
4. Áreas Húmedas	4.1.1.	Zonas pantanosas	Zpn
5. Superficies de Agua	5.1.1.	Ríos	R
	5.1.2	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	LI
	5.1.3.	Canales	C
	5.1.4.3.	Estanques para acuicultura continental	Eac

Fuente: Geocing SAS.

8.4 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 62 .

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



Ilustración 62. Tejido urbano continuo municipio de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

• 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 63.



Ilustración 63. Tejido urbano discontinuo municipio de San Agustín.
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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</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, Parqueaderos, ases militares, escuelas, entre otros (IDEAM, 2010). (Ver Ilustración 64).



Ilustración 64. Zonas Industriales municipio de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

• 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 65 se presenta un ejemplo de este tipo de cobertura para el municipio de San Agustín.

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



Ilustración 65. Red vial y terrenos asociados municipio de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

• Otros sitios de disposición de residuos a cielo abierto. (1.3.2.1)

Son espacios que se han dispuesto para el almacenamiento de tubería de concreto para la construcción de alcantarillas (IDEAM, 2010). En la Ilustración 66 se presenta un ejemplo de este tipo de cobertura.



Ilustración 66. Otros sitios de disposición de residuos a cielo abierto municipio de San Agustín.
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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

- **Escombreras (1.3.2.2.)**

Son espacios en los que se depositan restos de construcción, residuos urbanos, desechos industriales y material estéril de minas (IDEAM, 2010). Ver Ilustración 67.



Ilustración 67. Escombreras municipio de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

- **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.

- **Otras zonas verdes urbanas (1.4.1.1)**

Es un área que se tiene designada para las corralejas que se celebran en el pueblo. En la Ilustración 68 se presenta un ejemplo de este tipo de cobertura para el municipio de San Agustín.

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



Ilustración 68. Otras zonas verdes urbanas municipio de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

• Parques cementerios (1.4.1.2)

Estos son zonas en las cuales se dispone para la realizar los sepelios ya sea en una bóveda o mausoleos donde se disponen los restos humanos. En la Ilustración 69 se presenta un ejemplo de este tipo de cobertura.



Ilustración 69. Parques cementerios municipio de San Agustín.
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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

- **Parques urbanos (1.4.1.5)**

Estos son espacios públicos, de acceso libre para los habitantes y visitantes del municipio, estos cuentan con sus propios senderos y zonas verdes. Ver Ilustración 70.



Ilustración 70. Parques cementerios municipio de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

- **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 tejido urbano (IDEAM, 2010). Ver Ilustración 71

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



Ilustración 71. Instalaciones recreativas municipio de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

• **Áreas deportivas (1.4.2.2)**

Estas áreas son ocupadas por canchas de futbol, micro-futbol, baloncesto, voleibol, etc. (Ver Ilustración 72).



Ilustración 72. Áreas deportivas municipio de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

• **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

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

permanentes, transitorios, áreas de pastos y las zonas agrícolas heterogéneas (IDEAM, 2010).

- **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 (IDEAM, 2010). En la Ilustración 73 se presenta un ejemplo de este tipo de cobertura para el municipio de San Agustín.



Ilustración 73. Maíz municipio de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

- **Plátano y banano (2.2.1.3)**

Cobertura predominantemente compuesta por cultivo de banano (*Musa sapientum* L.) y/o plátano (*Musa paradisiaca* L.), 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 (IDEAM, 2010). Ver Ilustración 74.

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



Ilustración 74. Plátano y banano municipio de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

• Café (2.2.2.2)

Cobertura predominantemente compuesta por áreas dedicadas al cultivo de café (*Coffea* sp.) bajo sombrío (temporal o permanente, generado por una cobertura arbórea) o a libre exposición. Los cafetos son arbustos de las regiones tropicales del género *Coffea* de la familia Rubiaceae. Las variedades sembradas a libre exposición son Caturra y Colombia; bajo cobertura arbórea (con sombrío) se cultivan las variedades Arábica, Borbón y Típica. El cultivo a libre exposición se caracteriza por arbustos que tienen altura promedio entre 1 y 1,50 m, en tanto que los que se desarrollan bajo sombrío pueden llegar a tener alturas entre 2 y 6 m. Las condiciones ideales para el cultivo del café se encuentran en alturas comprendidas entre los 1.200 y 1.800 msnm, en su gran mayoría, sobre las laderas de montañas, lomas y colinas. (IDEAM, 2010). Ver Ilustración 75.

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



Ilustración 75 . Café municipio de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

• Pastos (2.3)

Comprende las tierras cubiertas con hierbas densa de composición florística dominada principalmente por la familia Poaceae, dedicadas al pastoreo permanente por un periodo de dos o más años (IDEAM, 2010). Dentro de esta cobertura se encuentra además la siguiente unidad para territorios artificializados:

• Pastos limpios (2.3.1)

Esta cobertura comprende las tierras ocupadas por pastos limpios con un porcentaje de cubrimiento mayor a 70%; y el nivel tecnológico como se ve en la 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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>



Ilustración 76. Pastos limpios municipio de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

- **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. Ver la Ilustración 77.



Ilustración 77. Pastos arbolados municipio de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

- **Pastos enmalezados (2.3.3)**

Son las coberturas representadas por tierras con pastos y malezas conformando asociaciones de vegetación secundaria, debido a la realización de escasas prácticas de manejo (IDEAM, 2010). Ver Ilustración 78.

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



Ilustración 78. Pastos enmalezados municipio de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

- **Mosaico de cultivos (2.4.1)**

Incluye las tierras ocupadas con cultivos anuales, transitorios o permanentes, en los cuales el tamaño de las parcelas es muy pequeño (inferior a 25 ha) y el patrón de distribución de los lotes es demasiado intrincado Ver Ilustración 79.



Ilustración 79. Mosaico de cultivos Municipio de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

- **Mosaico de pastos y cultivos (2.4.2)**

Comprende las tierras ocupadas por pastos y cultivos, en los cuales el tamaño de las parcelas es muy pequeño (inferior a 25 ha) y el patrón de distribución de los lotes es

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

demasiado intrincado (IDEAM, 2010). En la Ilustración 80 se puede observar un ejemplo de esta cobertura.



Ilustración 80. Mosaico de pastos y cultivos municipio de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

- **Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (2.4.3)**

Comprende las superficies del territorio ocupadas principalmente por coberturas de cultivos y pastos en combinación con espacios naturales. En esta unidad, el patrón de distribución de las coberturas no puede ser representado individualmente, como parcelas con tamaño mayor a 25 hectáreas. Las áreas de cultivos y pastos ocupan entre 30% y 70% de la superficie total de la unidad. Los espacios naturales están conformados por las áreas ocupadas por relictos de bosque natural, arbustales, bosque de galería o riparios, vegetación secundaria o en transición, pantanos y otras áreas no intervenidas o poco transformadas, que debido a limitaciones de uso por sus características biofísicas permanecen en estado natural o casi natural (IDEAM, 2010). Ver Ilustración 81.

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



Ilustración 81. Mosaico de cultivo, pastos y espacios naturales municipio de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

- **Mosaico de cultivos con espacios naturales. (2.4.5)**

Corresponde a las superficies ocupadas principalmente por cultivos en combinación con espacios naturales, donde 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. Las áreas de cultivos representan entre 30% y 70% de la superficie total de la unidad. Los parches y residuos de espacios naturales están conformados por aquellas áreas cubiertas por relictos de bosque, arbustales, bosque de galería y/o ripario, vegetación secundaria o en transición, zonas pantanosas u otras áreas no intervenidas o poco transformadas que permanecen en estado natural o casi natural (IDEAM, 2010). Ver Ilustración 82.

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



Ilustración 82. Mosaico de cultivo con espacios naturales municipio de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

• 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 contemplados en la Leyenda CORINE Land Cover 2010 (IDEAM, 2010). Dentro de esta cobertura se encuentra además la siguiente unidad para estos tipos de territorios:

• Bosque de galería y ripario. (3.1.4)

Se refiere a las coberturas constituidas por vegetación arbórea ubicada en las márgenes de cursos de agua permanentes o temporales. Este tipo de cobertura está 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 (IDEAM, 2010). Ver Ilustración 83.

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



Ilustración 83. Bosque de galería y ripario municipio de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

- **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). En la Ilustración 84 se puede observar un ejemplo de esta cobertura.



Ilustración 84. Herbazal abierto municipio de San Agustín.
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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

• Arbustal abierto. (3.2.2.2)

Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos arbustivos regularmente distribuidos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) discontinuo y cuya cubierta representa entre 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 (IDEAM, 2010). Ver Ilustración 85 .



Ilustración 85. Arbustal abierto municipio de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

• Vegetación secundaria o en transición (3.2.3)

Comprende aquella cobertura vegetal originada por el proceso de sucesión de la vegetación natural que se presenta luego de la intervención o por la destrucción de la vegetación primaria, que puede encontrarse en recuperación tendiendo al estado original. Se desarrolla en zonas desmontadas para diferentes usos, en áreas agrícolas abandonadas y en zonas donde por la ocurrencia de eventos naturales la vegetación natural fue destruida. No se presentan elementos intencionalmente introducidos por el hombre (IDEAM, 2010). En la Ilustración 86 se puede observar un ejemplo de esta cobertura dentro del municipio de San Agustín.

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



Ilustración 86. Vegetación secundaria o en transición municipio de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

- **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 donde se presentan tierras salinizadas, en proceso de desertificación o con intensos procesos de erosión que pueden llegar hasta la formación de cárcavas (IDEAM, 2010). Ver Ilustración 87.



Ilustración 87. Tierras desnudas y degradadas municipio de San Agustín.
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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

- **Zonas quemadas. (3.3.4)**

Comprende las zonas afectadas por incendios recientes, donde los materiales carbonizados todavía están presentes. Estas zonas hacen referencia a bosques, cultivos, sabanas y arbustales (IDEAM, 2010). Ver Ilustración 88.



Ilustración 88. Zonas quemadas municipio de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

- **Zonas pantanosas. (4.1.1)**

Esta cobertura comprende las tierras bajas, que generalmente permanecen inundadas durante la mayor parte del año, donde la capa freática aflora de manera permanente o estacional. (IDEAM, 2010). En la Ilustración 89 se puede observar un ejemplo de esta cobertura dentro del municipio de San Agustín.

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



Ilustración 89. Zonas pantanosas municipio de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

• Superficies de agua

Son los cuerpos y cauces de aguas permanentes, intermitentes y estacionales, localizados en el interior del continente. Dentro de esta cobertura se encuentra además la siguiente unidad para territorios artificializados:

• Aguas continentales (5.1)

Son cuerpos de agua permanente, intermitente y estacional que comprende lagos, lagunas, ciénagas, depósitos y estanques naturales o artificiales de agua dulce (no salina), embalses y cuerpos de agua en movimiento, como los ríos y canales.

• 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 (IDEAM, 2010). En la Ilustración 90 se puede observar un ejemplo de esta cobertura dentro del municipio de San Agustín.

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



Ilustración 90. Ríos municipio de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

- **Lagunas, lagos y ciénagas naturales. (5.1.2)**

Superficie o depósitos de agua naturales de carácter abierto o cerrado, dulce o salobre, que puedan estar conectados o no con un río con el mar (IDEAM, 2010). En la Ilustración 91 se presenta un ejemplo de esta cobertura para el municipio de San Agustín.

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



Ilustración 91. Lagunas, lagos y ciénagas naturales municipio de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

- **Canales. (5.13)**

Cauce artificial abierto que contiene agua en movimiento de forma permanente, también se incluye ríos naturales cuyo cauce ha sido canalizado (IDEAM, 2010). Ver Ilustración 92.



Ilustración 92. Canales del municipio de San Agustín.
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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

• Estanques para acuicultura continental (5.1.4.3)

Estas son áreas usadas para la crianza de alevinos para múltiples usos. En la Ilustración 93 se identifica.



Ilustración 93. Estanques para acuicultura continental del municipio de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

8.5 ANÁLISIS DE COBERTURAS

En la Tabla 17, se puede observar que la cobertura de pastos limpios es la que posee la mayor extensión del área de estudio con el 15,15% correspondiente a 53,35 hectáreas, seguido de tejido urbano continuo con un área de 51,96 hectáreas lo que ocupa el 15,1% de la cabecera municipal de San Agustín, en tercer lugar se encuentra el café con el 13,5%. Para mayor detalle en el Anexo 6. Mapas se presenta el mapa final de cobertura para el municipio de San Agustín.

Tabla 17 . Porcentajes de las áreas correspondientes a las coberturas identificadas en el municipio de San Agustín

Código	Cobertura	Area_Ha	Símbolo	Porcentaje
1.1.1.	Tejido urbano continuo	51,96	Tuc	15,1
1.1.2.	Tejido urbano discontinuo	9,19	Tud	2,7
1.2.1.1.	Zonas industriales	1,79	Zi	0,5
1.2.2.1.	Red vial y terrenos asociados	17,61	Rv	5,1
1.3.2.1.	Otros sitios de disposición de residuos a cielo a	0,01	Oem	0,0
1.3.2.2.	Escombreras	0,12	Es	0,0

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

Código	Cobertura	Area_Ha	Símbolo	Porcentaje
1.4.1.1.	Otras zonas verdes urbanas	0,10	Oz	0,0
1.4.1.2.	Parque cementerio	1,18	Pc	0,3
1.4.1.5.	Parques urbanos	1,44	Pur	0,4
1.4.2.	Instalaciones recreativas	0,35	Irc	0,1
1.4.2.2.	Areas deportivas	5,20	Ad	1,5
2.1.2.2.	Maíz	0,12	Miz	0,0
2.2.1.3.	Plátano y banano	0,64	Plat	0,2
2.2.2.2	Café	46,44	Caf	13,5
2.3.1.	Pastos limpios	53,35	PI	15,5
2.3.2.	Pastos arbolados	47,45	Pa	13,8
2.3.3.	Pastos enmalezados	34,51	Pe	10,0
2.4.1.	Mosaico de cultivos	6,34	Msc	1,8
2.4.2	Mosaico de pastos y cultivos	0,07	Mpc	0,0
2.4.3.	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	1,11	Mcpe	0,3
2.4.5.	Mosaico de cultivos y espacios naturales	7,92	Mcen	2,3
3.1.4.	Bosque de galería y ripario	14,01	Bgr	4,1
3.2.1.2.	Herbazal abierto	7,90	Hza	2,3
3.2.2.2.	Arbustal abierto	24,69	Ara	7,2
3.2.3.	Vegetación secundaria o en transición	3,65	Vst	1,1
3.3.3.	Tierras desnudas y degradadas	6,28	Tdd	1,8
3.3.4.	Zonas quemadas	0,155	Zqm	0,0
4.1.1.	Zonas pantanozas	0,03	Zpn	0,0
5.1.1.	Ríos	1,16	R	0,3
5.1.2	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	0,02	LI	0,0
5.1.3.	Canales	0,03	C	0,0
5.1.4.3.	Estanques para acuicultura continental	0,1139	Eac	0,0

Fuente: Geocing SAS.

De acuerdo a los resultados obtenidos es posible analizar que el municipio de San Agustín posee 4 coberturas generales, de las cuales los terrenos agrícolas ocupan la mayor área de la cabecera municipal con el 57,4%, en segundo lugar se encuentra la cobertura de territorios artificializados con un (25,8%), los bosques y áreas seminaturales corresponde el 16,4%, las superficies de agua on un 0,4% y finalmente con un 0,01% se identificó la cobertura correspondiente a áreas húmedas (Ver Ilustración 94).

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

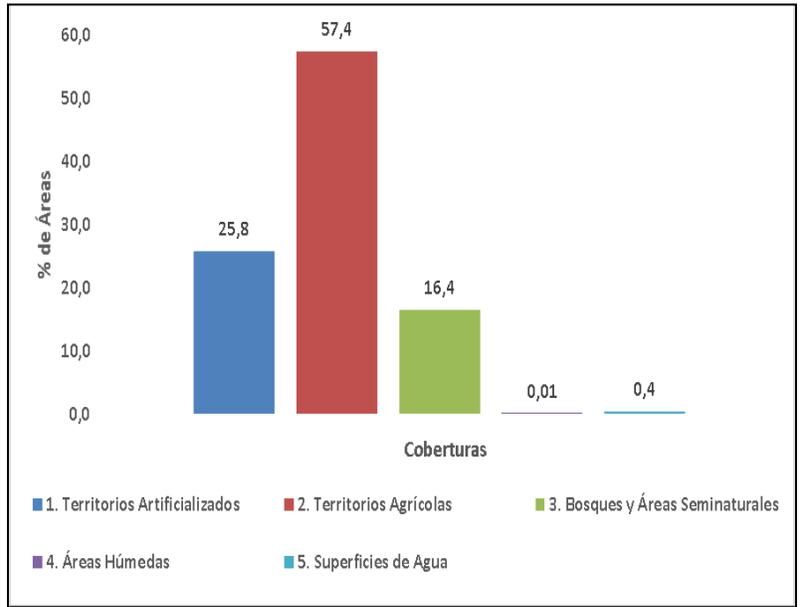


Ilustración 94. Porcentaje de ocupación por cobertura usando el Nivel 1 de la Metodología CORINE LAND para el municipio de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

A continuación se presenta el mapa de cobertura del suelo para el casco urbano del municipio de San Agustín (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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

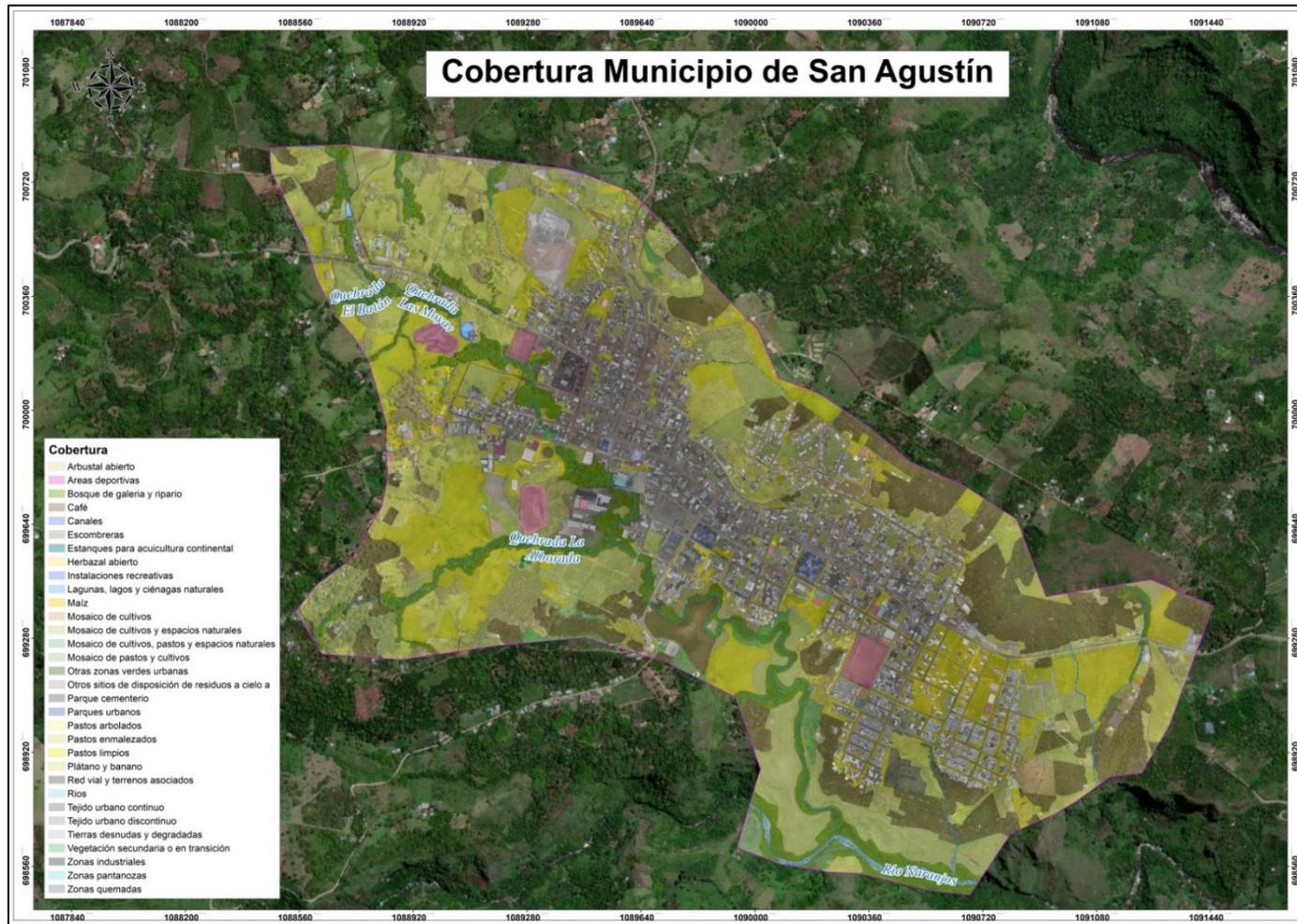


Ilustración 95. Mapa de cobertura del suelo casco urbano municipio de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

Dirección de correo: Calle 120 No. 49-44
Teléfono (1) 7046969 / (1) 7458541
Bogotá D.C.

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

9 HIDROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA

En la Tabla 18 se presenta la información cartográfica obtenida de los archivos del IGAC, de donde fue obtenida la correspondiente información para la delimitación de las cuencas para los drenajes y puntos de cítricos ubicados en la zona de estudio. Se resalta que para la información recopilada se buscó que esta cubriera las cuencas de los drenajes en los cuales se identificaron los diferentes puntos críticos en el área de estudio.

Tabla 18. Información cartográfica en el municipio de San Agustín.

PLANCHA	ESCALA
388ID_AC_2015_V1	1:25000
388IIIB_AC_2015_V1	1:25000
PL_388_2008	1:100000

Fuente: Geocing SAS

Para cada cuenca delimitada se estimaron 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.

En la Ilustración 97 se representan las cuencas delimitadas en cada uno de los puntos críticos establecidos, para las cuales fueron calculadas las variables de área, longitud del cauce principal y pendiente media tal como se presenta en la Tabla 19.

Tabla 19. Parámetros morfométricos obtenidos de las cuencas generadas del casco urbano del municipio de San Agustín.

N°	Corriente	Área (km ²)	L (m)	S (m/m)
1	Q_Moyas	2.92	4410.71	0.0549
2	Q_Moyas_Completa	7.92	7838.13	0.0559
3	Q_NN_1	1.14	2718.36	0.0537
4	Q_NN_2	0.62	1468.75	0.0534
5	Q_NN_3	0.16	657.53	0.051
6	Q_El_Batán	1.66	2365.87	0.0414
7	Q_La_Alborada	0.46	1124.99	0.0849

Fuente: Geocing SAS.

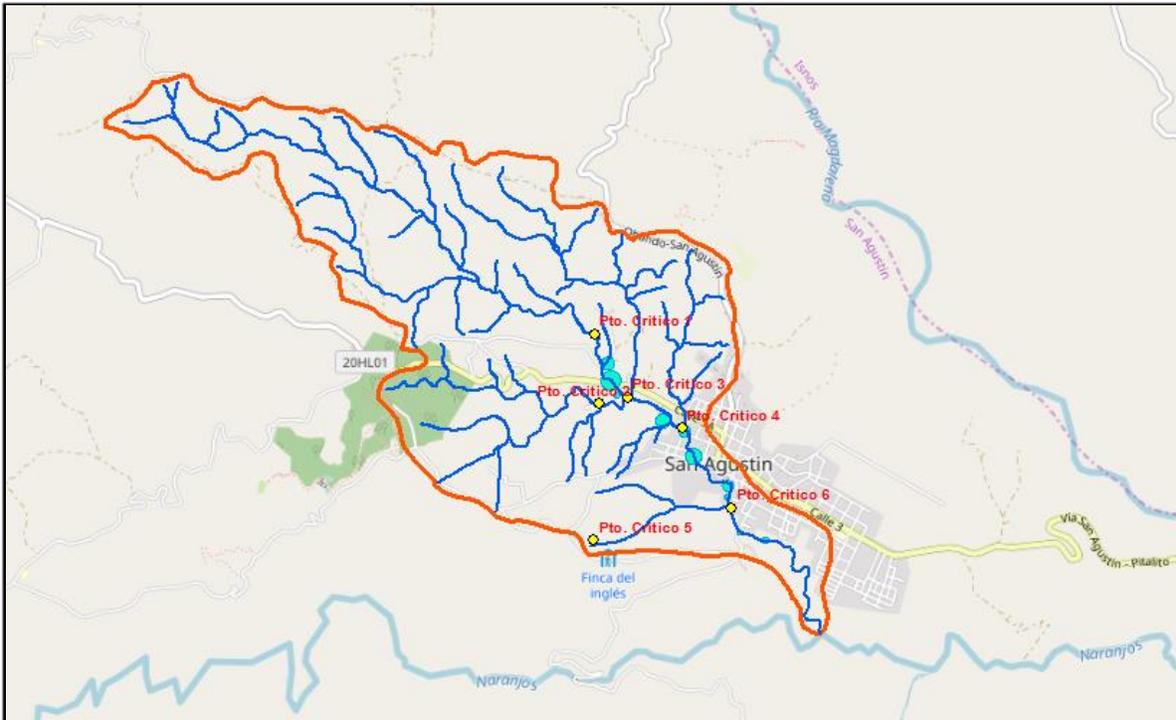


Ilustración 96. Puntos críticos o de interés en el casco urbano del municipio de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

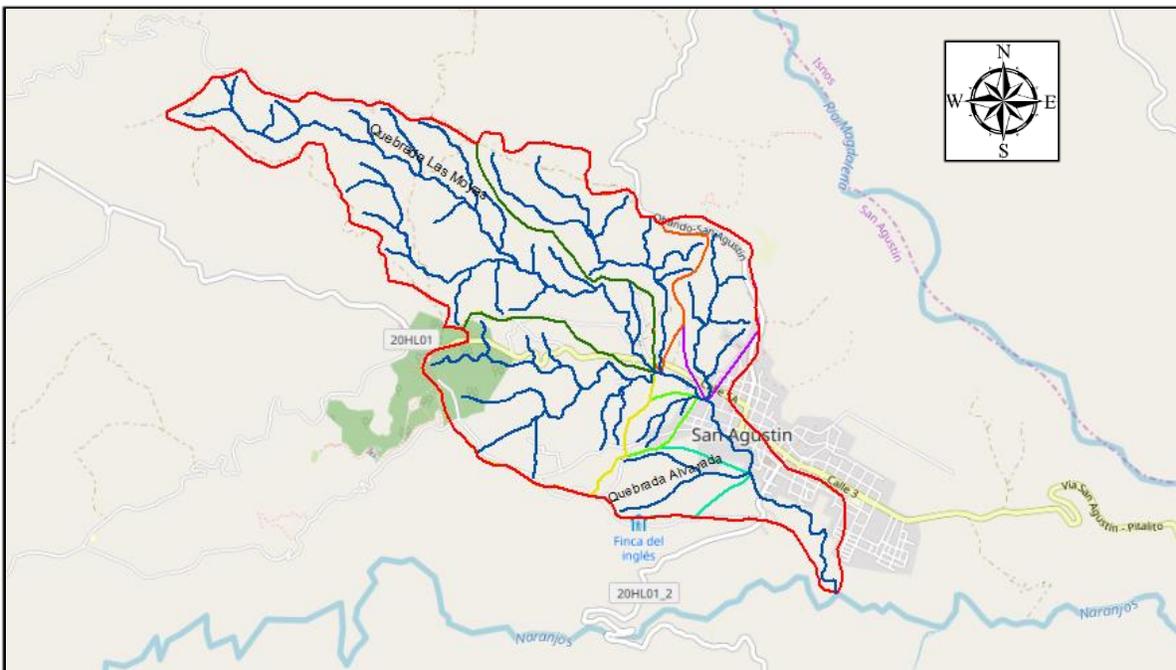


Ilustración 97. Cuencas generadas en el casco urbano del municipio de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

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

9.1 CLIMATOLOGÍA

El presente capítulo hace referencia al estudio climatológico para el estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, inundación en el área urbana del municipio de San Agustín de acuerdo a la normativa vigente en la república de Colombia.

El análisis climatológico en una cuenca hidrográfica o a lo largo de una región en particular, permite realizar un primer acercamiento respecto a las características generales de la cuenca o la zona, ya que las condiciones climatológicas 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 la escala temporal en la cual fueron medidos (horaria, diaria, mensual, etc.); estableciendo series de registro de datos que permiten estimar los valores medios y los valores extremos presentados en para cada variable. La precipitación, la evaporación, la temperatura media, máxima y mínima, 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.

Para el análisis climatológico del municipio de San Agustín se evaluaron las variables de precipitación total anual multianual (mm); temperatura media anual multianual (°C); evaporación total anual multianual (mm), humedad relativa media anual multianual (%); brillo solar medio anual multianual (horas); punto de rocío media anual multianual (°C); con el fin de establecer la variación climatológica en el área de estudio.

Para establecer la distribución espacial de estas variables climatológicas se interpolaron los valores medidos anuales multianuales en las estaciones generando un mapa con la distribución espacial para cada variable, según la información disponible para cada estación, cabe resaltar que dentro del casco urbano del municipio de San Agustín se ubica una única estación por lo cual fue necesario tomar información de estaciones aledañas. La información correspondiente a la estación ubicada dentro del casco urbano del municipio se relaciona en la Tabla 20.

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

Tabla 20. 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)
San Agustín	1650	2.5 km	Parque Arqueológico	1800	San Agustín	1°53'18.5"	76°17'41.9"

Fuente: Geocing SAS.

9.1.1 Precipitación

La precipitación media anual multianual en el municipio de San Agustín es de 1438 mm, tal como se muestra en la Ilustración 98, donde se presenta la distribución espacial de la precipitación en el sur del departamento del Huila, identificando que el municipio se ubica en una zona donde hay una reducción en los valores respecto a la presentada en el municipio de Guadalupe. En la Tabla 21 se presenta la precipitación media mensual multianual en la estación Parque Arqueológico, identificando que se presenta un comportamiento bimodal con picos de precipitación en los meses de abril, mayo, junio y noviembre.

Tabla 21. Valores de Precipitación Mensual.

Precipitación media mensual (mm)													
Municipio	Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
San Agustín	Parque Arqueológico	79.5	99.2	128.7	138.9	144.1	153.6	137.8	106.4	90.3	113.4	136.8	109.4

Fuente: Geocing SAS.

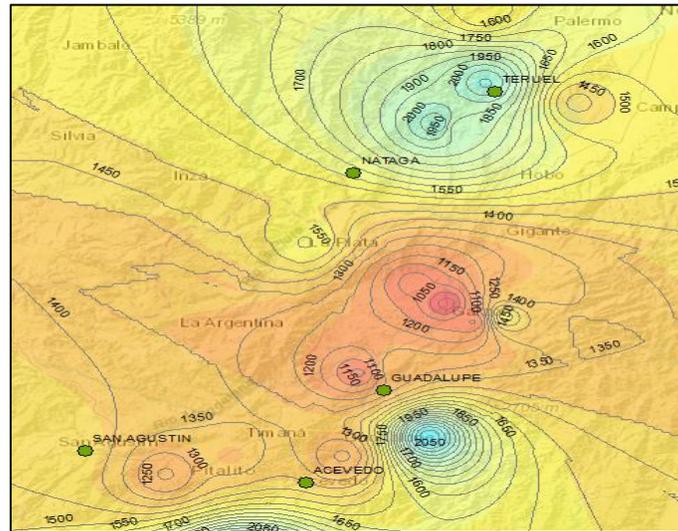


Ilustración 98. Distribución espacial de la Precipitación Anual Total (isoyetas de precipitación).
Fuente: Geocing SAS.

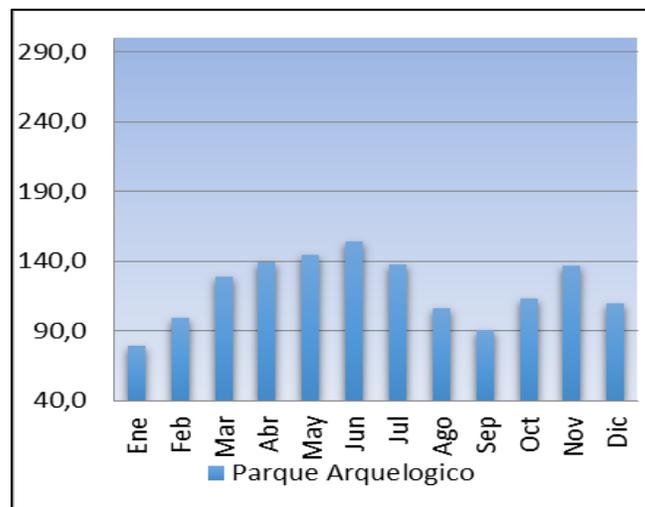


Ilustración 99. Distribución media mensual de precipitación (mm).
Fuente: Geocing SAS.

Como se observa en la Ilustración 99 el municipio de San Agustín se encuentra al sur del departamento del Huila, donde se ubica una única estación dentro del casco urbano del municipio llamada Parque Arqueológico, en la cual según las mediciones se logra identificar que se presenta un comportamiento bimodal de la precipitación, el cual consiste en un dos picos de precipitación al año, uno a durante el primer semestre del año y otro en el segundo; de estos picos las mayores precipitaciones se presentan en el mes de junio y noviembre. En este municipio la diferencia entre los picos de mayor y menor precipitación no son tan significativos como lo son en los municipios ubicados hacia el norte de la zona de estudio.

9.1.2 Temperatura

Según las mediciones de la estación Parque Arqueológico la temperatura media mensual multianual para el municipio de San Agustín varía entre los 17 y 18.8° C con una temperatura media anual multianual de 18.1, tal como se presenta en la Tabla 22 y gráficamente en la Ilustración 100, identificando que para los meses de julio y agosto se presenta una reducción en la temperatura y picos de temperatura en enero, febrero y marzo, esto debido al comportamiento monomodal de la zona.

Tabla 22. Valores Medios de Temperatura Mensual.

Temperatura (°C)													
Municipio	Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
San Agustín	Parque Arqueológico	18.6	18.8	18.6	18.5	18.3	17.5	17.0	17.1	17.9	18.3	18.4	18.4

Fuente: Geocing SAS.

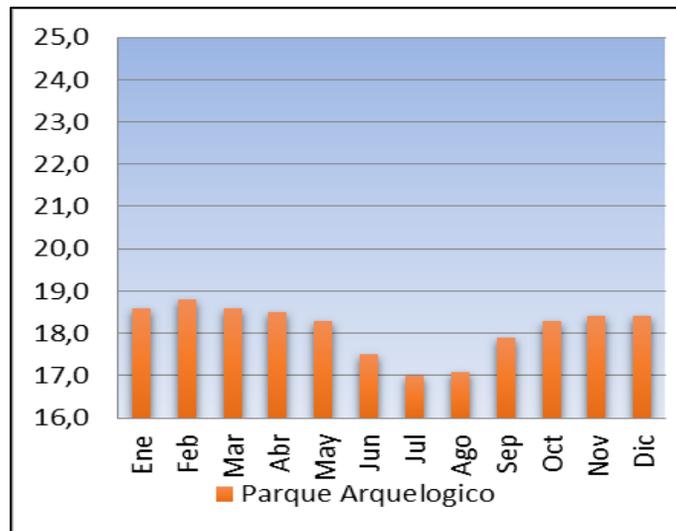


Ilustración 100. Distribución Temperatura media mensual.

Fuente: Geocing SAS.

9.1.3 Evaporación

La Evaporación media anual multianual en el municipio de San Agustín corresponde a 1025 mm tal como se presenta en la Ilustración 101, en la cual se logra identificar la variación de la evaporación en el sur del departamento del Huila, identificando que San Agustín presenta valores bajos respecto a los obtenidos para Teruel, esto debido a la variación altitudinal de las dos zonas y la relación indirectamente proporcional entre altura y evaporación.

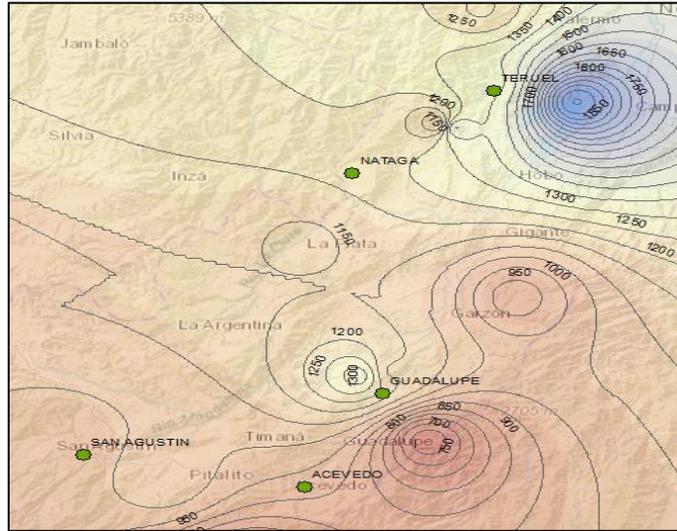


Ilustración 101. Distribución espacial de la Evaporación Anual Total en mm.
Fuente: Geocing SAS.

En la Tabla 23 se presentan los valores de evaporación media mensual multianual medidos en la estación Parque Arqueológico y de manera gráfica en la Ilustración 102, donde se logra identificar que se presenta un comportamiento monomodal con valores extremos en los meses de enero y junio, siendo el primero el valor máximo de evaporación y el segundo el menor.

Tabla 23. Valores Totales de Evaporación Mensual.

		Evaporación (mms)											
Municipio	Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
San Agustín	Parque Arqueológico	99.1	89.9	91.3	81.8	78.3	68.8	70.4	79.6	89.7	96.1	87.5	92.4

Fuente: Geocing SAS.

La evaporación varía dependiendo de diversos factores entre los cuales se encuentra la temperatura ya que ante un aumento de esta se vuelve factible un cambio de estado del agua pasando de líquido a gaseoso, esto se ve relacionado al presentar ambas variables un comportamiento monomodal con extremos iniciando el primer y segundo semestre del año.

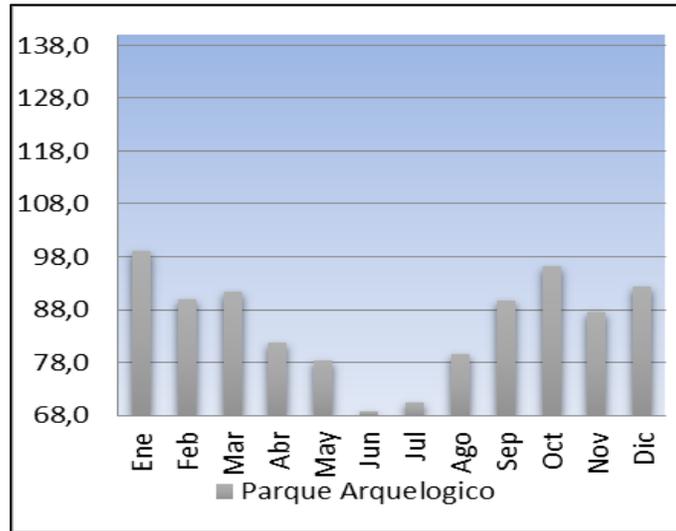


Ilustración 102. Distribución evaporación media mensual.
Fuente: Geocing SAS.

9.1.4 Humedad Relativa

Es la relación entre la 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 San Agustín corresponde al 80.0% tal como se presenta en la Ilustración 103 donde se representa la variación espacial de la humedad relativa media anual.

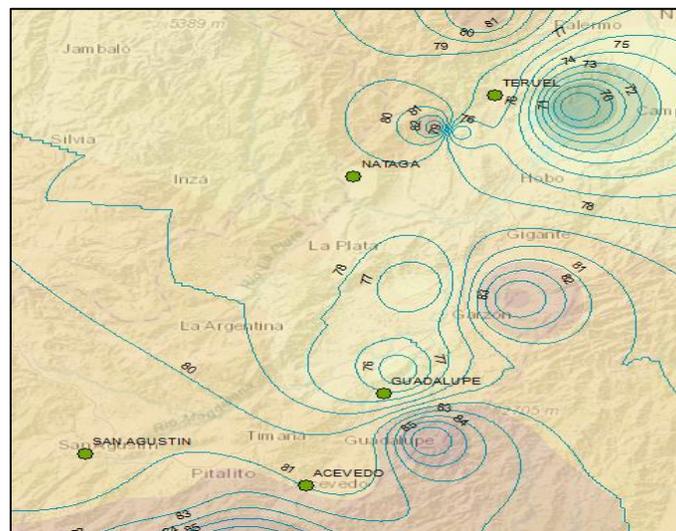


Ilustración 103. Distribución espacial de la Humedad Relativa (%) Anual.
Fuente: Geocing SAS.

En la Tabla 24 se presentan los valores de humedad relativa mensual multianual medida en la estación Parque Arqueológico, estos valores se representan en la

Ilustración 104, donde se logra identificar un comportamiento monomodal con aumentos durante comienzos del segundo semestre del año y una reducción durante el primer semestre; la humedad relativa se encuentra en un rango entre el 78- 83% y una media de 80.25%.

Tabla 24. Valores Medios mensuales de Humedad Relativa.

Humedad Relativa (%)													
Municipio	Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
San Agustín	Parque Arqueológico	78.0	78.0	80.0	80.0	82.0	83.0	83.0	82.0	79.0	79.0	80.0	79.0

Fuente: Geocing SAS.

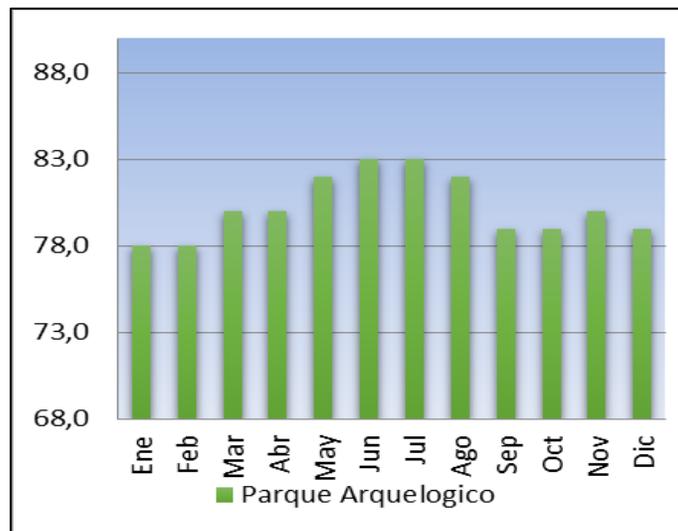


Ilustración 104. Distribución Humedad relativa.

Fuente: Geocing SAS.

Como se observa en la Ilustración 103 se presenta la distribución espacial de la humedad relativa media anual multianual en el sur del departamento del Huila donde se encuentra ubicado el municipio de San Agustín, identificando que se ubica en una zona donde el valor corresponde a un 80.25%, un valor cercano al máximo identificado en la zona que alcanza el 84%.

9.1.5 Brillo solar

El brillo solar corresponde a la cantidad de tiempo en el cual el índice de luz solar directa incide sobre una superficie, estableciendo que según las mediciones se tiene una media anual multianual de 1511 horas/año en el municipio de San Agustín, tal como se presenta en la Ilustración 105 donde se logra identificar parte del sur del municipio de Huila.

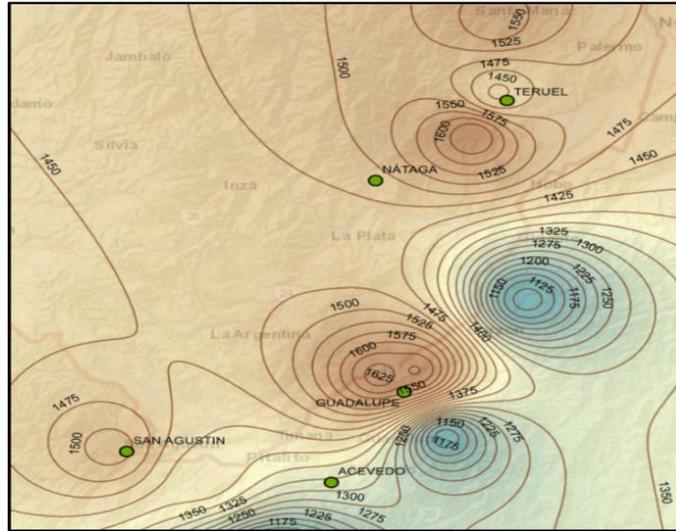


Ilustración 105. Distribución espacial de la Brillo solar Anual.
Fuente: Geocing SAS.

La Tabla 25 se presentan los valores medios mensuales multianuales según los datos registrados en la estación Parque Arqueológico, estableciendo que se presenta un rango de brillo solar entre 109- 159 horas/mes, y un promedio de 125.9 horas/mes. La variación mensual multianual se representa gráficamente en la Ilustración 106, estableciendo que se presenta un régimen bimodal con picos en los meses de enero, febrero y diciembre.

Tabla 25. Valores Medios mensuales de Brillo Solar.

Brillo Solar (Horas)													
Municipio	Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
San Agustín	Parque Arqueológico	158.9	124.9	109.9	109.1	120.7	104.6	108.2	115.2	129.9	137.4	139.4	153.0

Fuente: Geocing SAS.

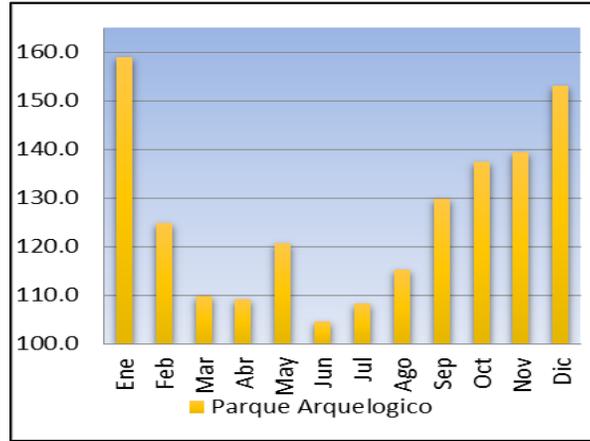


Ilustración 106. Distribución Brillo Solar.
Fuente: Geocing SAS.

9.1.6 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 corresponde a 14.5 °C.

9.2 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:

- **Criterio de Kirpich:**

$$T_c = 0.066 \frac{L^{1.155}}{H^{0.385}}$$

Dónde:

T_c: 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_c: tiempo de concentración en min.

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

- C:** coeficiente de escorrentía.
- L:** longitud del cauce principal en m.
- S:** pendiente media del cauce principal en m/m.

- **Criterio de Kerby:**

$$T_c = 1.44 \left(\frac{L \text{ m}}{S^{1/2}} \right)^{0.467}$$

Dónde:

- T_c:** 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 26 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.

Tabla 26. Estimación de los tiempos de concentración de las cuencas de los puntos críticos del municipio San Agustín.

Punto Crítico	C	m	a	Kirpich	Kerby	US FAA	SCS	T _c (h)
1	0.35	0.40	1.6	0.63	1.54	1.52	3.22	1.53
2	0.35	0.40	1.6	0.39	1.15	1.13	1.73	1.14
3	0.35	0.40	1.6	0.69	1.64	1.63	3.68	1.63
4	0.35	0.40	1.6	0.76	1.74	1.74	4.17	1.74
5	0.35	0.35	1.6	0.11	0.52	0.56	0.36	0.44
6	0.35	0.35	1.8	0.87	1.77	1.91	4.42	1.84

Fuente: Geocing SAS.

6.2 ESTACIONES CERCANAS AL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

Por otra parte, en los archivos del IDEAM se buscaron las estaciones con información disponible de registros de caudal de las correspondientes que se encentraran 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

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

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 27. Información hidrometeorológica en el municipio de San Agustín.

Código	Nombre	Categoría	Municipio
21010070	SAN AGUSTÍN	PM	SAN AGUSTÍN
21010140	CANDELA LA	PM	SAN AGUSTÍN
21010160	VILLA FÁTIMA	PM	SAN AGUSTÍN
21010190	ALTO DEL OBISPO	PM	SAN AGUSTÍN
21010200	SULCHOMISCO	PM	SAN AGUSTÍN
21010230	BETANIA TV	PM	SAN AGUSTÍN
21015030	PARQUE ARQUEOLÓGICO	CP	SAN AGUSTÍN
21010050	SAN JOSÉ DE ISNOS	PM	ISNOS

Fuente: Geocing SAS.

9.3 ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS

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.

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 –

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

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. Wilson⁵ 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 28. 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.

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 29. Relación entre la lluvia de 1 hora y la de 24 horas.

Número medio de días con lluvia al año.	1	8	16	24
Relación entre la lluvia de 1 hora y 24 horas.	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 San Agustín

A continuación, se presentan los análisis de frecuencia realizados con los registros de precipitación recopilados en el Municipio de San Agustín y la determinación de las curvas de Precipitación – Duración – Frecuencia (PDF) y sus correspondientes de

⁵ 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.

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 San Agustín

De acuerdo con la técnica de los polígonos de Thiessen, se estableció que las estaciones representativas en las diferentes cuencas delimitadas en cada sitio crítico, corresponden a las estaciones; Parque Arqueológico y Betania TV, cuya información básica se presenta en la Tabla 18. La Ilustración 107 presenta los polígonos de Thiessen que permitieron seleccionar las estaciones mencionadas.

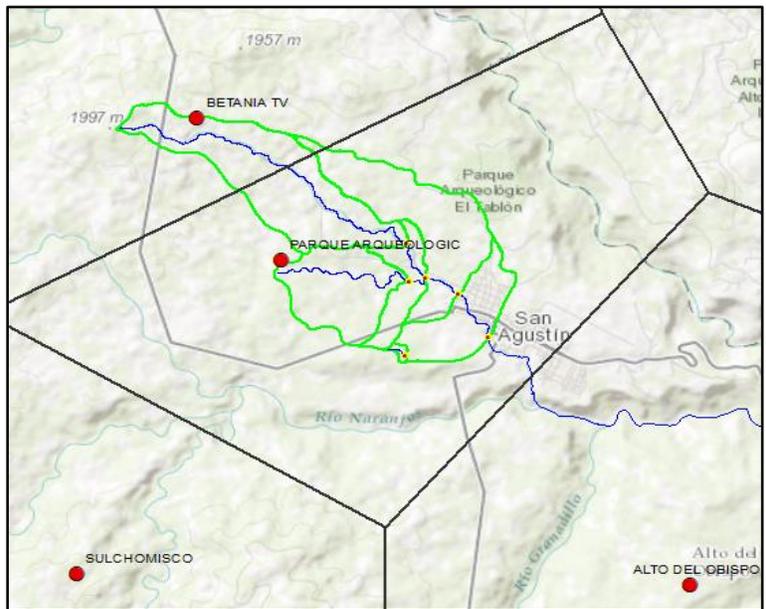


Ilustración 107. Polígonos de Thiessen para las cuencas del municipio San Agustín. Fuente: Geocing SAS.

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 30 y Tabla 31.

Tabla 30. Serie Anual de Precipitación Máxima en 24 horas en la estación San Rafael.

Año	Pmax24 h(mm)	Año	Pmax24 h(mm)	Año	Pmax24 h(mm)
1956	88	1986	36.2	2002	51.6
1957	62	1987	68.5	2003	59.1
1958	111	1988	49.6	2004	56.3
1972	44.6	1989	65.8	2005	61.4
1973	34.1	1990	41.7	2006	66
1974	44.8	1991	50.8	2007	55



Año	Pmax24 h(mm)	Año	Pmax24 h(mm)	Año	Pmax24 h(mm)
1975	38.5	1992	53.8	2008	57
1976	30.8	1993	62.1	2009	38
1978	38.6	1994	59.3	2010	77.6
1979	51.6	1995	43.9	2011	68
1980	51.3	1996	58.6	2012	36
1981	56.3	1997	150	2013	44.5
1982	91.5	1998	52.8	2014	66
1983	67.8	1999	74.8	2015	63
1984	38.2	2000	43.3	2016	62.4
1985	48.7	2001	36.2		

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 31. Serie Anual de Precipitación Máxima en 24 horas. Estación Betania TV.

Año	Pmax24 h(mm)	Año	Pmax24 h(mm)	Año	Pmax24 h(mm)
1981	65	1993	75.7	2005	43.6
1982	49	1994	50.8	2006	49.5
1983	48	1995	42.5	2007	81.9
1984	67.7	1996	53	2008	90.5
1985	54.1	1997	43.1	2009	34.2
1986	55.8	1998	61.3	2010	61.2
1987	91	1999	42.5	2011	85
1988	41.3	2000	105.1	2012	60
1989	95.7	2001	43.5	2013	80
1990	44.2	2002	31.1	2014	52
1991	43.6	2003	57.4	2015	47
1992	96	2004	66.9	2016	85

Fuente: Geocing SAS.

Cada serie se ajustó a las funciones de distribución de probabilidad Gumbel Tipo I, Log Normal y Normal; obteniendo los resultados que se muestra en la Tabla 32 y en la Tabla 33.

Tabla 32. Ajuste a funciones de distribución de probabilidades. Estación Parque Arqueológico.

Año	P _{max24 h} (mm)	Orden	P(x≤xi)	Gumbel		Normal			Log Normal	
				yi	P(x≤xi)	Z	P(x≤xi)	Log(P)	Z	P(x≤xi)
1976	30.8	1	0.02	-1.35	0.08	-1.27	0.1	1.49	-1.84	0.03
1973	34.1	2	0.04	-1.16	0.12	-1.11	0.13	1.53	-1.51	0.07



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

Año	P _{max24} h(mm)	Orden	P(x≤xi)	Gumbel		Normal			Log Normal	
				yi	P(x≤xi)	Z	P(x≤xi)	Log(P)	Z	P(x≤xi)
2012	36	3	0.06	-1.02	0.15	-1.02	0.15	1.56	-1.34	0.09
1986	36.2	4	0.08	-0.91	0.15	-1.01	0.16	1.56	-1.32	0.09
2001	36.2	5	0.1	-0.82	0.15	-1.01	0.16	1.56	-1.32	0.09
2009	38	6	0.13	-0.73	0.18	-0.93	0.18	1.58	-1.16	0.12
1984	38.2	7	0.15	-0.66	0.19	-0.92	0.18	1.58	-1.15	0.13
1975	38.5	8	0.17	-0.58	0.19	-0.91	0.18	1.59	-1.12	0.13
1978	38.6	9	0.19	-0.52	0.19	-0.9	0.18	1.59	-1.11	0.13
1990	41.7	10	0.21	-0.45	0.25	-0.75	0.23	1.62	-0.87	0.19
2000	43.3	11	0.23	-0.39	0.28	-0.68	0.25	1.64	-0.75	0.23
1995	43.9	12	0.25	-0.33	0.29	-0.65	0.26	1.64	-0.7	0.24
2013	44.5	13	0.27	-0.27	0.31	-0.62	0.27	1.65	-0.66	0.25
1972	44.6	14	0.29	-0.21	0.31	-0.62	0.27	1.65	-0.65	0.26
1974	44.8	15	0.31	-0.15	0.31	-0.61	0.27	1.65	-0.64	0.26
1985	48.7	16	0.33	-0.09	0.39	-0.42	0.34	1.69	-0.37	0.36
1988	49.6	17	0.35	-0.04	0.41	-0.38	0.35	1.7	-0.31	0.38
1991	50.8	18	0.38	0.02	0.43	-0.32	0.37	1.71	-0.24	0.41
1980	51.3	19	0.4	0.08	0.44	-0.3	0.38	1.71	-0.2	0.42
1979	51.6	20	0.42	0.13	0.45	-0.28	0.39	1.71	-0.19	0.43
2002	51.6	21	0.44	0.19	0.45	-0.28	0.39	1.71	-0.19	0.43
1998	52.8	22	0.46	0.25	0.47	-0.23	0.41	1.72	-0.11	0.46
1992	53.8	23	0.48	0.31	0.49	-0.18	0.43	1.73	-0.05	0.48
2007	55	24	0.5	0.37	0.51	-0.12	0.45	1.74	0.02	0.51
1981	56.3	25	0.52	0.43	0.54	-0.06	0.48	1.75	0.09	0.54
2004	56.3	26	0.54	0.49	0.54	-0.06	0.48	1.75	0.09	0.54
2008	57	27	0.56	0.55	0.55	-0.03	0.49	1.76	0.13	0.55
1996	58.6	28	0.58	0.62	0.58	0.05	0.52	1.77	0.22	0.59
2003	59.1	29	0.6	0.69	0.59	0.07	0.53	1.77	0.25	0.6
1994	59.3	30	0.63	0.76	0.59	0.08	0.53	1.77	0.26	0.6
2005	61.4	31	0.65	0.83	0.63	0.18	0.57	1.79	0.37	0.64
1957	62	32	0.67	0.9	0.63	0.21	0.58	1.79	0.4	0.66
1993	62.1	33	0.69	0.98	0.64	0.21	0.58	1.79	0.41	0.66
2016	62.4	34	0.71	1.06	0.64	0.23	0.59	1.8	0.42	0.66
2015	63	35	0.73	1.15	0.65	0.26	0.6	1.8	0.45	0.67
1989	65.8	36	0.75	1.25	0.69	0.39	0.65	1.82	0.59	0.72
2006	66	37	0.77	1.35	0.69	0.4	0.65	1.82	0.6	0.73
2014	66	38	0.79	1.45	0.69	0.4	0.65	1.82	0.6	0.73



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

Año	P _{max24h} (mm)	Orden	P(x≤xi)	Gumbel		Normal			Log Normal	
				yi	P(x≤xi)	Z	P(x≤xi)	Log(P)	Z	P(x≤xi)
1983	67.8	39	0.81	1.57	0.72	0.48	0.69	1.83	0.69	0.75
2011	68	40	0.83	1.7	0.72	0.49	0.69	1.83	0.7	0.76
1987	68.5	41	0.85	1.85	0.73	0.52	0.7	1.84	0.72	0.76
1999	74.8	42	0.88	2.01	0.8	0.82	0.79	1.87	1	0.84
2010	77.6	43	0.9	2.21	0.82	0.95	0.83	1.89	1.12	0.87
1956	88	44	0.92	2.44	0.9	1.44	0.93	1.94	1.52	0.94
1982	91.5	45	0.94	2.74	0.91	1.61	0.95	1.96	1.65	0.95
1958	111	46	0.96	3.16	0.97	2.53	0.99	2.05	2.26	0.99
1997	150	47	0.98	3.86	1	4.38	1	2.18	3.23	1

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 33. Ajuste a funciones de distribución de probabilidades. Estación Betania TV.

año	P _{max24h} (mm)	Orden	P(x≤xi)	Gumbel		Normal		Log Normal		
				yi	P(x≤xi)	Z	P(x≤xi)	Log(P)	Z	P(x≤xi)
1988	41.3	3	0.08	-0.92	0.17	-1.00	0.16	1.62	-1.08	0.14
1995	42.5	4	0.11	-0.80	0.19	-0.94	0.17	1.63	-0.99	0.16
1999	42.5	5	0.14	-0.69	0.19	-0.94	0.17	1.63	-0.99	0.16
1997	43.1	6	0.16	-0.60	0.20	-0.91	0.18	1.63	-0.95	0.17
2001	43.5	7	0.19	-0.51	0.20	-0.89	0.19	1.64	-0.92	0.18
1991	43.6	8	0.22	-0.43	0.21	-0.88	0.19	1.64	-0.91	0.18
2005	43.6	9	0.24	-0.35	0.21	-0.88	0.19	1.64	-0.91	0.18
1983	48.0	12	0.32	-0.12	0.29	-0.66	0.26	1.68	-0.60	0.27
1982	49.0	13	0.35	-0.04	0.31	-0.61	0.27	1.69	-0.54	0.30
2006	49.5	14	0.38	0.03	0.33	-0.58	0.28	1.69	-0.51	0.31
1994	50.8	15	0.41	0.10	0.35	-0.52	0.30	1.71	-0.42	0.34
2014	52.0	16	0.43	0.18	0.38	-0.45	0.32	1.72	-0.35	0.36
1996	53.0	17	0.46	0.25	0.40	-0.40	0.34	1.72	-0.29	0.39
1985	54.1	18	0.49	0.33	0.42	-0.35	0.36	1.73	-0.22	0.41
1986	55.8	19	0.51	0.41	0.46	-0.26	0.40	1.75	-0.13	0.45
2003	57.4	20	0.54	0.49	0.49	-0.18	0.43	1.76	-0.04	0.49
2012	60.0	21	0.57	0.57	0.54	-0.05	0.48	1.78	0.11	0.54
2010	61.2	22	0.59	0.65	0.56	0.01	0.51	1.79	0.17	0.57
1998	61.3	23	0.62	0.74	0.57	0.02	0.51	1.79	0.17	0.57
1981	65.0	24	0.65	0.84	0.63	0.21	0.58	1.81	0.36	0.64
2004	66.9	25	0.68	0.94	0.66	0.30	0.62	1.83	0.45	0.67
1984	67.7	26	0.70	1.04	0.67	0.34	0.63	1.83	0.49	0.69

año	P _{max24h} (mm)	Orden	Gumbel			Normal		Log Normal		
			P(x≤xi)	yi	P(x≤xi)	Z	P(x≤xi)	Log(P)	Z	P(x≤xi)
1993	75.7	27	0.73	1.15	0.78	0.75	0.77	1.88	0.84	0.80
2013	80.0	28	0.76	1.28	0.82	0.97	0.83	1.90	1.02	0.85
2007	81.9	29	0.78	1.41	0.84	1.06	0.86	1.91	1.09	0.86
2011	85.0	30	0.81	1.56	0.86	1.22	0.89	1.93	1.21	0.89
2016	85.0	31	0.84	1.73	0.86	1.22	0.89	1.93	1.21	0.89
2008	90.5	32	0.86	1.93	0.90	1.50	0.93	1.96	1.41	0.92
1987	91.0	33	0.89	2.17	0.90	1.53	0.94	1.96	1.43	0.92
1989	95.7	34	0.92	2.47	0.92	1.76	0.96	1.98	1.59	0.94
1992	96.0	35	0.95	2.89	0.93	1.78	0.96	1.98	1.60	0.94

Fuente: Geocing SAS.

De acuerdo con el criterio de Kolmogorov – Smirnov, la función que mejor se ajustó los registros de la estación Parque Arqueológico es la Log Normal; mientras que la función Gumbel Tipo I es la que mejor ajustó la estación Betania TV. De acuerdo con lo anterior, se utilizaron las distribuciones seleccionadas para estimar las precipitaciones máximas en 24 horas para los períodos de retorno que se presentan en la Tabla 34 y en la Tabla 35.

Tabla 34. Precipitación Máxima en 24 horas Estación Parque Arqueológico Estación Betania TV

Tr (años)	Pmax (mm)	Tr (años)	Pmax (mm)
2.33	57.8	2.33	61.6
5	71.2	5	77.6
10	81.6	10	90.7
15	87.4	15	98.1
20	91.5	20	103.3
25	94.5	25	107.2
50	103.9	50	119.5
100	113.2	100	131.6
200	122.4	200	143.8
500	134.5	500	159.7
1000	143.7	1000	171.8

Fuente: Geocing SAS.

9.3.1 Curvas PDF e IDF

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 35 a la Tabla 37.

Tabla 35. Curvas de Precipitación – Duración – Frecuencia de la Estación Parque Arqueológico.

Curvas Precipitación - Duración - Frecuencia (PDF) Ajustadas								
Tr (años)	Duración (min)							
	5	10	15	30	45	60	120	1440
2.33	7.3	13.5	17.1	23.2	26.8	29.3	35.5	57.5
5	9.0	16.6	21.0	28.5	33.0	36.1	43.7	70.8
10	10.3	19.0	24.1	32.8	37.8	41.4	50.1	81.2
15	11.1	20.4	25.8	35.1	40.5	44.4	53.7	87.0
20	11.6	21.3	27.0	36.7	42.4	46.4	56.1	91.0
25	12.0	22.0	27.9	37.9	43.8	48.0	58.0	94.1
50	13.1	24.2	30.7	41.7	48.2	52.8	63.8	103.4
100	14.3	26.3	33.4	45.4	52.5	57.4	69.5	112.6
200	15.5	28.5	36.1	49.1	56.7	62.1	75.1	121.8
500	17.0	31.3	39.7	54.0	62.3	68.3	82.6	133.8
1000	18.2	33.5	42.4	57.7	66.6	73.0	88.2	143.0

Nota: Precipitación en mm

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 36. Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia de la Estación Parque Arqueológico.

Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF)								
Tr (años)	Duración (min)							
	5	10	15	30	45	60	120	1440
2.33	87.8	80.8	68.2	46.4	35.7	29.3	17.7	2.4
5	108.0	99.4	83.9	57.1	44.0	36.1	21.8	2.9
10	123.9	114.0	96.3	65.5	50.4	41.4	25.1	3.4
15	132.7	122.1	103.2	70.2	54.0	44.4	26.8	3.6
20	138.8	127.7	107.9	73.4	56.5	46.4	28.1	3.8
25	143.5	132.0	111.5	75.9	58.4	48.0	29.0	3.9
50	157.7	145.2	122.6	83.4	64.2	52.8	31.9	4.3
100	171.8	158.1	133.5	90.8	69.9	57.4	34.7	4.7
200	185.7	170.9	144.4	98.2	75.6	62.1	37.6	5.1
500	204.1	187.9	158.7	107.9	83.1	68.3	41.3	5.6
1000	218.1	200.7	169.6	115.3	88.8	73.0	44.1	6.0

Nota: Intensidad en mm/h

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 37: Curvas de Precipitación – Duración – Frecuencia de la Estación Betania TV.

Curvas Precipitación - Duración - Frecuencia (PDF) Ajustadas								
Tr (años)	Duración (min)							
	5	10	15	30	45	60	120	1440
2.33	7.8	14.3	18.2	24.7	28.5	31.3	37.8	61.3
5	9.8	18.1	22.9	31.2	36.0	39.4	47.7	77.3
10	11.5	21.1	26.8	36.4	42.0	46.0	55.7	90.3
15	12.4	22.8	28.9	39.4	45.5	49.8	60.2	97.6
20	13.1	24.0	30.5	41.4	47.8	52.4	63.4	102.7
25	13.6	25.0	31.6	43.0	49.7	54.4	65.8	106.7
50	15.1	27.8	35.2	47.9	55.4	60.6	73.3	118.9
100	16.6	30.6	38.8	52.8	61.0	66.8	80.8	131.0
200	18.2	33.5	42.4	57.7	66.6	73.0	88.2	143.0
500	20.2	37.2	47.1	64.1	74.0	81.1	98.0	158.9
1000	21.7	40.0	50.7	68.9	79.6	87.2	105.5	170.9

Nota: Precipitación en mm

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 38. Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia de la Estación Betania TV.

Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF)								
Tr (años)	Duración (min)							
	5	10	15	30	45	60	120	1440
2.33	93.5	86.0	72.7	49.4	38.1	31.3	18.9	2.6
5	117.8	108.4	91.6	62.3	48.0	39.4	23.8	3.2
10	137.7	126.7	107.0	72.8	56.1	46.0	27.8	3.8
15	148.9	137.0	115.7	78.7	60.6	49.8	30.1	4.1
20	156.7	144.2	121.8	82.9	63.8	52.4	31.7	4.3
25	162.7	149.8	126.5	86.0	66.3	54.4	32.9	4.4
50	181.3	166.9	141.0	95.9	73.8	60.6	36.7	5.0
100	199.8	183.8	155.3	105.6	81.3	66.8	40.4	5.5
200	218.2	200.8	169.6	115.4	88.8	73.0	44.1	6.0
500	242.4	223.1	188.4	128.2	98.7	81.1	49.0	6.6
1000	260.7	239.9	202.7	137.9	106.2	87.2	52.7	7.1

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

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

en los diferentes modelos lluvia – escorrentía que se exponen adelante, para así determinar el caudal máximo mediante un hidrograma unitario en cada punto de interés, asociados a períodos de retorno entre 2,33 y 1000 años.

Las tormentas se establecieron considerando el promedio ponderado (con base en el área de influencia de cada estación) de las tormentas obtenidas para las estaciones Parque Arqueológico y Betania TV.

9.4 MODELO HIDROLÓGICO HEC-HMS

El cálculo del hidrógrama de escorrentía superficial para cada una de las hoyas hidrográficas se realizó considerando el hidrógrama unitario sintético del SCS, afectado por la escorrentía directa o precipitación efectiva en cada duración unitaria del hietograma, el cual se va desplazando tal duración. El hidrógrama total resultante es la suma de las ordenadas de los diversos hidrógramas unitarios para cada valor constante de tiempo. Para el presente estudio no se adicionó el caudal base, dado que no se posee información para su obtención y que su porcentaje es mínimo en relación al caudal pico. Para ello, se usó el modelo de computador HEC-HMS. En la Ilustración 108 presenta un esquema de la modelación realizada.

A continuación se presenta una descripción teórica del modelo de computador HEC-HMS:

9.4.1 Descripción modelo Hidrológico HEC-HMS

Para los trabajos particulares relacionados con estos estudios, se utilizó la versión más reciente de este modelo hidrológico HEC-HMS 4.3.

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

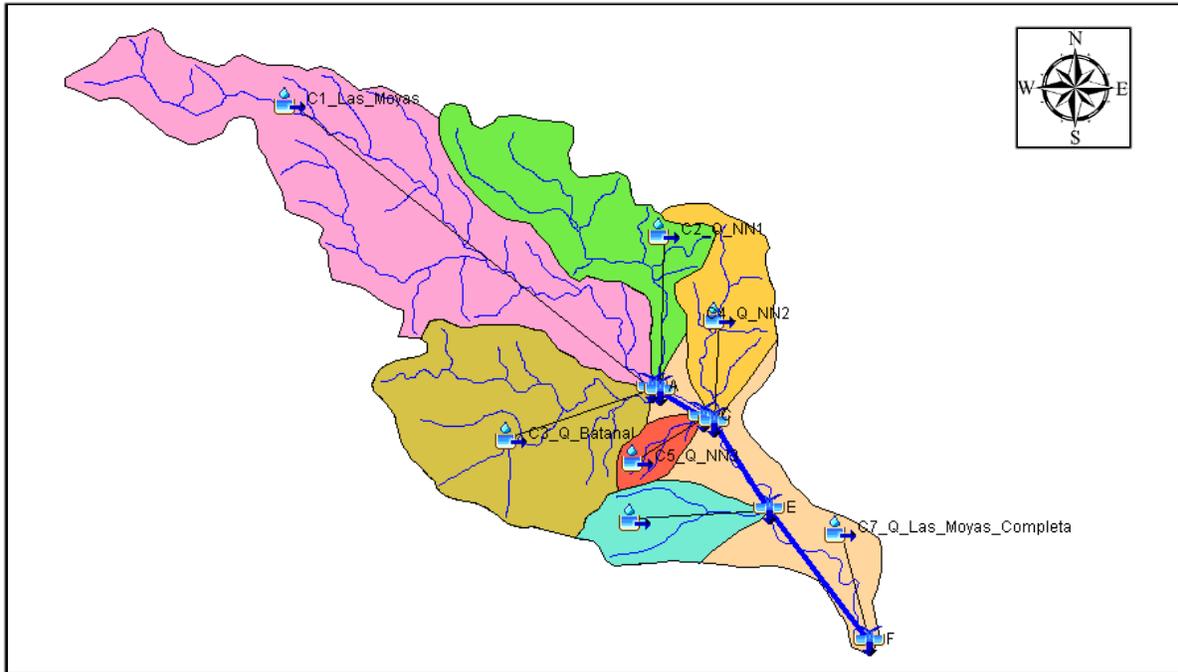


Ilustración 108. Esquema de modelación HEC-HMS 4.3 del municipio de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS

9.4.2 Filosofía modelo

El modelo computacional HEC-HMS ha sido diseñado para simular la escorrentía superficial en una corriente de agua en respuesta a un evento de precipitación como un sistema interconectado de componentes hidrológicas e hidráulicas. Cada componente se modela como un aspecto del proceso precipitación - escorrentía dentro de una porción de la hoya hidrográfica, comúnmente referida como una sub-hoya. Una componente puede representar una entidad de escorrentía superficial, un canal de una corriente, o un embalse. La representación de una componente requiere de un conjunto de parámetros que especifican las características particulares de tal componente y las relaciones matemáticas que describen los procesos físicos que ocurren y la involucran. El resultado del proceso de modelación es la determinación de los hidrógramas de creciente en puntos determinados de la hoya hidrográfica.

9.4.3 Componentes del modelo

- **Red de Canales.**

La hoya hidrográfica se subdivide en un sistema interconectado de canales utilizando mapas topográficos y cualquier otra información geográfica que describa las características existentes o proyectadas de la red de drenaje. En primer término, se

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

delimita la hoya hidrográfica, la cual se subdivide posteriormente en un número determinado de sub-hoyas de acuerdo con sus propias características, determinando el ejercicio anterior el número y tipos de componentes de canales que se usan en el modelo y su interrelación entre ellas.

- **Componente de escorrentía superficial del terreno**

La componente de escorrentía superficial del terreno de las sub-hoyas se utiliza para representar el movimiento del agua sobre la superficie del terreno y en los canales de las respectivas sub-hoyas. El dato de entrada a esta componente es el hietograma de precipitación total. La precipitación efectiva que produce escorrentía superficial se calcula substrayendo al valor de la precipitación total la infiltración y las pérdidas por detención en el terreno con base en una función de la tasa de infiltración del agua en el suelo. Para los estimativos anteriores, se supone que la precipitación y la infiltración son uniformes sobre cada una de las sub-hoyas establecidas. Estas pérdidas debidas a la intercepción superficial del terreno, almacenamientos en depresiones e infiltración son denominadas en el modelo computacional HEC-HMS como las pérdidas de la precipitación, las cuales pueden ser estimadas a través de las siguientes metodologías: pérdida inicial y tasa de pérdida uniforme; tasa de pérdida exponencial; método de la curva número CN del Soil Conservation Service, SCS; tasa de pérdida de Holtan; y, función de infiltración de Green y Ampt.

Los excesos de lluvia efectiva son posteriormente transitados a través de las técnicas del hidrógrama unitario o de la onda cinemática a la salida de la sub-hoya, estimándose el hidrógrama de escorrentía respectivo. La técnica del hidrógrama unitario produce un hidrógrama de escorrentía en el punto más aguas abajo de la sub-hoya respectiva. Si la ubicación para el cálculo de escorrentía no es apropiada, puede ser necesario subdividir aún más la sub-hoya o utilizar el método de la onda cinemática para distribuir entradas de caudal localizadas en puntos específicos.

El modelo computacional HEC-HMS tiene en cuenta las siguientes metodologías de hidrógramas unitarios: Clark, Snyder y adimensional del SCS. Para las hoyas hidrográficas en consideración, también por su simplicidad y uso arraigado, se ha tenido en cuenta el método del hidrógrama unitario adimensional del SCS, el cual se basa en las características del tiempo de desfase, el cual a su vez se basa en el tiempo de concentración, y en el área de drenaje de la sub-hoya considerada.

La transformación de la lluvia efectiva en escorrentía a través el método de la onda cinemática permite una distribución uniforme de la escorrentía superficial sobre el terreno a lo largo de la longitud del canal principal. Esta distribución uniforme de

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

entradas de caudal localizadas es particularmente importante en hoyas hidrográficas en donde muchos canales laterales contribuyen al caudal a lo largo de la longitud del canal principal. La distribución uniforme de escorrentía desde una sub-hoya se puede obtener utilizando combinaciones de tres elementos conceptuales: áreas de flujo sobre el terreno, canales colectores y un canal principal. La técnica de tránsito de la onda cinemática puede ser utilizada para transitar la lluvia efectiva sobre las áreas de flujo sobre el terreno. Por otro lado, tanto las técnicas de la onda cinemática como la de Muskingum - Cunge pueden ser usadas para transitar crecientes laterales entrantes a un canal colector y aguas arriba de éste, y caudales laterales entrantes a través del canal principal. Sin embargo, las teorías de la onda cinemática y de Muskingum - Cunge para el análisis en los diferentes elementos de los canales no pueden ser entremezcladas.

En esta teoría, el elemento de flujo sobre el terreno es un canal rectangular ancho de base unitaria, en el cual el valor de la rugosidad de Manning ha sido reemplazado por un factor de rugosidad de flujo sobre el terreno. Cuando se aplica la teoría de la onda cinemática a un elemento de flujo sobre el terreno, el caudal lateral entrante es la precipitación efectiva, y la salida es un caudal por unidad de ancho. Un elemento de flujo sobre el terreno se describe por medio de cuatro parámetros: su longitud típica de flujo sobre el terreno, su pendiente y factor de rugosidad, y el porcentaje del área de la subhoya representados por estos elementos previos. Un área de flujo sobre el terreno es utilizada para modelar la escorrentía proveniente de usos de tierra permeables y otra área es utilizada para modelar superficies impermeables. La creciente desde los elementos de flujo sobre el terreno viaja hasta la salida de la sub-hoya a través de uno o dos elementos de canales sucesivos. Un canal se define por su longitud, pendiente, rugosidad, forma, ancho o diámetro, y talud de la sección transversal. El último canal en una sub-hoya es llamado el canal principal, y cualquier canal intermedio entre los elementos de flujo sobre el terreno y el canal principal es llamado canal colector.

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

- **Componente del tránsito de Canales**

Se utiliza una componente de tránsito del hidrograma de escorrentía en los canales para representar la transformación de la onda de creciente a lo largo de ellos. El dato de entrada a esta componente es un hidrograma de creciente en el punto más aguas arriba, resultante de contribuciones individuales o combinadas de escorrentía de las sub-hoyas y de su tránsito en canales o embalses. Si se utiliza el método de la onda cinemática, la escorrentía distribuida de los elementos de sub-hoyas localizadas dentro de la propia subhoya en consideración es también un dato de entrada, el cual se combina con el hidrograma de creciente más aguas arriba mencionado previamente, para ser transitados hasta el final del tramo de canal. El hidrograma es transitado hasta punto más aguas abajo del canal en estudio con base en las características geométricas y de rugosidad de éste.

El tránsito de crecientes es utilizado para simular el movimiento de la onda de creciente a través de tramos de canales y embalses. La mayoría de los métodos de tránsito de crecientes disponibles en el modelo computacional HEC-HMS están basados en la ecuación de continuidad y alguna otra relación entre el caudal y el almacenamiento o el nivel de agua. Los métodos que utiliza este modelo son: Muskingum, Muskingum - Cunge, onda cinemática, Puls modificado, de trabajo R y D, y tránsito de embalse nivel - almacenamiento. En todos estos métodos, el tránsito procede sobre la base de un tramo de canal independiente desde aguas arriba hacia aguas abajo; no se consideran efectos de remanso ni discontinuidades en la superficie del agua tales como resaltos hidráulicos u ondas de creciente de flujo rápidamente variado.

Los métodos de tránsito en embalses del modelo HEC-HMS son los que requieren datos que definen las características del almacenamiento de un tramo de tránsito o embalse. Estos métodos son: Puls modificado, de trabajo R y D, y tránsito de embalse de nivel - almacenamiento. También existen dos métodos de tránsito en HEC-HMS que están basados sobre las ordenadas del hidrograma de creciente desfasadas. Estos últimos métodos no tienen como punto de partida las características de almacenamiento del embalse, pero han sido utilizados en numerosos ríos con buenos resultados.

- **Uso combinado de las componentes de tránsito en canales y escorrentía superficial de las sub-hoyas.**

Se puede representar cualquier tipo de conexión de procesos de precipitación - escorrentía en las sub-hoyas y el tránsito en canales en la hoya hidrográfica en estudio a través de una combinación adecuada de las componentes de escorrentía superficial

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

en las sub-hoyas y de tránsito en canales. La conexión de las componentes de la red de canales está implicada por el orden en el cual las componentes de los datos están arregladas. La simulación debe siempre comenzar en la parte más aguas arriba de la sub-hoya considerada en un ramal de la red de canales. La simulación procede hacia aguas abajo hasta que se alcanza la confluencia respectiva. Antes de simular los procesos aguas abajo de una confluencia, todas las crecientes hasta tal confluencia deben ser calculadas y transitadas hasta ese punto.

- **Componente de tránsito de Embalses**

La utilización de la componente de embalse es similar a la componente del tránsito en canales. La componente de embalse opera recibiendo una creciente aguas arriba de éste y transitando los caudales respectivos entrantes a través del embalse, utilizando métodos de tránsito en embalses. Las metodologías para el tránsito de crecientes en embalses con las cuales trabaja el modelo de computador HEC-HMS fueron explicadas con detalle en la respectiva metodología para el tránsito de crecientes en canales.

- **Otras Componentes**

Aunque no fueron utilizadas en la modelación hidrológica, se mencionan otras componentes del programa de computador HEC-HMS 4.3, con el fin de dar una completa descripción de sus capacidades.

- ✓ **Componente de desviación**

La componente de desviación se utiliza para representar desviaciones o bifurcaciones en un canal, o cualquier otra transferencia de flujo de un punto a otro punto dentro o fuera de la hoya hidrográfica.

- ✓ **Componente de Bombeo**

La componente de bombeo puede ser utilizada para simular la acción de plantas de bombeo utilizadas para elevar la escorrentía desde áreas de pondajes bajas.

- ✓ **Transformación de Hidrógramas**

La opción de transformación de hidrógramas da capacidad para alterar los hidrógramas de creciente basados en el criterio definido por el usuario.

6.2.1 Caudales Máximos generados en el modelo HEC-HMS

Mediante la aplicación del modelo de computador HEC-HMS, y con las características de la lluvia total espacial, de la curva CN, las áreas de drenaje y del tiempo de desfase

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

para las hoyas hidrográficas analizadas, se calcularon las crecientes de diseño aferentes a las diferentes corrientes producidas por las cuencas hidrográficas analizadas, para periodos de retorno entre 15 y 1000 años y los valores se presentan respectivamente en la Tabla 39. De igual forma los modelos hidrológicos llevados a cabo se encuentran en el Anexo No. 2 en el lenguaje original del software empleado.

Tabla 39. Caudales Máximos Instantáneos para Cada Hoya Hidrográfica.

N°	Corriente	Área (km ²)	CN	Caudal Max (m ³ /s) - Tr Años			
				Tr 15	Tr 100	Tr 500	Tr 1000
1	Q_Moyas	2.92	86.6	13.90	16.90	65.90	77.40
2	Q_Moyas_Completa	7.92	88	16.80	47.10	76.20	89.50
3	Q_NN_1	1.14	85.5	3.10	7.80	12.30	14.40
4	Q_NN_2	0.62	84.4	2.00	4.80	7.40	8.70
5	Q_NN_3	0.16	85.2	0.60	1.30	2.10	2.40
6	Q_El_Batán	1.66	88	4.50	12.20	19.50	22.80
7	Q_La_Alborada	0.46	88	1.40	3.60	5.70	6.70

Fuente: Geocing SAS.



10 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

De acuerdo con los análisis de las características geológicas, en el área de estudio se encuentran las siguientes unidades de suelo:

Sade	Suelo Antrópicos, Depósitos de Escombros
Sari	Suelo Antrópico, Rellenos Ingenieriles
Sarin	Suelo Antrópico, Rellenos Indiferenciados
Stfar	Suelo Transportado Fluvial, Depósito Aluvial Reciente
Sr-N2Q1vb	Suelo Residual de la Formación Vulcanitas Básicas
Sr-N2g	Suelo Residual de la Formación Guacacallo
Rd-N2Q1vb	Roca Dura, Formación Vulcanitas Básicas
Ri-N2g	Roca Intermedia, Formación Guacacallo
Rd-N2la	Roca Dura, Formación Lahar de Altamira

• **Suelo Antrópicos, Depósitos de Escombros, Sade:** Corresponde a mezclas heterogéneas de escombros de construcción, plásticos, restos de maderas, suelos, vidrios, y otros. Dispuestos de manera aleatoria, sin una disposición técnica. Son materiales no consolidados, muy permeables, de corta extensión y dispuestos para nivelar zonas deprimidas; se estima un espesor variable de 2,5 m de este material.

• **Suelo Antrópico, Rellenos Ingenieriles, Sari:** Hace referencia a los materiales seleccionados y compactados, donde se desarrolló la construcción de obras civiles como vías y andenes, del casco urbano y su zona de expansión. Este tipo de depósitos presentan espesores variables entre 0.50 y 2 m, siendo mayores, posiblemente en los sectores de rellenos en las canalizaciones realizadas en las quebradas que discurrían en gran parte del casco urbano del municipio de San Agustín y su zona de expansión. Se encuentran suprayaciendo discordantemente, materiales preexistentes como suelos residuales de la Formación Vulcanitas Básicas y Suelos residuales de la Formación Guacacallo.

• **Suelo Antrópico, Rellenos Indiferenciados, Sarin:** Hace referencia a los materiales seleccionados, emplazados y compactados, para la construcción de obras civiles como parques, plazas o viviendas, generalmente presentan una matriz arcillo limosa, con lentes de arenas, gravas, y en ocasiones materia orgánica, embebidas en esta. Con coloraciones habano claro a oscuro. Se encuentra suprayaciendo discordantemente, materiales preexistentes como suelos residuales de la Formación Vulcanitas Básicas y Suelos residuales de la Formación Guacacallo.

• **Suelo Transportado Fluvial, Depósito Aluvial Reciente, Stfar:** Depósito cuaternario reciente conformado por material transportado y depositado por la quebrada Las

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

Moyas, y sus tributarios, que atraviesan el casco urbano del municipio de San Agustín y su zona de expansión, es de poca extensión sobre el área en estudio.

- **Suelo Residual de la Formación Vulcanitas Básicas, Sr-N2Q1vb:** Corresponde a suelos de textura arcillosa, originados a partir de la degradación de rocas de la Formación Vulcanitas Básicas con espesor variable: en el sondeo mecánico 02, se reportan 5 metros de este material, que suprayacen la roca en estado fresco, e infrayace Depósitos de Escombros.

- **Suelo Residual de la Formación Guacacallo, Sr-N2g:** Corresponde a suelos de textura arcillosa que varía localmente a areno – limoso, y que contiene algunos bloques muy meteorizados, de origen ígneo extrusivo. Este material se origina, a partir de la degradación de rocas de la Formación Guacacallo. También en corte, se observa la presencia de paleosuelos en la parte superior de esta unidad. Espesor variable de 6 m infrayacido por rocas de la Formación Guacacallo.

- **Roca Dura, Formación Vulcanitas Básicas, Rd-N2Q1vb:** Se observan 2 afloramientos donde se observa esta roca en estado meteorizado – roca fresca: en el ingreso, calle 2 este con carrera 5ª este, y en la calle 3 con carrera 7, donde se observa una toba volcánica, muy fracturadas, donde se observan 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, de grano fino. Suprayacen discordantemente rocas de la Formación Guacacallo.

- **Roca Intermedia, Formación Guacacallo, Ri-N2g:** Toba aglomerática, conformada por fragmentos gruesos alterados, al parecer de dacitas y riolitas, en una matriz de ceniza y lapilli, compuesta de cuarzo, plagioclasa y biotita. Suprayacen discordantemente rocas de la Formación Lahar de Altamira, e infrayace discordantemente por rocas de la Formación Vulcanitas Básicas. La LRS 01, reporta entre 8 y 20 metros este material, con Vs de 650 m/s en los recorridos no se observaron afloramientos de este material.

- **Roca Dura, Formación Lahar de Altamira, Rd-N2la:** En ventana de roca, del costado sur del casco urbano, y en las márgenes de la quebrada Las Moyas, se observa un material conglomerático polimíctico, muy cementado, que contiene cantos angulares a muy angulares, originado en un flujo caótico, en matriz vitro – arcillosa, de color oscuro. Infrayace discordantemente rocas de la Formación Lahar de Altamira. La LRS 01, registra este material, a partir de los 20 metros de profundidad, con Vs de 800 m/s.

En la Ilustración 109 se presentan los resultados de toda la investigación geotécnica utilizada, la información seleccionada para los análisis correspondientes; luego, se relaciona el programa de exploración geotécnica directo e indirecto ejecutado en el proyecto e igualmente se detallan los tipos y cantidades de ensayos de campo y laboratorio ejecutados.



Ilustración 109. Localización Exploración Geotécnica.
Fuente: Geocing SAS.

10.1 EXPLORACIÓN INDIRECTA

Se realizaron 3 líneas de refracción sísmica las cuales se encuentran relacionadas en la Tabla 40, donde se presentan las coordenadas el inicio y el fin de cada línea; adicionalmente en la Ilustración 78 se presenta las zonas donde se desarrolló cada ensayo.

Tabla 40. Coordenadas Exploración Geofísica Líneas Sísmica

Línea	INICIO		FIN		Longitud (m)
	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE	
LRS-01	756630	699099	756704	699001	100
LRS-02	755642	700731	755565	700677	100
LRS-03	755955	700179	756055	700222	115

Fuente: Geocing SAS.



Ilustración 110. 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.



Ilustración 111. Proceso de ejecución LRS-01.
Fuente: Google Earth.

En la Ilustración 112, se presenta el modelo simplificado de dos conjuntos de velocidades compresionales y en la Tabla 41 se presenta la clasificación de la ripabilidad según su velocidad:

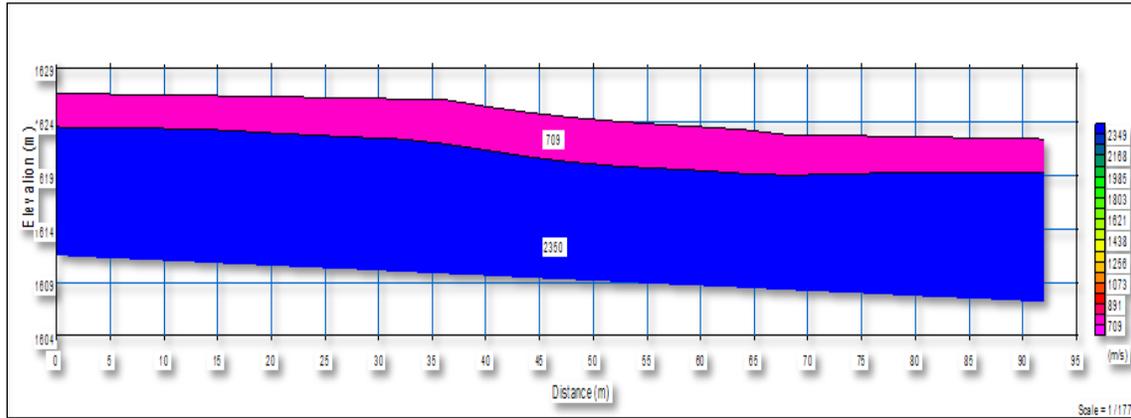


Ilustración 112. Modelo Simplificado LRS-01.
Fuente: Geocing SAS.

Tabla 41. Clasificación Ripabilidad Vp L1.

Línea	Vp (m/s)	Espesor (m)	Profundidad (m)	RIPABILIDAD
L1	709	4	0-4	Ripado fácil
	2350	-	4-30	No son ripables

Fuente: Geocing SAS.

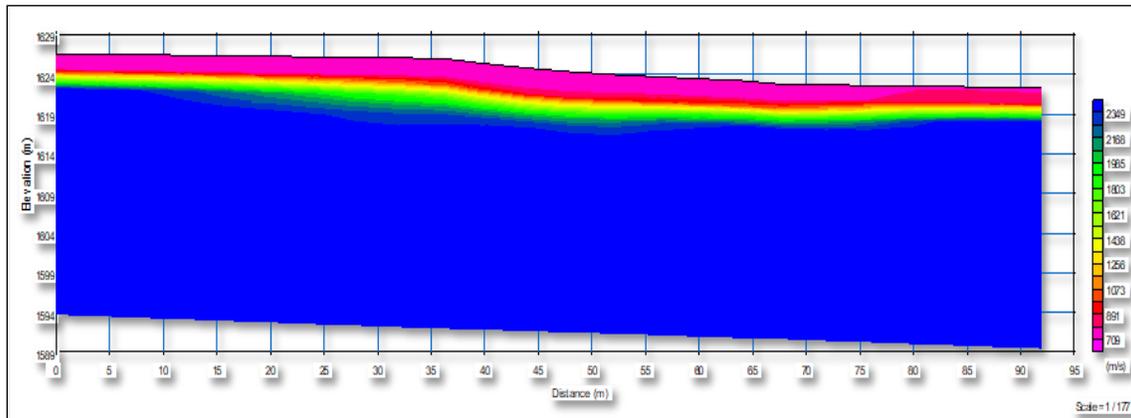


Ilustración 113. Tomografía sísmica LRS-01.
Fuente: Geocing SAS

Tabla 42. Resumen Perfil simple Vp L1.

N° Línea	Estrato	Rango de Velocidad Vp(m/s)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Material
L1	1	709-1073	4	0-4	Suelo Residual
	2	1073-1985	3	4-7	Roca Intermedia
	3	1985-2349	-	>7	Roca Dura

Fuente: Geocing SAS.

En general el perfil unidimensional presenta una velocidad de corte promedio V_s 620 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.

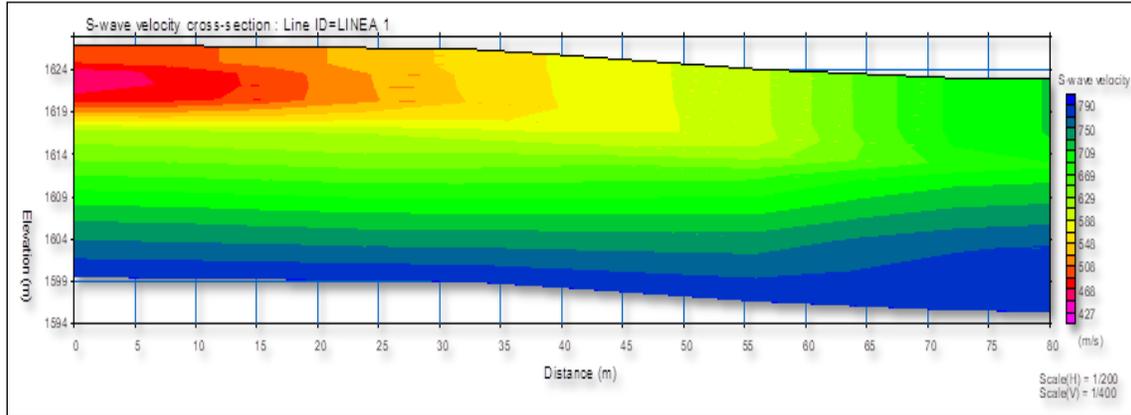


Ilustración 114. Perfil bidimensional 2D Vs MASW-01.
Fuente: Geocing SAS.

Tabla 43. Resumen Tomografía Vs L1.

Nº Línea	Estrato	Rango de Velocidad Vs(m/s)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Material
L1	1	427-548	8	0-8	Suelo residual
	2	548-709	15	8-23	Roca Dura
	3	709-790	-	23-30	Roca Dura

Fuente: Geocing SAS.

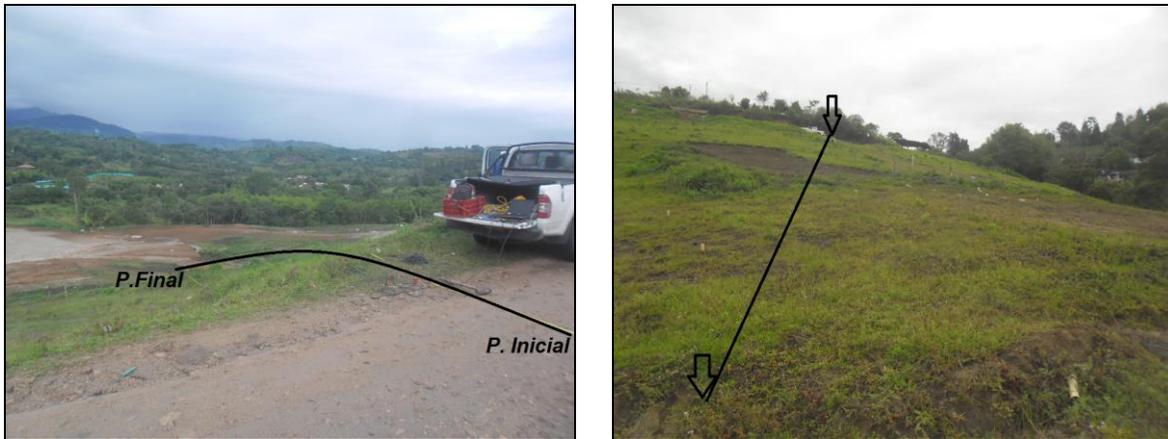


Ilustración 115. Proceso de ejecución LRS-02.
Fuente: Geocing SAS.

En la Ilustración 116, se presenta el modelo simplificado de tres conjuntos de velocidades compresionales y en la Tabla 44 se presenta la clasificación de la ripabilidad según su velocidad:

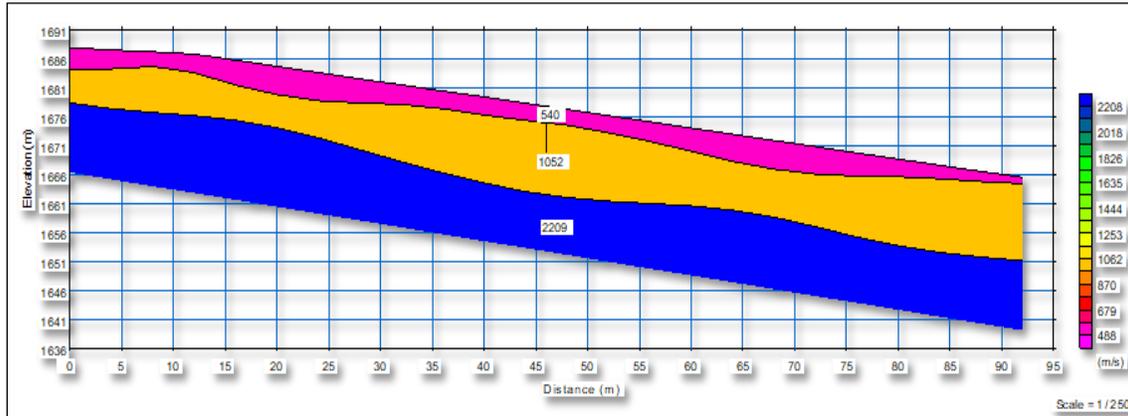


Ilustración 116 .Modelo Simplificado LRS-02.
Fuente: Geocing SAS.

Tabla 44. Clasificación Ripabilidad Vp L2.

Línea	Vp (m/s)	Espesor (m)	Profundidad (m)	RIPABILIDAD
L2	540	4	0-4	Material suelto
	1052	13	4-17	Ripado fácil
	2209	-	17-30	No son ripables

Fuente: Geocing SAS.

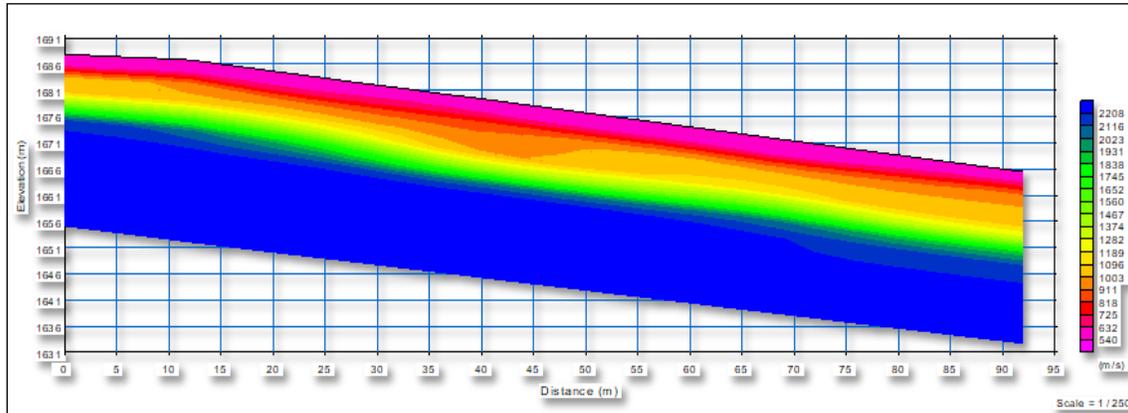


Ilustración 117 Tomografía sísmica LRS-02.
Fuente: Geocing SAS.

Tabla 45. Resumen Tomografía Sísmica Vp L2.

N° Línea	Estrato	Rango de Velocidad Vp(m/s)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Material
L2	1	540-1003	10	0-10	Suelo Residual
	2	1003-1931	9	10-19	Roca Intermedia
	3	1932-2208	-	19-30	Roca Dura

Fuente: Geocing SAS.

En general el perfil unidimensional presenta una velocidad de corte promedio V_s 678.9 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.

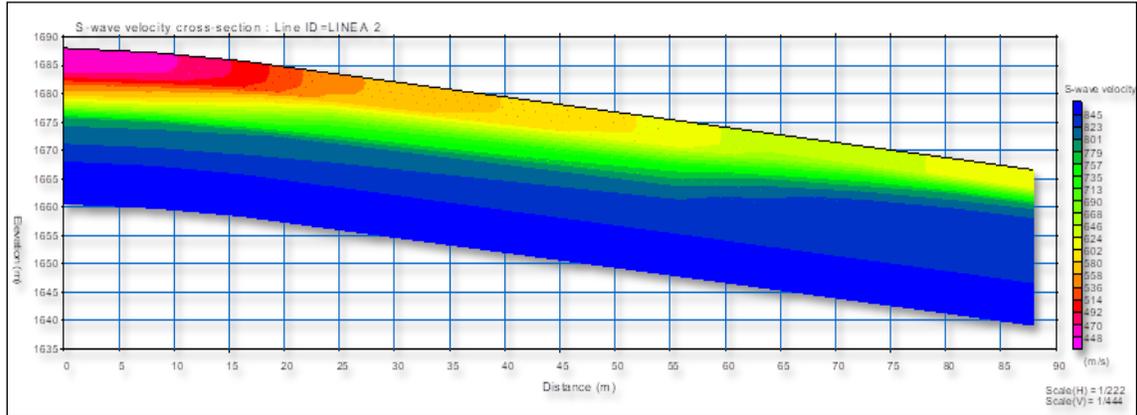


Ilustración 118. Perfil bidimensional (2D) Vs MASW-02.
Fuente: Geocing SAS.

Tabla 46. Resumen Tomografía Vs L2.

N° Línea	Estrato	Rango de Velocidad Vs(m/s)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Material
L2	1	448-580	7	0-7	Suelo Residual
	2	580-779	12	7-19	Roca Intermedia
	3	779-845	-	19-30	Roca Dura

Fuente: Geocing SAS.



Ilustración 119. Proceso de ejecución LRS-03.
Fuente: Geocing SAS.

En la Ilustración 120, se presenta el modelo simplificado de dos conjuntos de velocidades compresionales y en la Tabla 47 se presenta la clasificación de la ripabilidad según su velocidad:

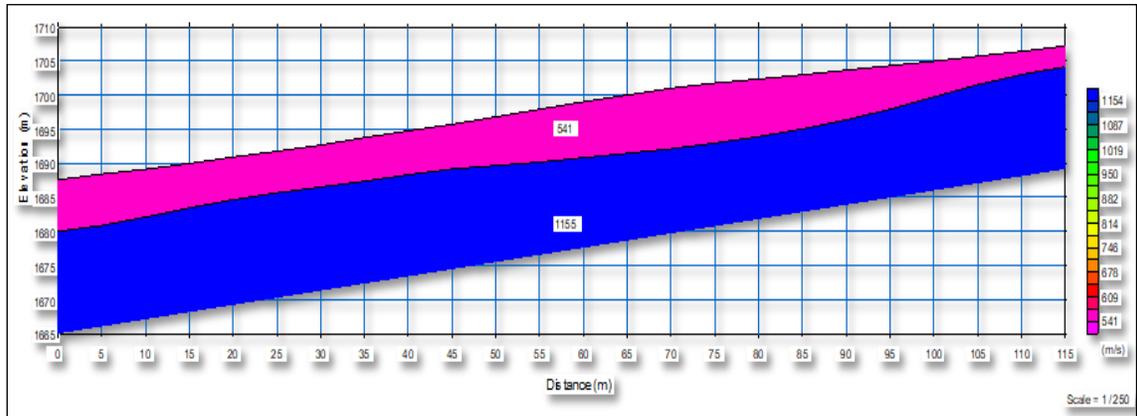


Ilustración 120 .Modelo Simplificado LRS-03.
Fuente: Geocing SAS.

Tabla 47. Clasificación Ripabilidad Vp L3.

Línea	Vp (m/s)	Espesor (m)	Profundidad (m)	RIPABILIDAD
L3	541	8	0-8	Material suelto
	1155	-	8-30	Ripado fácil

Fuente: Geocing SAS.

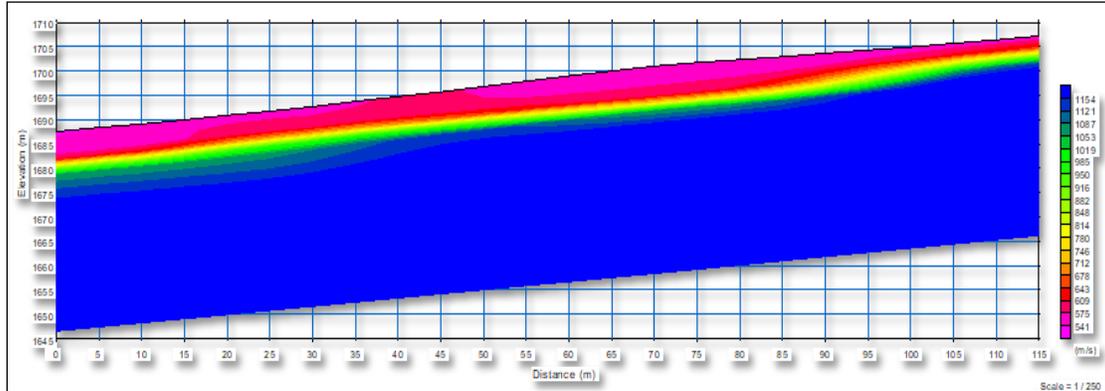


Ilustración 121. Tomografía sísmica LRS-03.

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 48. Resumen Tomografía Sísmica Vp L3.

N° Línea	Estrato	Rango de Velocidad Vp(m/s)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Material
L3	1	541-712	8	0-8	Suelo Residual
	2	712-1053	2	8-10	Roca Intermedia
	3	1053-1154	-	10-30	Roca Dura

Fuente: Geocing SAS.

En general el perfil unidimensional presenta una velocidad de corte promedio Vs 587.5 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.

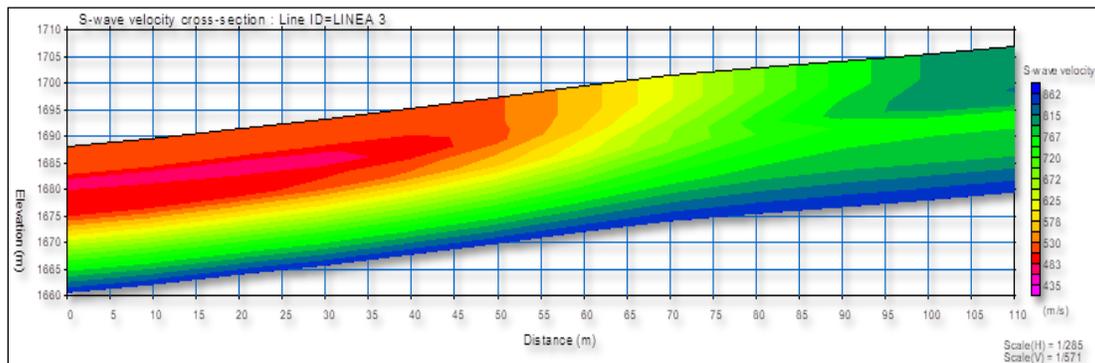


Ilustración 122 .Perfil bidimensional (2D) Vs MASW-03.

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 49. Resumen Tomografía Vs L3.

Nº Línea	Estrato	Rango de Velocidad Vs(m/s)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Material
L3	1	435-578	13	0-13	Suelo Residual
	2	578-767	20	0-20	Roca Intermedia
	3	767-862	-	20-30	Roca Dura

Fuente: Geocing SAS

10.2 EXPLORACIÓN DIRECTA

Para lograr la conceptualización del modelo geotécnico del área de estudio, se llevó a cabo la investigación geotécnica por medio de exploración directa e indirecta por lo cual se realizaron una exploración sísmica de refracción y MASW, que se orientó para obtener información básica del subsuelo; tal como: profundidades de roca, espesor y forma del contacto entre capas y continuidad o discontinuidad del modelo interpretativo, así como la obtención de las velocidades compresionales y de corte de cada capa, de igual forma para detallar el perfil estratigráfico del área de estudio se realizaron 3 perforaciones mecánicas, haciendo uso del ensayo de penetración estándar SPT para la recuperación de muestras alteradas e igualmente se tomaron muestras inalteradas usando tubos Shelby de pared delgada donde fue posible, y 6 Barrenos manuales hasta una profundidad máxima de 5.0 m. Ver Anexo 3. Caracterización Geotécnica.

Tabla 50. Coordenadas Exploración con perforaciones.

Sondeo	Inicio		Profundidad (m)
	Este	Norte	
BM 1	76°15'48,54"	1°52'21,43"	5
BM2	76°15'40,71"	1°52'34,88"	5
BM3	76°15'37"	1°52'20"	5
BM4	76°15'48,54"	1°52'21,43"	5
BM5	76°16'10,65"	1°52'58,76"	5
SM1	76°16'1,56"	1°52'38,06"	8,25
SM2	76°16'17,78"	1°53'13"	9,258
SM3	76°15'56,17"	1°52'51,19"	11,75

Fuente: Geocing SAS.

En la Tabla 51 se identifican por medio de coordenadas el inicio y el fin de cada línea.

Tabla 51. Coordenadas Exploración Geofísica Líneas Sísmica.

Línea	Inicio		Fin		Longitud (m)
	Este	Norte	Este	Norte	
LRS-01	756630	699099	756704	699001	100
LRS-02	755642	700731	755565	700677	100
LRS-03	755955	700179	756055	700222	115

Fuente: Geocing SAS.

• ENSAYOS DE LABORATORIO

A partir de las muestras recuperadas durante la exploración del subsuelo realizada en el municipio de San Agustín, 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 3. 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 ejecutaron teniendo en cuenta los procedimientos de las normas INVIAS relacionados en la siguiente en la Tabla 52.

Tabla 52. Normas INVIAS para ensayos de laboratorio

Ensayo de laboratorio	Cantidad	Norma
Granulometría	9	I.N.V.E 123-07 Análisis granulométrico de suelos por tamizado
Humedad natural	38	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	23	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	25	I.N.V.E 121-07 Determinación del peso unitario total
Corte directo	14	I.N.V.E 154-07 Determinación de la resistencia al corte por el método de corte directo
Compresión inconfiada	2	I.N.V.E 152-07 Compresión inconfiada en muestras de suelo
Cargas Puntual	7	

Fuente: Geocing SAS.

De manera inicial se realizaron análisis de variación de propiedades geotécnicas por cada tramo de sección de comportamiento geotécnico homogéneo, obteniendo así

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

modelos bidimensionales parametrizados que son 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 inconfiada 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 #200. En las profundidades de análisis donde no fue posible realizar muestreo inalterado, 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 ϕ' y c' . La hoja de cálculo se puede revisar en el Anexo 3. Caracterización Geotécnica. A continuación se presenta la caracterización geotécnica de cada uno de los materiales reportados en el área de estudio.

10.2.1 Suelo residual formación vulcanitas básicas Sr-N2Q1vb

El suelo residual SrN2Qvb, se encuentra localizado en la zona de ladera hacia el norte de la cabecera municipal, textualmente se identifican materiales arcillosos cafés, con presencia de lentes de arena habanas, incrementando resistencia con la profundidad, consecuencia de la degradación de las rocas de la Formación Vulcanitas Básicas. En algunas zonas, suprayace a este material depósitos antrópicos. De acuerdo con la exploración geotécnica y los resultados obtenidos en los barrenos manuales BM4, BM5, BM6 y Sondeo mecánico SM2 el espesor aproximado es de 8.50 m. La LRS 02, reporta un espesor de 17 m de este material, con Vs menor de 450 m/s. A continuación en la Ilustración 123 se puede ver la localización de la formación así como la exploración geotécnica con la cual se puede caracterizar física y geotécnicamente.

A partir de los resultados de campo se determina las características físicas del material, inicialmente se tiene en cuenta la consistencia del perfil de suelo, el cual con reportes de Numero de golpes $45 < 20$ clasifica como de consistencia compacta la cual como se puede ver en las gráficas a continuación incrementa con la profundidad de media a compacta, y se nota el cambio de materiales a partir de 8.5 m. El nivel freático se reportó a 6.5 m en el SM2.



Ilustración 123 Vista de la unidad geológica suelo residual Sr-N2Q1vb.
Fuente: Geocing SAS

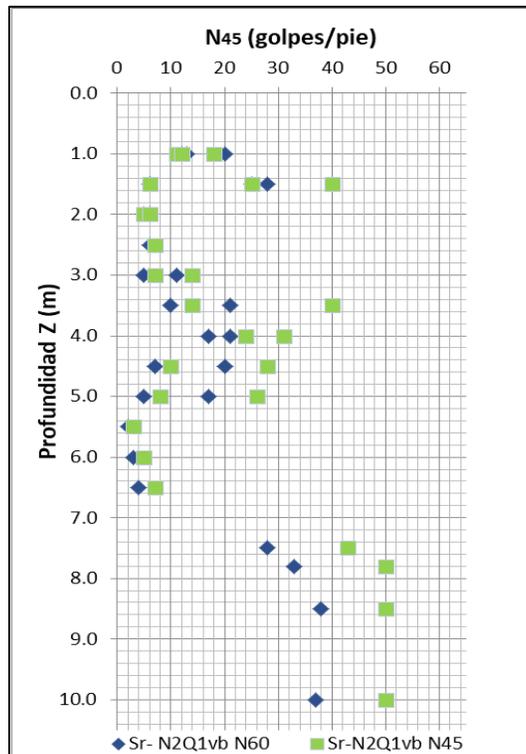


Ilustración 124 Perfil de campo, reporte de N45 con N60.
Fuente: Geocing SAS.

De acuerdo con lo que se muestra en la Ilustración 125 se observa que los materiales que componen el Suelo residual tienen valores de límite plástico promedio de 25%, la humedad natural oscila entre 16 y 45%, anotando que está siempre por encima del límite plástico, lo cual indica que el suelo se encuentra en un estado plástico a semi-sólido. El límite líquido oscila entre 30% y 45%, es decir que los materiales en este rango de profundidad tienen plasticidad media a baja.

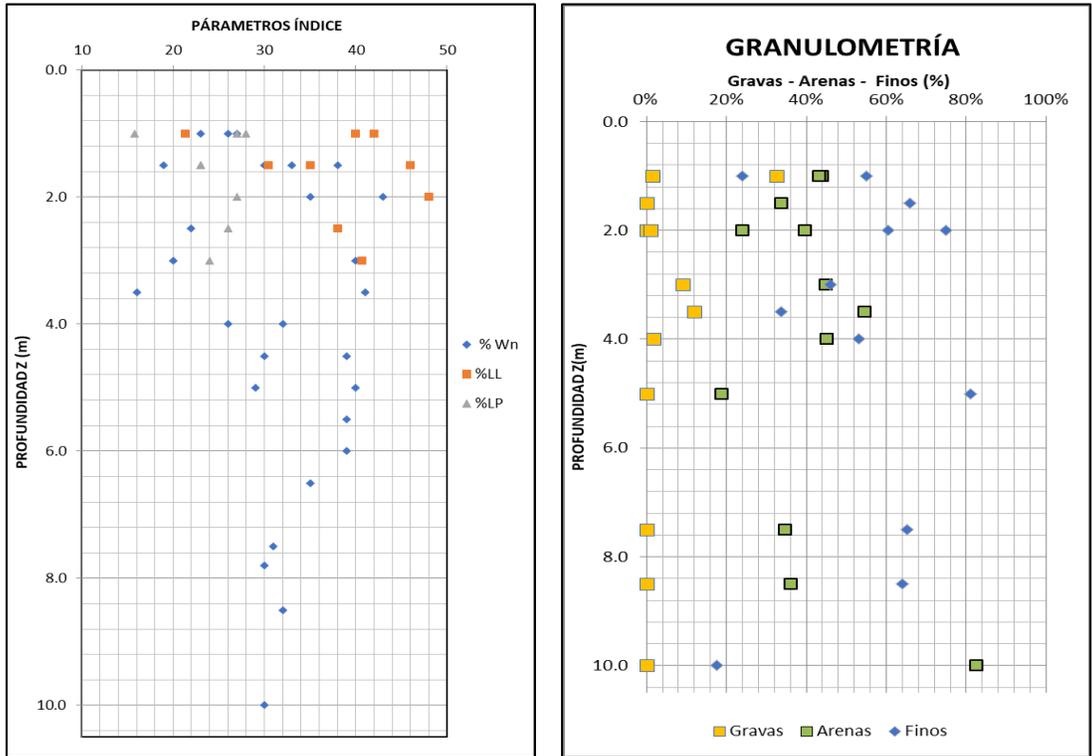


Ilustración 125 Variación de las propiedades índices Wn, LL, LP e IP así Variación granulométrica y clasificación unificada como en profundidad.
Fuente: Geocing SAS.

Según los resultados de granulometría se evidencia la heterogeneidad de los materiales que constituyen el perfil de suelo del Suelo residual, dado que, en todo su espesor la distribución granulométrica es variable con contenido de fracción arenosa que varía entre 35% y 40%, y un contenido de fracción gruesa promedio de 6%, y una fracción de materiales finos de 55%, los límites de Atterberg permiten identificar que el perfil de suelo tiene plasticidad media a baja, con lo cual se clasifica según lo planteado por la USCS como Arcilla limosa café ML-CL, A continuación se identifica por medio de los resultados de los ensayos e plasticidad en la carta de Casagrande y posteriormente en la Tabla 52, se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de Corte directo drenado que permiten la caracterización de resistencia.

Como se observa en los resultados de los ensayos de clasificación, y al reconocimiento visual microscópico del afloramiento, se clasifica el suelo como *Horizonte IC –Suelo residual* (Ver Ilustración 126).

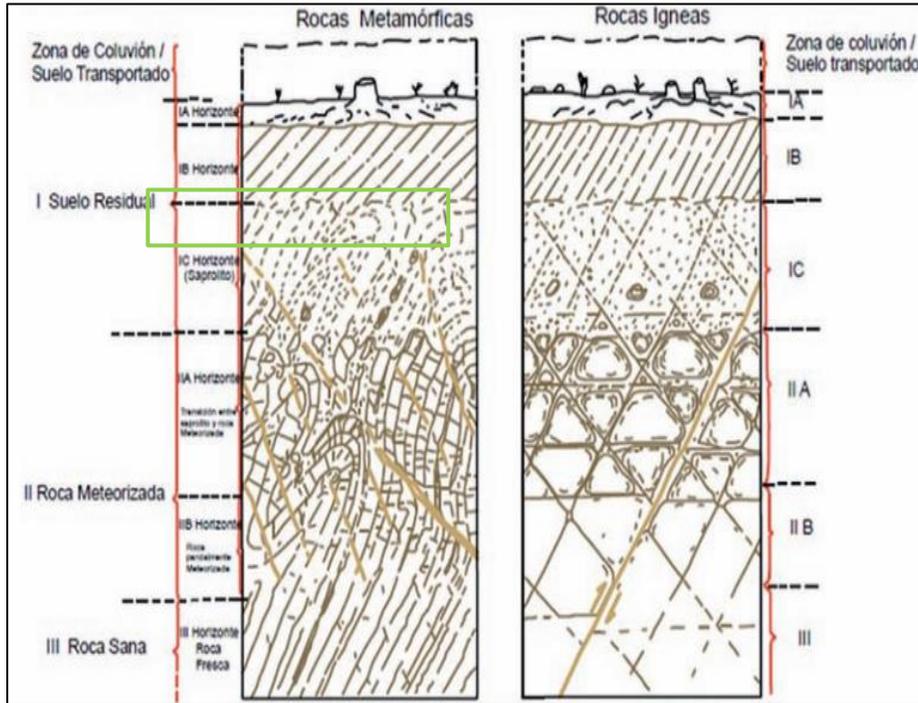


Ilustración 126 Perfil de meteorización típico de rocas metamórficas e ígneas intrusivas. Fuente: Deer y Patton, 1971.

Tabla 53. Parámetros de resistencia para el suelo Residual Sr-N2Q1vb

RESUMEN EXPLORACIÓN, ENSAYOS DE CAMPO Y LABORATORIO - AVR SAN AGUSTÍN, HUILA																
MUESTRA				Peso Unitario			Granulometría				Límites Atterberg			Corte directo Drenado		
SONDEO	Prof. prom. [m]	Nc 45	N.F (m)	yt [kN/m³]	yd [kN/m³]	ωn [%]	Gravas [%]	Arenas [%]	Finos [%]	LL [%]	LP [%]	IP [%]	USCS	C [kPa]	Ø' [°]	
BM4	0.75	11	-	19.00	14.98	27.0	32.5%	43.8%	24.0%	42	27	15	ML			
BM4	1.25	25	-			19.0								6	16.2	
BM5	0.75	18	-			23.0	1.4%	43.2%	55.0%	35	23	12	CL			
BM5	1.25	40	-	13.57	0.98	38.0	0.0%	33.8%	66.0%							
BM6	0.75	12	-			26.0				40	28	12	ML			
BM6	1.25	6	-	17.60	13.60	30.0										
BM6	1.75	5	-			43.0	0.0%	39.6%	60.4%					14	24.3	
BM6	2.25	7	-			22.0				30.4	23	7.4	ML			



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

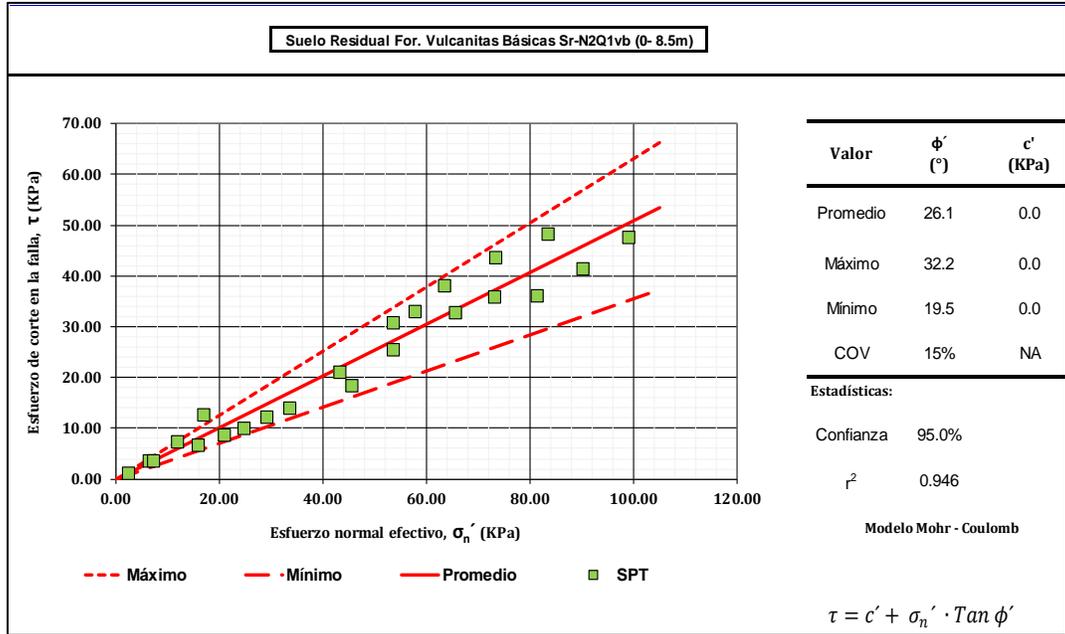
INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

RESUMEN EXPLORACIÓN, ENSAYOS DE CAMPO Y LABORATORIO - AVR SAN AGUSTÍN, HUILA															
MUESTRA				Peso Unitario			Granulometría			Límites Atterberg			Corte directo Drenado		
SONDEO	Prof. prom. [m]	Nc 45	N.F (m)	γ_t [kN/m ³]	γ_d [kN/m ³]	ω_n [%]	Gravas [%]	Arenas [%]	Finos [%]	LL [%]	LP [%]	IP [%]	USCS	C [kPa]	ϕ' [°]
BM6	2.75	14	-	21.10	17.60	20.0	9.2%	44.8%	46.0%						
BM6	4.00	40	-			16.0	11.8%	54.5%	33.7%	21.3	15.8	5.5	SC		
BM6	3.75	31	-	19.90	15.70	26.0	1.8%	45.1%	53.1%						
BM6	4.25	28	-			30.0								15	18.6
SM2	1.25	6	-			33.0									
SM2	1.75	6	-	16.50	12.20	35.0	1.0%	24.1%	74.9%						
SM2	2.75	7	-			40.0				46	23	23	CL		
SM2	3.25	14	-	15.40	10.90	41.0									
SM2	3.75	24	-			32.0								7	29.9
SM2	4.25	10	-			39.0				48	27	21	CL		
SM2	4.75	8	-			40.0	0.0%	18.8%	81.2%					14	27.7
SM2	5.25	3	-	17.60	12.70	39.0				38	26	12	ML		
SM2	5.75	5	6.5			39.0									
SM2	6.25	7	6.5			35.0				40.7	24	16.7	CL	13	34.9

Fuente: Geocing SAS.

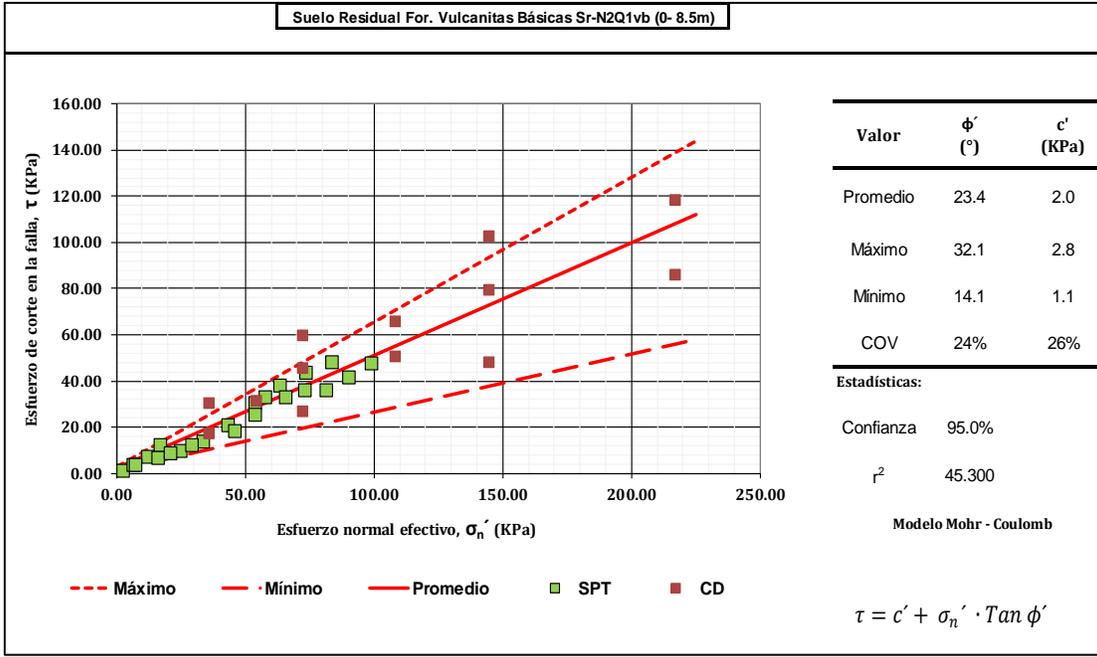
Con el fin de ampliar el rango de valores que se tienen para la caracterización geotécnica, a continuación se presenta para el estrato de Suelo residual la envolvente de resistencia en la cual se determinan los esfuerzos normales y cortantes, y mediante la construcción de una regresión lineal, y es posible estimar los parámetros ϕ' 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 Tabla 54 muestra el resultado de la aplicación de esta metodología.

Tabla 54. Correlación mediante el SPT para la estimación de los parámetros de resistencia de Suelo residual Sr- N2Q1vb



En vista que los materiales tienen ensayos de resistencia tipo Corte directo se realiza junto con los resultados de correlación con el SPT el cálculo de parejas de valores, las cuales se ajustaron a 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, los resultados se presentan en la tabla a continuación:

Tabla 55. Correlación mediante el SPT y Cortes directos para la estimación de los parámetros de resistencia de Suelo residual



10.2.2 Roca Dura formación vulcanitas básicas Rd-N2Q1vb

De acuerdo al perfil de campo, línea de refracción sísmica y la visita técnica realizada al área de estudio se identifica e nivel de roca dura asociado a la Formación Vulcanitas Básicas a partir de una profundidad de 8.5 m. 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 feldspatos 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 127 permite ver lo descrito. De acuerdo con la exploración geotécnica y los resultados obtenidos en los Sondeo mecánico SM2 y SM3, este material se presenta a partir de 8.5 m de profundidad.



Ilustración 127. Tobas volcánicas
Fuente: Geocing SAS.

A continuación se estima el comportamiento y caracterización del macizo rocosos en lo que concierne a sus propiedades de resistencia, teniendo en cuenta 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 será necesario medir o estimar el estado tensional in-situ y en su caso las alteraciones producidas en el macizo por otras excavaciones. Se puede identificar a continuación en la Ilustración 128 a Ilustración 129 el perfil de fracturamiento del afloramiento de la formación Vulcanitas Básicas.



Ilustración 128. Vista del afloramiento de la Formación Vulcanitas Básicas.
Fuente: Geocing SAS.



Ilustración 129. Vista del afloramiento de la Formación Vulcanitas Básicas.
Fuente: Geocing SAS.

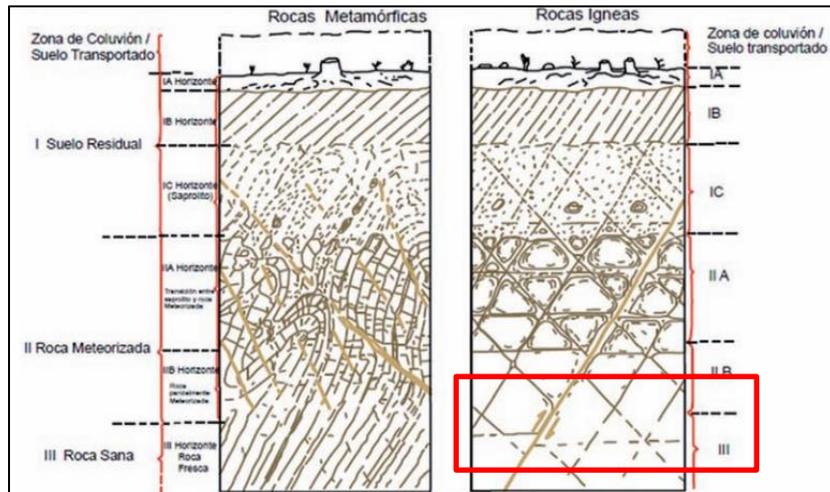


Ilustración 130. Perfil de meteorización típica de rocas metamórficas e ígneas intrusivas
Fuente: Deer y Patton, 1971.

De acuerdo a la descripción en campo, de cada uno de los afloramientos y así como la reconocimiento de la afectación de la falla inversa Granadillo – Timaná, presenta desplazamiento de rumbo dextral con componente vertical mínimo de 1.20 m en la parte este del basamento de la cuenca de Pitalito, la cual permite estimar el perfil de meteorización del nivel, el cual corresponde al Horizonte IIA- Zona superior, que corresponde a Transición entre el Saprolito y la roca meteorizada, demostrado en razón que la transición tiene más del 90% de núcleos de roca del volumen de la transición, son materiales más susceptibles al efecto de la degradación por acción de la

meteorización se pueden encontrar entre las juntas de las mismas fracturas materiales tipo arenas gruesas limpias, sin presencias de agua.

Como parte de cada uno de los recorridos de campo se tomaron seis (6) datos con el Esclerómetro o Martillo Schmidt, los cuales arrojaron medidas de resistencia a la compresión simple de 40, 35, 42, 40, 35 y 40 MPa resultados con los cuales se pretende estimar la resistencia mecánica del horizonte de roca expuesto en un tramo vial, en la Ilustración 106, se puede visualizar la tabla de caracterización de cada uno de los parámetros de clasificación:

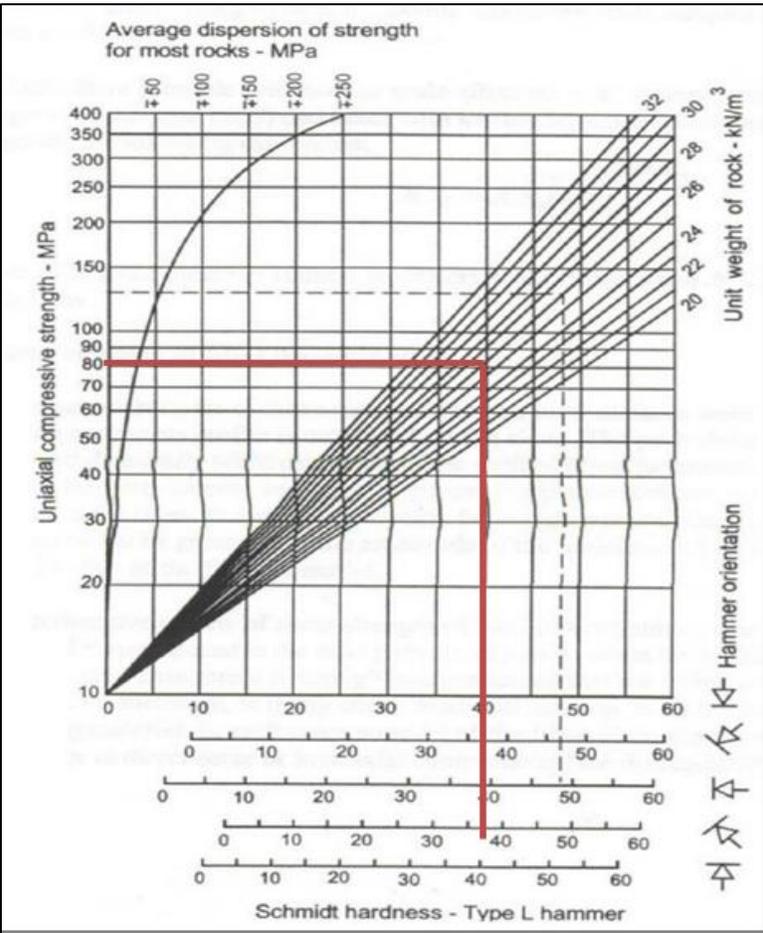


Ilustración 131 Estimación de la resistencia a la compresión Simple Esclerómetro de la For. Vulcanitas Básicas.
Fuente: Geocing SAS.

Por las características de los materiales se lograron obtener muestras inalteradas las cuales se le practicaron ensayos de resistencia en laboratorio, como carga puntual y compresión simple con los resultados de los mismos se realiza un promedio aritmético para estimar la resistencia a la compresión simple del núcleo de roca y proseguir con la

respectiva caracterización del macizo rocoso. En la siguiente tabla se presentan los resultados de los ensayos de resistencia:

Tabla 56. Parámetros de resistencia para la roca dura Rd-N2Q1vb

RESUMEN EXPLORACIÓN, ENSAYOS DE CAMPO Y LABORATORIO - AVR SAN AGUSTÍN, HUILA															
MUESTRA				Peso Unitario			Granulometría			Límites Atterberg			Compresión Simple		
SOND EO	Prof. prom . [m]	Nc 45	N.F (m)	Y _t [kN/m ³]	Y _d [kN/m ³]	ω _n [%]	Grava s [%]	Arena s [%]	Finos [%]	LL [%]	LP [%]	IP [%]	USC S	qu [kPa]	Cu [kPa]
SM2	7.65	50	6.5	17.90	13.80	30.0									
SM2	8.15		6.5			32.0	0.0%	36.0%	64.0%				CL		
SM2	9.25		6.5			30.0	0.0%	82.5%	17.5%	0.0%	N.P.				
SM2	11.50	NQ	12.6			11.0							Roca		
SM2	13.00	NQ	12.6			16.8							Roca		
SM2	15.00	NQ	12.6	19.60	16.70	16.5							Roca	60.33	30.17
SM3	5.75	NQ	-			8.0									
SM3	8.75	NQ	-			10.0									
SM3	11.50	NQ	12.6			11.0							Roca		
SM3	13.00	NQ	12.6	19.40	16.60	16.8							Roca	151.23	75.62
SM3	15.00	NQ	12.6										Roca		

Fuente: Geocing SAS.

Parámetros de clasificación	Clasificación	Puntuación
1 Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)		
Ensayo de carga puntual	No aplica	0
Compresión simple	25-5	2
2 Índice RQD de la roca		
RQD (%)	50-75	13
3 Separación entre diaclasas		
Separación entre diaclasas (m)	0.8-2	15
4 Estado de las discontinuidades		
Longitud de la discontinuidad (m)	3-10	2
Abertura (mm)	< 0,1	5
Rugosidad	Plugosa	5
Relleño	Ninguno	6
Alteraciones	Ligeramente Alterada	5
5 Agua freática		
Caudal por 10 m de tunel	< 10 l/min	10
Presión agua/Tensión principal mayor	0-0,1	10
Estado general	Ligeramente húmedo	10
Corrección por discontinuidades		
Túneles	No aplica	0
Cimentaciones	Favorable	-2
Taludes	Muy Favorable	0
Puntuación		81

CLASIFICACIÓN RMR				
Calidad	Clase	Tiempo/Longitud de sostenimiento	Cohesión [Kg/cm ²]	Angulo de rozamiento [°]
Muy buena	I	10 años con 15 m de vano	> 4	> 45

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	Buz. 45-90	Buz. 20-45	
Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable
				Media
				Desfavorable

Ilustración 132. Clasificación geomecánica RMR, Bieniawski, 1998 de la For. Vulcanitas Básicas.

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 57. Parámetros de clasificación geomecánica RMR Bieniawski, 1989.

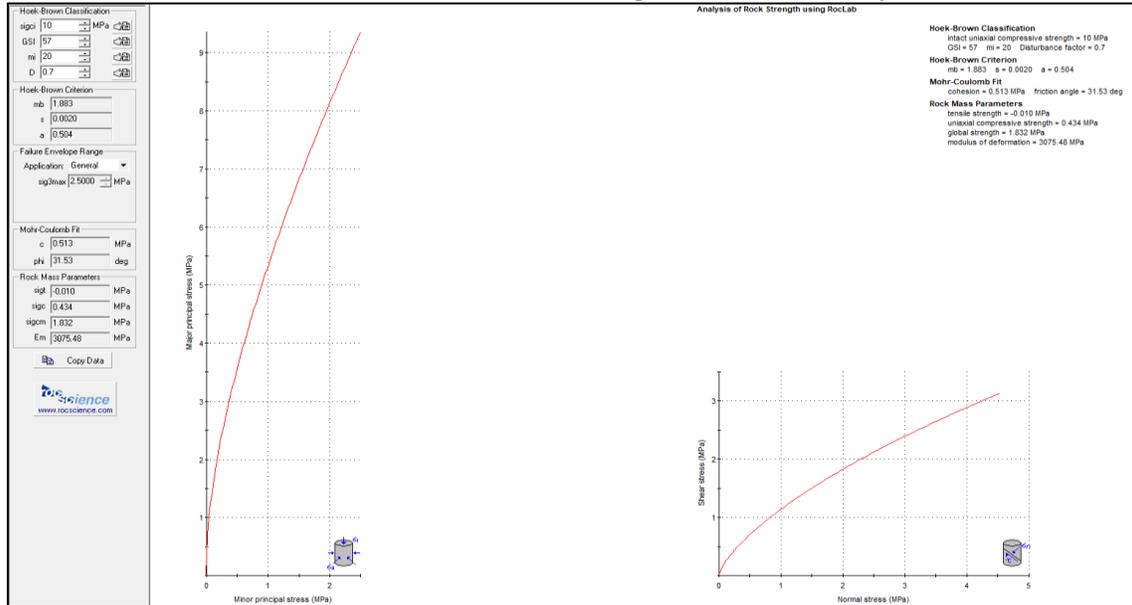
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	> 10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (MPa)			
		Compresión simple	> 250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	< 1	
Puntuación			15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD		90 %-100 %	75 %-90 %	50 %-75 %	25 %-50 %	< 25 %			
	Puntuación		20	17	13	6	3			
3	Separación entre diaclasas		> 2 m	0,6-2 m	0,2-0,6 m	0,06-0,2 m	< 0,06 m			
	Puntuación		20	15	10	8	5			
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	> 20 m			
		Puntuación		6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1-1,0 mm	1-5 mm	> 5 mm			
		Puntuación		6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave			
		Puntuación		6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm			
		Puntuación		6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta			
		Puntuación		6	5	3	1	0		
5	Agua freática	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min			
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	> 0,5			
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo			
		Puntuación		15	10	7	4	0		
Corrección por la orientación de las discontinuidades										
Dirección y buzamiento		Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables				
Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12				
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25				
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60				
Clasificación										
Clase	I	II	III	IV	V					
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala					
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	< 20					

Fuente: Geocing SAS.

Con el fin de afinar los valores de los parámetros de resistencia y caracterización del macizo rocoso se realizó el análisis para la obtención de los mismos por medio del

software RocLab, de cual se obtiene la siguiente salida con los respectivos parámetros de resistencia del macizo rocoso.

Tabla 58. Parámetros de clasificación geomecánica Hoek y Brown.



Fuente: Geocing SAS.

6.2.2 Suelo residual formación Guacacallo Sr-N2g

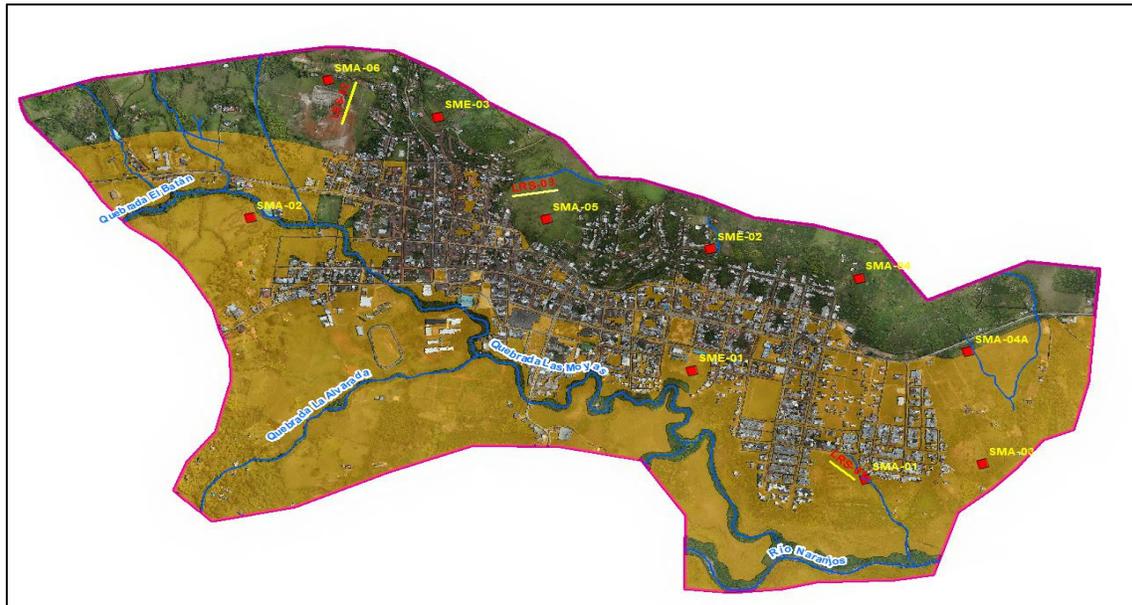


Ilustración 133 Vista de la unidad geológica suelo residual Sr-N2g.

Fuente: Geocing SAS.

El suelo residual Sr-N2g, se encuentra localizado en la zona de ladera hacia el sur del casco urbano, ver Ilustración 133. Textualmente se identifican materiales fino granulares que corresponden a suelos arcillosos que varían localmente a areno – limoso, y que contiene algunos bloques muy meteorizados, de origen ígneo extrusivo de coloración café – rojiza. En el costado oriental de la pista de atletismo del colegio del costado sur – occidental del casco urbano, se observan bloques semiredondeados, con diámetro cercano al medio metro, muy meteorizados. De acuerdo con la exploración geotécnica y los resultados obtenidos en los barrenos manuales BM1, BM2, BM3 y Sondeo mecánico SM1, el espesor aproximado es de 5.0 m. La LRS 01, reporta un espesor de 8 m de este material, con Vs menor de 450 m/s.

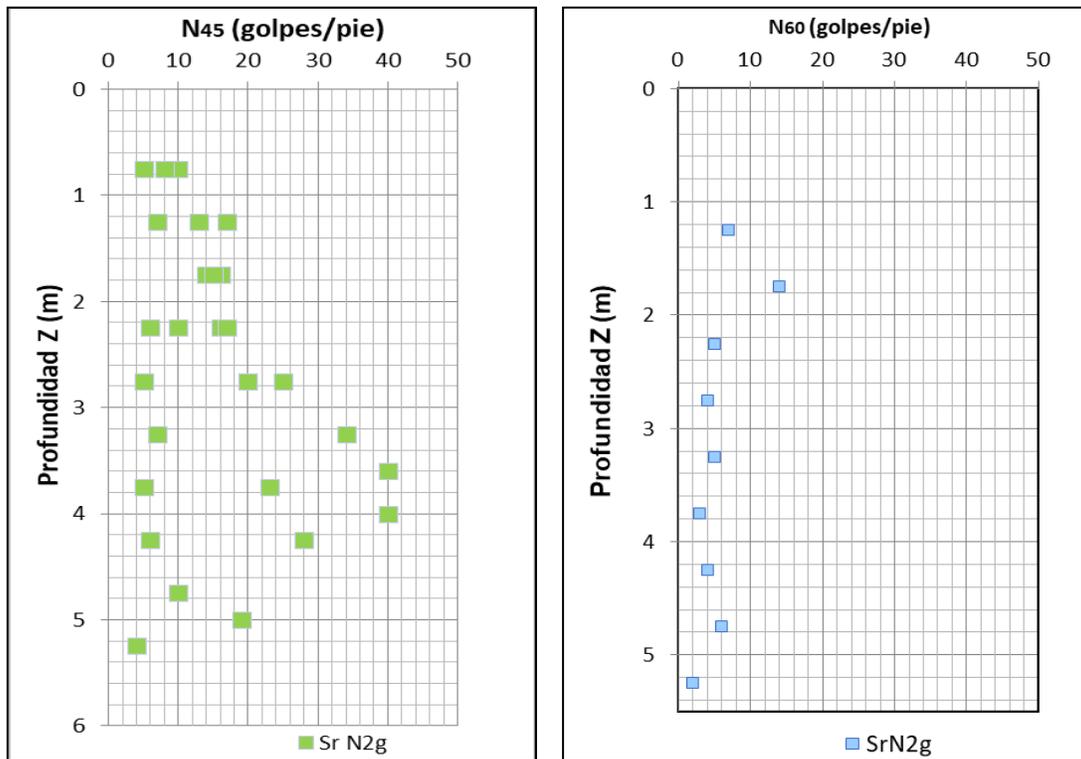


Ilustración 134. Perfil de campo, reporte de N45 con N60.
Fuente: Geocing SAS

Como se puede ver en la Ilustración 134 se presentan características de consistencia compacta homogénea del material a lo largo de todo su espesor, lo que se infiere que poca variabilidad vertical e las características físicas y de resistencia. Las exploraciones directas no reportaron la presencia del nivel freático. Según la información presentada en la Ilustración 135 se observa que los materiales que componen el Suelo residual tienen valores de límite plásticos promedio de 28,46%, la humedad natural oscila entre 41 y 66%, 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 indicativo de los materiales arcillosos. El límite líquido oscila entre 30% y 43%, es decir que los materiales en este rango de profundidad tienen plasticidad media. El índice de Contracción evaluar el comportamiento de un depósito de suelo si este se encuentra alterado., para este material el promedio es 0,67 clasificando el material como plástico.

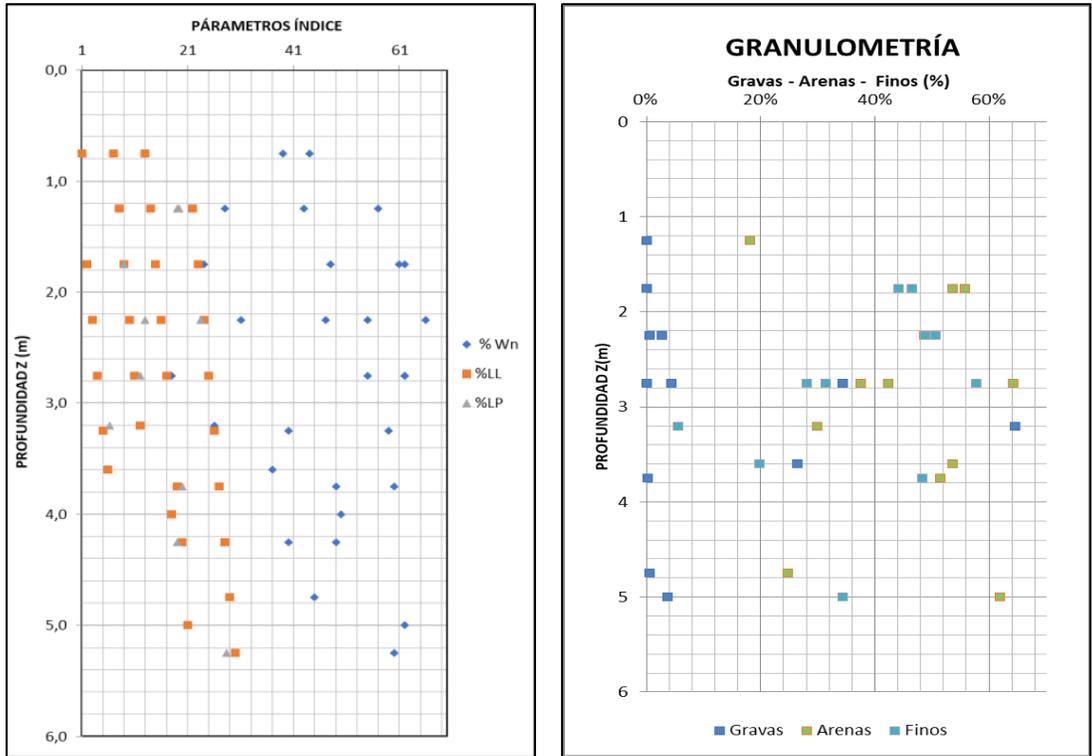


Ilustración 135. Variación de las propiedades índices Wn, LL, LP e IP en profundidad.
Fuente: Geocing SAS.

Según los resultados de granulometría se evidencia 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 permiten clasificar texturalmente los materiales tipo Arcilla areno-limosa café ML, con contenido de fracción arenosa importante, la cual varía entre 34% y 45%, y un contenido de fracción gruesa menor a 10%, en la Ilustración 135 se pueden observar los comportamientos en función de la distribución granulométrica. Posteriormente en la Tabla 59, se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de Corte directo drenado y compresión inconfiada los cuales que permiten la caracterización de resistencia.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

Tabla 59. Parámetros de resistencia para el suelo Residual Sr-N2g.

RESUMEN EXPLORACIÓN, ENSAYOS DE CAMPO Y LABORATORIO - AVR SAN AGUSTÍN, HUILA																	
MUESTRA				Peso Unitario			Granulometría			Límites Atterberg			Compresión Simple		Corte directo Drenado		
SOND EO	Prof. prom. [m]	Nc 45	N.F (m)	γ_t [kN/m ³]	γ_d [kN/m ³]	ω_n [%]	Gravas [%]	Arenas [%]	Finos [%]	LL [%]	LP [%]	IP [%]	USCS	qu [kPa]	Cu [kPa]	C [kPa]	ϕ' [°]
BM1	0.75	10	-			39.0											
BM1	1.75	14	-	16.3	10.2	61.0	0.0%	55.9%	44.1%	45	36	9	SM				
BM1	2.25	16	-			55.0	2.6%	48.6%	48.8%								
BM1	2.75	25	-	16.4	10.1	62.0	4.4%	64.2%	31.4%								
BM1	3.25	34	-			59.0				N.L.	N.P.					11	34.9
BM1	3.60	40	-	17.9	13.1	37.0	26.5%	53.7%	19.8%								
BM2	0.75	8	-														
BM2	1.25	17		16.60	10.55	57.0				58	38.7	19.3	MH				
BM2	1.75	16	-			62.0	0.0%	53.6%	46.4%								
BM2	2.25	10	-			66.0	0.5%	48.8%	50.7%	47	23.6	23.4	CL				
BM2	2.75	20	-			62.0										18	33.9
BM2	3.20	67	-	17.97	14.26	26.0	64.5%	29.9%	5.6%	38.3	32.1	6.2	GM				
BM3	0.75	5	-			44.0											
BM3	1.25	13	-			43.0	0.0%	18.1%	81.9%	49.0	30.0	19.0	ML				
BM3	1.75	16	-	17.80	12.00	48.0								137	68	13	13.2
BM3	2.25	17	-	16.80	11.50	47.0											
BM3	2.75	20	-			55.0	0.0%	42.3%	57.7%	48.0	36.0	12.0	ML				
BM3	4.00	40	-	16.80	11.20	50.0											
BM3	3.75	23	-			60.0	0.2%	51.5%	48.3%								
BM3	4.25	28	-	16.90	11.40	49.0				53.0	34.0	19.0	MH				



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



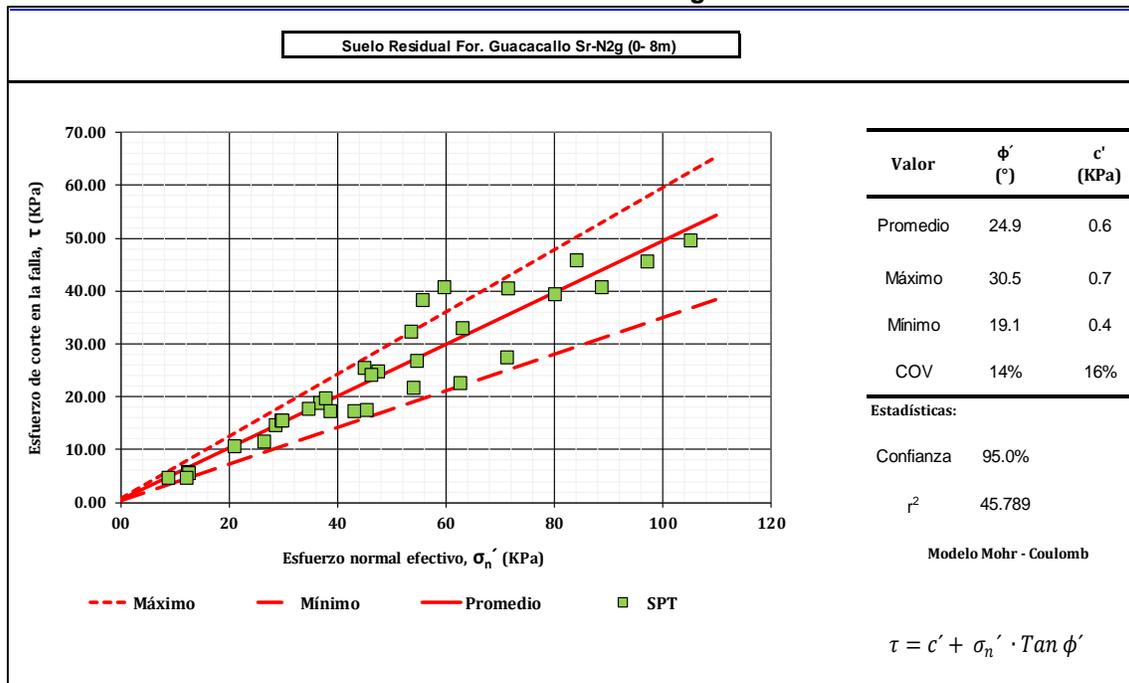
INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

RESUMEN EXPLORACIÓN, ENSAYOS DE CAMPO Y LABORATORIO - AVR SAN AGUSTÍN, HUILA																	
MUESTRA				Peso Unitario		ω_n [%]	Granulometría			Límites Atterberg			USC S	Compresión Simple		Corte directo Drenado	
SOND EO	Prof. prom. [m]	Nc 45	N.F (m)	γ_t [kN/m ³]	γ_d [kN/m ³]		Gravas [%]	Arenas [%]	Finos [%]	LL [%]	LP [%]	IP [%]		qu [kPa]	Cu [kPa]	C [kPa]	ϕ' [°]
BM3	5.00	19	-			62.0	3.8%	61.9%	34.3%							14	29.2
SM1	1.25	7	-			28.0											
SM1	1.75	15	-	16.50	13.40	24.0											
SM1	2.25	6	-			31.0				36	23	13	CL				
SM1	2.75	5	-			18.0	34.4%	37.5%	28.0%							12	34.4
SM1	3.25	7	-			40.0											
SM1	3.75	5	-	17.40	11.60	49.0				48	28	20	ML				
SM1	4.25	6	-			40.0											
SM1	4.75	10	-			45.0	0.5%	24.8%	74.7%								
SM1	5.25	4	-			60.0				57	28.7	28.3	CH				
SM1	5.75	6	-			56.0										19	25.8
SM1	6.25	6	-	16.10	9.70	67.0	0.0%	25.5%	74.5%								
SM1	7.25	5	-	15.70	9.70	62.0											
SM1	8.25	55	-			32.0											

Fuente: Geocing SAS.

Dado que se tiene una secuencia de reportes de Numero de golpes, a continuación se presenta para el estrato de Suelo residual la envolvente de resistencia en la cual se determinan los esfuerzos normales y cortantes, y mediante la construcción de una regresión lineal, y es posible estimar los parámetros ϕ' 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 Tabla 60 muestra el resultado de la aplicación de esta metodología.

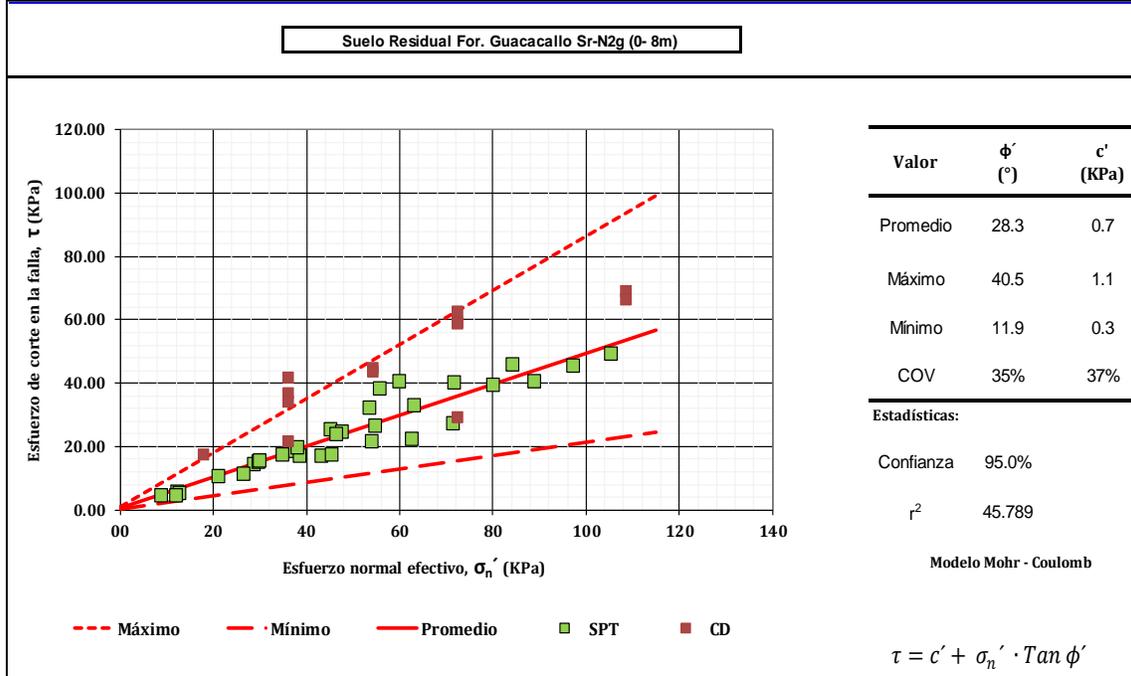
Tabla 60. Correlación mediante el SPT para la estimación de los parámetros de resistencia de Suelo residual Sr-N2g.



Fuente: Geocing SAS.

En vista que los materiales tienen ensayos de resistencia tipo Corte directo se realiza junto con los resultados de correlación con el SPT el cálculo de parejas de valores, las cuales se ajustaron a 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, los resultados se presentan en la tabla a continuación:

Tabla 61. Correlación mediante el SPT y Cortes Directos para la estimación de los parámetros de resistencia de Suelo residual Sr-N2g.



Fuente: Geocing SAS.

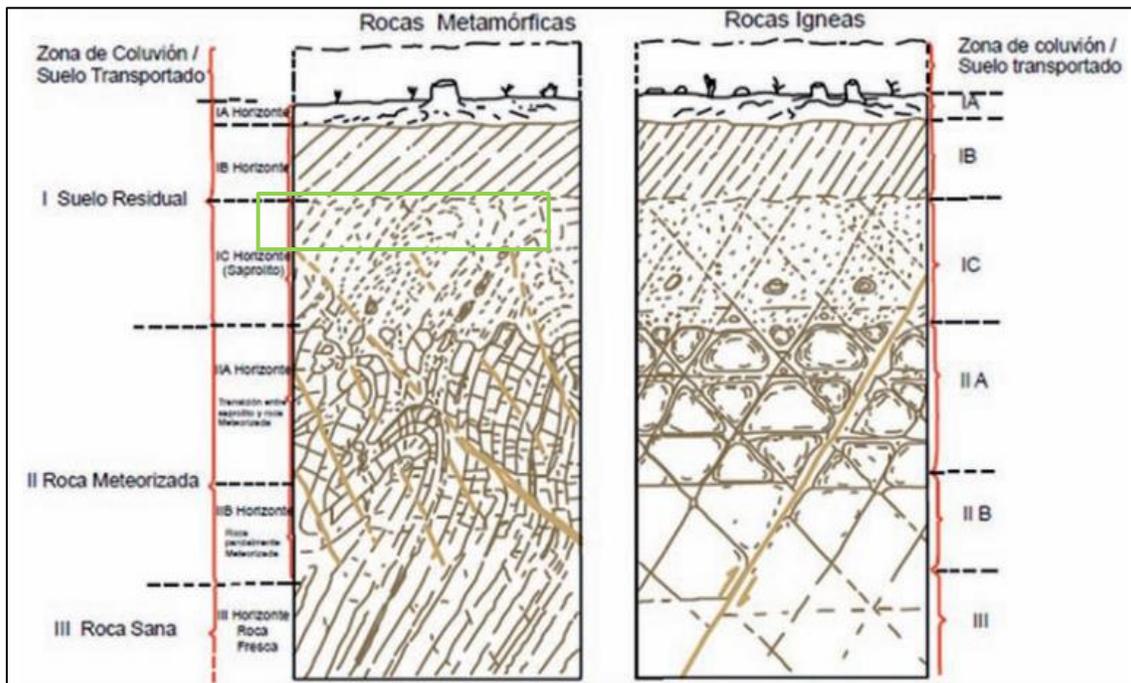


Ilustración 136. Perfil de meteorización típicos de rocas metamórficas e ígneas intrusivas, Fuente: Deer y Patton, 1971.

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

De acuerdo a los resultados de los ensayos de clasificación, y al reconocimiento visual microscópico del afloramiento, y a la estimación de los parámetros de resistencia es posible clasificar el suelo como Horizonte IB –Suelo residual, es la zona de transición del suelo depositado del Horizonte A. Este horizonte mantiene algunos indicativos de la estructura de la roca parental. Ver

Ilustración 129.

6.2.3 Roca intermedia formación Guacacallo Ri-N2g

Por la compacidad del sustrato rocoso, durante la ejecución del ensayo SPT además de la inspección visual y el resultado de la línea de refracción sísmica, se identificó a partir de 8.5 m de profundidad un nivel de compacidad densa, asociado al perfil de meteorización de la Formación Guacacallos, Textualmente se identifican materiales de origen ígneo extrusivo descritos como Toba aglomerática, conformada por fragmentos gruesos alterados, al parecer de dacitas y riolitas, en una matriz de ceniza y lapilli, compuesta de cuarzo, plagioclasa y biotita.

De acuerdo con la exploración geotécnica y los resultados obtenidos en los Sondeo mecánico SM1, este material se presenta a partir de 8.5 m hasta 10.50 m de profundidad. La LRS 01, reporta entre 8 y 20 metros este material, con Vs de 650 m/s.

A partir de los resultados de campo se determina las características físicas y de resistencia del nivel roca Intermedia, inicialmente existe la transición entre el suelo residual y el nivel rocoso, por lo cual se reportan Numero de golpes 45 menores a 10, se podía asociar esta transición a una zona de probabilidad de falla, prosigue ya el material compacto registrando Numero de golpes 45 > 50 y rechazo, pero con recuperación de núcleos con longitudes de 40 cm, lo cual indica una resistencia media (Ver Ilustración 137). Por la naturaleza de la roca intermedia no fue posible obtener valores de límites de Atterberg, presentan plasticidad baja a nula, con valores de humedad natural oscila entre 32% y 67%.

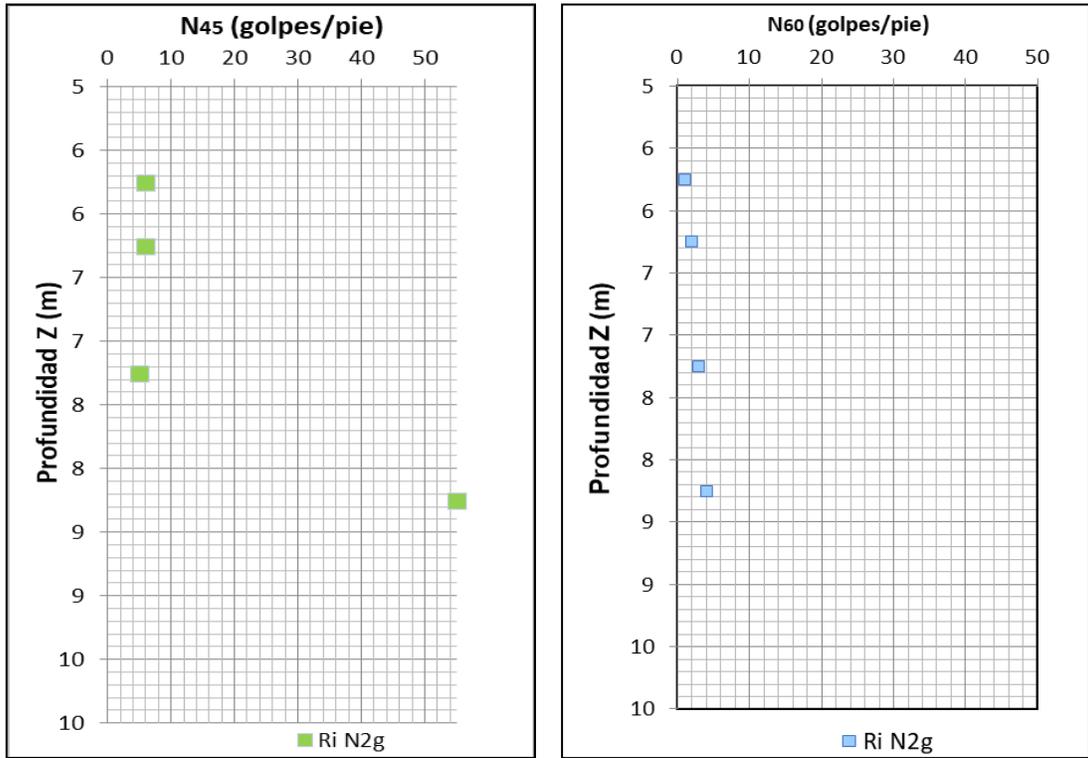


Ilustración 137. Perfil de campo, reporte de N45 con N60.
Fuente: Geocing SAS.

Según los resultados de granulometría se evidencia la heterogeneidad en los materiales que constituyen la transición hacia el nivel rocoso, se puede observar que los fragmentos de roca se encuentran embebidos en una matriz limo-arenosa de baja plasticidad, dada la distribución granulométrica se clasifica texturalmente la matriz como Arcilla-arenoso café CL. Posteriormente en la Tabla 62, se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de Corte directo drenado.

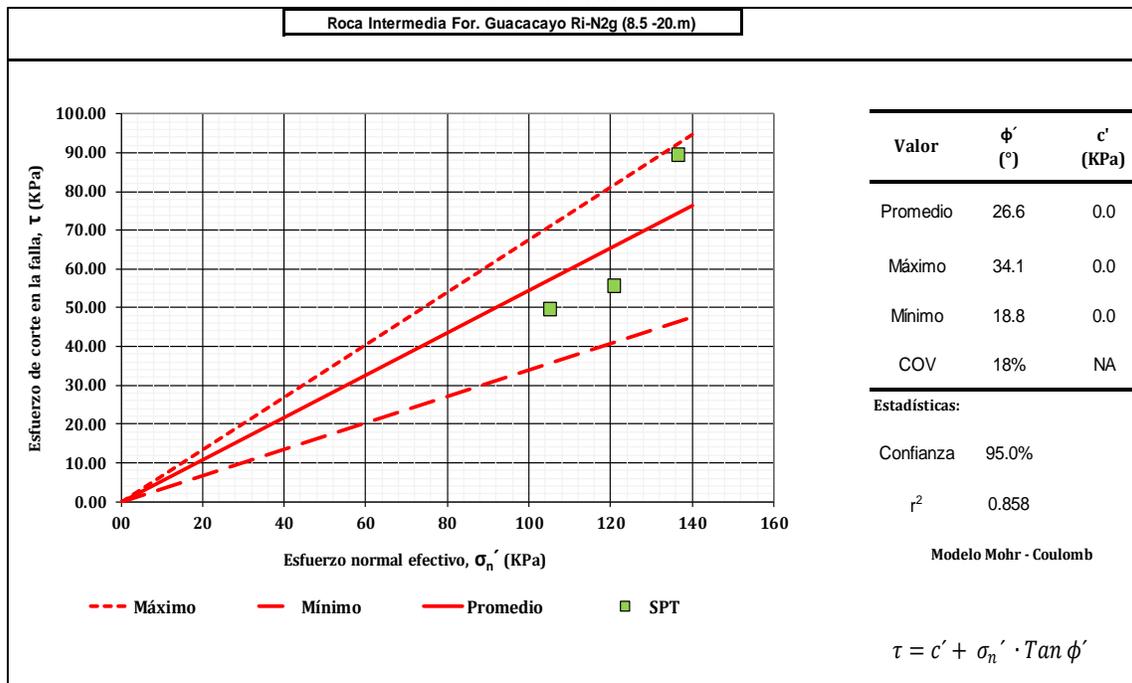
Tabla 62. Parámetros de resistencia para la roca intermedia Ri-N2g.

Propiedades físicas													
MUESTRA				Peso Unitario			Granulometría			Límites Atterberg			
SONDEO	Prof. prom. [m]	Nc 45	N.F (m)	Y _t [kN/m ³]	Y _d [kN/m ³]	ω _n [%]	Gravas	Arenas	Finos	LL [%]	LP [%]	IP [%]	USCS
							[%]	[%]	[%]				
SM1	6.25	6	-	16.1	9.7	67	0.0%	25.5%	74.5%				CL
SM1	7.25	5	-	15.7	9.7	62							
SM1	8.25	55	-			32							

Fuente: Geocing SAS.

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 determinan los esfuerzos normales y cortantes, y mediante la construcción de una regresión lineal, y es posible estimar los parámetros ϕ' 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 Tabla 63 muestra el resultado de la aplicación de esta metodología.

Tabla 63. Correlación mediante el SPT para la estimación de los parámetros de resistencia de Roca Intermedia.



Fuente: Geocing SAS.

6.2.4 Perfil Geológico- geotécnico San Agustín

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:



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

Tabla 64. Perfil Geotécnico del área de estudio.

Unidad	Profundidad (m)		SUCS	N45	N60	Nf (m)	PARÁMETROS EFECTIVOS									Parámetros RMR (Promedio)		Parámetros Hooke and Brown		Parámetros de Análisis	
							COMPRESIÓN INCONFINADA EN ROCA (Promedio)			CORTE DIRECTO (Promedio)		A.J.G 1998									
							qu (kPa)	Cu (kPa)	Y (kN/m ³)	C' (kPa)	Φ' (°)	C' (kPa)	Φ' (°)	C' (kPa)	Φ' (°)	C' (kPa)	Φ' (°)	C' (kPa)	Φ' (°)	C' (kPa)	Φ' (°)
Sr- N2Q1vb	0	8.5	ML-CL	19	14	6.5				12.5	25.125	0	26.1					2	23.4		
Ri- N2Q1vb	8.5	11	SM-CL	49	36	6.5	60.33	30.17	19.6												
Rd- N2Q1vb		>11	ROCA	NQ		6.5	151.23	75.62	19.4					40	45	51.3	31.53				
Sr- N2g	0	8	ML	19	13	-				14.5	28.57	0.6	24.9					0.7	28.3		
Ri- N2g		8	ROCA	18	10	-	137	68.5	25.6			0	26.6								

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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

11 AMENAZA

11.1 AMENAZA POR MOVIMIENTO EN MASA

Debido a la magnitud y complejidad del área de estudio, para el análisis de estabilidad se realizaron dos procedimientos, desde lo general hasta el particular, de manera general se inicia a realizar el análisis mediante el método de **Talud Infinito (General)**, para zonificación de zonas críticas y posteriormente análisis de secciones transversales para análisis de secciones transversales con el método de **Equilibrio Límite (Particular)**.

Con el objetivo de desarrollar la amenaza por movimientos en masa o zona de pendiente superior a 5° para el casco urbano y áreas de expansión se emplearon dos métodos: talud infinito y los análisis de estabilidad de la zona de estudio por medio del programa Slide. El primer método, Talud Infinito, generó un mapa de amenaza con la información base de la zona de estudio. Con este insumo y análisis geotécnico se identificaron las zonas críticas en las cuales se requiere realizar para hacer estudios detallados los cuales se desarrollan por medio del software Slide. Se hace la aclaración que tanto el método de talud infinito como el método bidimensional utilizando el software Slide, son modelos probabilísticos que implementan lo mencionado en las siguientes secciones.

Para toda el área de estudio, identificando las zonas más críticas, posteriormente se analizó con ayuda del software ArcGis 10.2 una combinación de mapas de pendiente, aspectos y hillshade y orientación de laderas las cuales permitieron representar; la combinación de estos parámetros (pendiente y orientación) generar un mapa cuya representación gráfica mejora la percepción de la morfología del territorio, Irregularidades territoriales, accidentes geográficos o infraestructuras antrópicas quedan al descubierto al emplear ambos Modelos Digitales de Terreno de forma combinada, generado el Mapa de Laderas. A continuación, se explica la metodología utilizada para el análisis de talud infinito para el análisis de la amenaza general y la metodología usada para el análisis de los perfiles más críticos y representativos de la zona de estudio por medio de Equilibrio Límite para el análisis de la amenaza detallada.

11.1.1 Amenaza general

- **Método de Talud Infinito** Se denomina talud infinito al material inestable que posee una capa de espesor constante y pequeña respecto a la altura del talud, y así mismo, se supone que presenta una continuidad infinita lateralmente (ver Ilustración 138). En estas condiciones, la mayoría de la masa del talud se mueve aproximadamente en

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

forma paralela a la superficie topográfica. Esta inestabilidad se da generalmente en materiales muy poco o nada cohesivos y se encuentra dada por algún movimiento geológico como una capa de roca (Santoso, Phoon, Asce, & Quek, 2009).

El método del talud infinito supone que cualquier tamaño de la columna de suelo es representativo de todo el largo del talud con una capa delgada de suelo. Adicionalmente, el método supone un suelo isotrópico y homogéneo (Ozelim, Cavalcante, Pacheco de Assis, & Ribeiro, 2013).

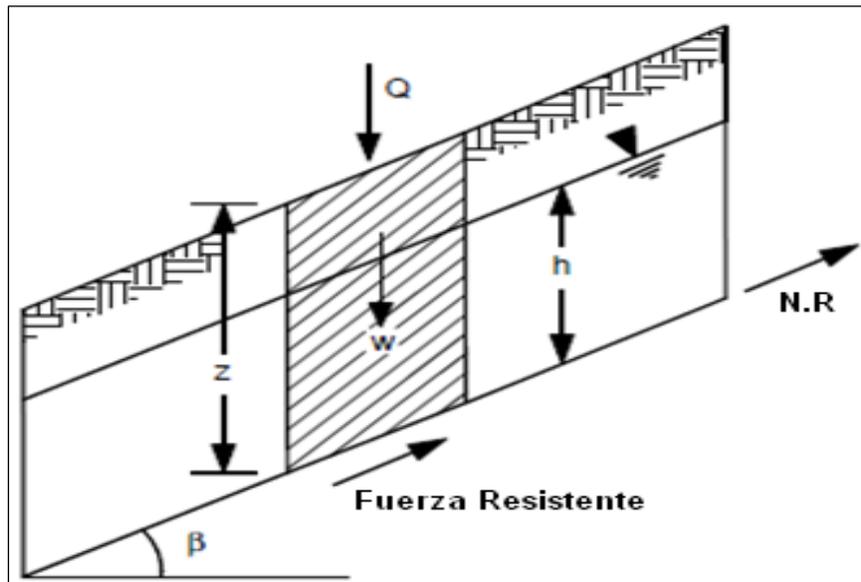


Ilustración 138. Talud Infinito. Donde z = altura de la masa deslizante (m), h = altura del agua subterránea durante el movimiento (m), β = ángulo de inclinación con la horizontal (*grados*), γ = peso suelo específico del suelo (KN/m^3), Φ = ángulo de fricción (*grados*), C = cohesión (KN/m^2), Q = sobrecarga (KN/m^2). N.R = Nivel de Referencia.

Fuente: (Suarez Díaz, Deslizamientos., 2009b)

Para el método del talud infinito, los efectos de borde son despreciables y el factor de seguridad se puede calcular a partir de la unidad de área con base en el criterio Mohr-Coulomb. Esto se debe a que *el mecanismo de falla no es muy profundo y el talud es uniforme y relativamente largo* (Suarez Díaz, Deslizamientos. , 2009). Teniendo en cuenta para el análisis la siguiente ecuación:

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

$$F.S = \frac{c + (\gamma_s z_w - \gamma_w h) \cos^2 \beta \tan \Phi'}{\gamma z \sin \beta \cos \beta}$$

Donde

- c , cohesión del suelo (KN/m³)
- γ_s , peso unitario total del suelo (KN/m³)
- γ_w , peso específico del agua (KN/m³)
- h , espesor del estrato (m)
- z_w , nivel freático (m)
- β , pendiente del talud (°)
- Φ' , ángulo de fricción (°)

• **Cohesión de las raíces**

Como factor intrínseco se consideró el efecto de la vegetación, el cual no se incluye en la definición del factor de seguridad mostrada. La vegetación interpreta un rol muy importante dentro de la estabilidad de taludes debido a que las raíces refuerzan la estructura del suelo y pueden actuar como anclajes en las discontinuidades ya que estabilizan los arcos del suelo que se extienden a través del talud (Suarez Díaz, Deslizamientos., 2009b). Por lo tanto, el efecto de la vegetación se incluye como una fuerza de cohesión adicional dentro del factor de seguridad. Existen ejemplos ilustrativos que enseñan como el efecto de la vegetación aumenta el factor de seguridad (Rickson & Morgan, 2005). Dependiendo de la clase de vegetación y de la profundidad del tipo de falla el efecto que tendrá la cohesión aportada por las raíces sobre el factor de seguridad será o no de mayor magnitud. Los valores de la cohesión debido a las raíces se encuentran en un rango de 6 a 23 kPa en bosques industriales, mientras que varían entre 25 a 94 kPa en bosques naturales (Schmidt, y otros, 2001).

• **Factores Detonantes**

A continuación, se relacionan los modos o forma de incorporación de los factores intrínsecos y detonantes en los análisis de estabilidad de acuerdo con la Tabla 65. Aclarando que, para este análisis los factores detonantes más importante son el Sismo y la Lluvia.

Tabla 65. Descripción de los Factores detonantes e intrínsecos evaluados para la amenaza por movimientos en masa.

Factores		Modos de incorporación en los análisis
Intrínsecos	Relieve (pendiente, geometría)	Definición de la geometría de las secciones de análisis.
	Litología (composición y textura)	Formulación modelo geológico.

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

Factores		Modos de incorporación en los análisis
	Estructura geológica y estado	Formulación modelo geológico y modelo geológico - geotécnico.
	Propiedades geomecánicas de los materiales.	Definición de propiedades esfuerzo-deformación de los materiales especificados en los modelos de análisis.
	Deforestación	Condiciones actuales que definen las características de infiltración y por ende la respuesta hidrogeológica del subsuelo.
	Meteorización	Presenta relación con las propiedades de resistencia de los materiales y por ende en su definición.
Detonantes	Precipitación y aportes de agua	Definición de las condiciones de flujo en el subsuelo.
	Cambio en las condiciones hidrogeológicas.	Definición de niveles de agua para los análisis.
	Aplicación de cargas dinámicas (sismos) o estáticas (sobrecargas).	Incorporación de cargas sísmicas y sobrecargas por edificaciones o tráfico.
	Cambios morfológicos y de geometría de las laderas	Perfilado y adecuación de geometría de taludes en los diseños de la solución.
	Erosión o socavación de la pata del talud.	Evaluación de escenarios con cambio de perfiles por efectos de socavación cuando se presente.
	Acciones climáticas (heladas, sequías)	Estos efectos no son preponderantes para las condiciones locales, por lo tanto no fueron tenidos en cuenta en los análisis.

Fuente: Geocing SAS.

• Sismo

El sismo es un factor detonante en cuanto a que la fuerza actuante que 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 mediante el enfoque de análisis probabilístico, el cual involucró la teoría de los valores extremos y el uso de las ecuaciones de atenuación Donovan 1, Donovan 2 y MacGuire. Los resultados se analizaron para múltiples periodos de retorno, y se observó que se comportan como una distribución exponencial y tienen valores similares a los registrados por la NSR-10. El parámetro de la aceleración horizontal y su valor calculado para un periodo de retorno de 1000 años se presenta en la Tabla 66. Por lo tanto, se va a considerar el coeficiente de aceleración horizontal (Kh) para que la

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

ecuación del talud infinito incluya las fuerzas pseudoestáticas horizontales producto de un evento sísmico, mientras que asume que las fuerzas verticales son iguales a cero.

Tabla 66. 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.

Parámetro (media)	Aa (g) Tr = 475 años
0.0176	0.215

Fuente: Geocing SAS.

• 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.

Al añadir las dos primeras variables (sismo y cohesión de las raíces), se garantiza que el factor de seguridad considere la actividad sísmica y la cohesión de las raíces de la zona. Al añadir la tercera variable (lluvia), se permite el planteamiento de escenarios de acuerdo con los niveles de agua planteados. La expresión matemática, que, de ahora en adelante, se nombrará ecuación del talud infinito modificada se muestra a continuación:

$$F.S = \frac{c' + h \cdot \tan\phi' \cdot \gamma_s (\cos\beta - K_h \cdot \sin\beta - R_u \cdot \cos\beta)}{\gamma_s \cdot h (\sin\beta + K_h \cdot \cos\beta)}$$

Donde

$c' = c + c_R$, cohesión total (KN/m³)

$R_U = \frac{\gamma_w \cdot z_w}{\gamma_s \cdot h}$, parámetro de la presión de poros

c_R , cohesión de las raíces (KN/m³)

K_h , coeficiente de la aceleración horizontal

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

• Parámetros de análisis

• Altura de la masa deslizante h (m)

Es la altura o espesor del talud medido desde el nivel de referencia hasta el nivel de terreno.

• Altura del agua subterránea medida durante el movimiento z_w (m)

Se define como la altura del nivel freático desde el nivel de referencia hasta el nivel de terreno.

• Ángulo de inclinación con la horizontal β (grados)

Corresponde al ángulo de inclinación del talud con respecto al plano horizontal o pendiente del talud.

• Peso específico del suelo γ (KN/m³)

El peso específico del suelo es el peso húmedo por encima del nivel freático y saturado por debajo de este nivel.

• Ángulo de fricción Φ (grados)

El ángulo de fricción es la representación del coeficiente de rozamiento que actúa de forma tangente a la superficie de falla. El ángulo depende de varios factores de cada tipo de suelo, entre los cuales se encuentran tamaño, forma, distribución y densidad de los granos como los más importantes (Suarez, Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Capítulo 3. Esfuerzo y Resistencia al Cortante, 1998).

• Cohesión del suelo C (KN/m²)

La cohesión es una medida de adherencia entre las partículas de suelo que se utiliza para representar la resistencia al corte (Suarez, Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Capítulo 3. Esfuerzo y Resistencia al Cortante, 1998).

• Método Probabilístico de Análisis de Estabilidad de Taludes

Si se asume que algunas de las anteriores variables son aleatorias (con su respectiva distribución de probabilidad) se pueden considerar como independientes y por lo tanto su convolución (según el modelo de falla) determina la distribución de probabilidad del Factor de Seguridad (FS).

Para resolver el cálculo del factor de seguridad existe el método de Montecarlo el cual da como resultados los primeros dos momentos estadísticos (valores esperado - μ_{FS} -, y la varianza - σ^2_{FS} -) de la distribución del Factor de Seguridad y la probabilidad de falla o de ocurrencia del evento.

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

- **Simulación de Montecarlo**

La simulación de Montecarlo es un método que permite considerar todas las posibles combinaciones, interrelaciones y escenarios que puedan existir en una situación de estudio. La simulación incluye la distribución de probabilidad de las variables críticas de estudio y de esta forma tiene la capacidad de generar un histograma que refleja la proyección y medición de la incertidumbre (Bravo Mendoza & Sánchez Celis, 2012).

El objetivo de la simulación es el de imitar las condiciones reales a partir de la utilización de un método matemático que permita analizar las propiedades y características de la situación estudiada, para así poder conocer los posibles resultados que sirven como base para la toma de decisiones (Bravo Mendoza & Sánchez Celis, 2012).

La simulación trabaja mediante la generación de números aleatorios capaces de generar una trayectoria estocástica en el espacio de las fases de modelo que se tiene en consideración (Feria Domínguez). En otras palabras, esta metodología realiza una simulación de forma reiterativa de los procesos aleatorios que gobiernan el factor de seguridad de la ecuación del talud infinito modificada. Cada simulación proporciona un posible valor del factor de seguridad y si se toman esas simulaciones en un número lo suficientemente grande (10.000 iteraciones), la distribución de los valores del factor de seguridad convergerá hacia su verdadera distribución. Así mismo, se busca trabajar con el mayor número de iteraciones con el fin de que los resultados sean válidos porque se aproximan de la mejor manera a la población y su error de muestreo es el menor posible (Bravo Mendoza & Sánchez Celis, 2012). 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 la sección anterior, donde se planteó la ecuación de talud infinito modificada como el modelo que se quiere evaluar y las variables que influyen en la valoración. 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).

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

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).

Una vez se han establecido las variables críticas, 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 crítica, las cuales describen de forma precisa el comportamiento de dichas variables. Para el caso de la simulación de Montecarlo, se generan números de manera aleatoria de acuerdo con las distribuciones previamente establecidas, las cuales reflejan los rangos de valores en los que podrían caer las variables de interés, sin que se conozca con exactitud el valor final que pueda llegar a tener (Bravo Mendoza & Sánchez Celis, 2012).

• **Distribución de probabilidad de las variables independientes**

Como ya se ha mencionado, el Factor de Seguridad es función de variables independientes que se pueden agrupar en factores intrínsecos del terreno y factores detonantes de un movimiento en masa. El ángulo de inclinación con la horizontal o **pendiente** es una variable estática obtenida del modelo digital de elevación del terreno, la variación de pendiente en el área de estudio se puede ver en el Mapa de Pendientes.

El coeficiente de la aceleración horizontal se distribuye según la familia exponencial perteneciente a la distribución Pareto generalizada (ver Tabla 67). Esta distribución modela los máximos anuales de las aceleraciones horizontales provenientes del inventario histórico de sismos para Colombia. Una vez realizadas las pruebas de calibración de los parámetros del modelo se decidió truncar la distribución exponencial con el valor de la aceleración horizontal calculada para un periodo de retorno de 475 años con el fin de mantener los valores aleatorios dentro del rango de posibles valores esperados para la zona.

Tabla 67. Distribuciones de Probabilidad y parámetros de las variables aleatorias (coeficiente de aceleración horizontal y nivel de agua) de la ecuación de talud infinito modificada.

Variable		Distribución	Parámetros
Coeficiente de aceleración horizontal	Kh	Exponencial	Lambda
Nivel de Agua	zw (m)	Constante	0, 0.25h, 0.5h, 0.75h, h

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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

Para fines de este estudio, se le asignó a las unidades geológicas unas variables intrínsecas numéricas de altura (espesor del suelo), peso específico del suelo, ángulo de fricción y cohesión, los cuales son producto de ensayos de laboratorio, visitas de campo y consultas bibliográficas (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002).

Las variables intrínsecas pueden tomar valores distintos dependiendo de la pendiente del talud, ya que esta define si se presenta una estratificación de suelo o una porción de suelo residual sobre una estratificación rocosa. Las variables de cohesión, peso específico y el ángulo de fricción serán tomadas como aleatorias por ser consideradas críticas para el modelo matemático y su comportamiento sigue una distribución triangular, cuyos parámetros se exponen en la Tabla 68 para el mapa de amenaza. Por otro lado, la variable de altura del suelo será considerada como variable estática o constante. Para la inclusión de los valores de cohesión de las raíces en la evaluación de la amenaza, se le asignó a cada unidad del mapa de cobertura y uso del suelo una valoración de acuerdo a lo planteado en las metodologías de Hang Chok (2008), Schmidt y otros (2001), Jimeno y otros (1999).

La distribución uniforme describe la cohesión de las raíces, ya que se considera una variable aleatoria en la que cualquier ocurrencia tiene la misma probabilidad dentro de los límites inferior y superior. Se aplica la distribución uniforme porque la incertidumbre de las variables es muy alta debido a que los valores de la cohesión de las raíces son difíciles de obtener y su variación con el tiempo es lenta y compleja de determinar. A continuación, se presentan las tablas que contienen las distribuciones de probabilidad que mejor se adaptan a cada una de las variables aleatorias de la ecuación de talud infinito modificada para el mapa de amenaza de la zona de estudio.

Tabla 68. Parámetros de las variables geotécnicas aleatorias obtenidas de la caracterización geotécnica de la zona de estudio.

Unidades Geológicas	Altura (m)	Peso unitario del suelo γ (KN/m ³)		Ángulo de fricción Φ (grados)			Cohesión C(KN/m ²)		
	Valor	Mín. Valor	Máx. Valor	Mín.	Promedio	Máx.	Mín.	promedio	Máx.
Stfar	2	18.0	20	25	28	30	3	4	6
Sr-N2Q1vb	2	19.0	21	23	25	27	7.0	8.0	9.0
SrN2g	2	19	20	27	29	30	6.0	7.0	8.0
Sari	1	18	20	25	28	30	4	5	7
Sarin	1	18	20	25	28	30	4	5	6
Sade	1	17	18	20	23	25	4	5	6
Rd-N2Q1vb	1	23	25.6	35	40	45	65	68	70

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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

La Tabla 69 presenta la cohesión de las raíces de acuerdo con el tipo de coberturas del municipio de San Agustín.

Tabla 69. Cohesión de las raíces de acuerdo con el tipo de cobertura.

Value	COBERTURA	Min	Max
1	Ríos	8	15
2	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	3	5
3	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	8	15
4	Tierras desnudas y degradadas	1	1
5	Plátano y banano	5	8
6	Pastos arbolados	5	8
7	Mosaico de cultivos	3	6
8	Café	4	6
9	Estanques para acuicultura continental	8	15
10	Canales	8	15
11	Instalaciones recreativas	1	3
12	Áreas deportivas	1	3
13	Pastos limpios	2	4
14	Parques urbanos	3	5
15	Pastos enmalezados	2	4
16	Arbustal abierto	5	7
17	Vegetación secundaria o en transición	6	8
18	Mosaico de cultivos y espacios naturales	3	6
19	Mosaico de pastos y cultivos	3	5
20	Tejido urbano discontinuo	3	7
21	Tejido urbano continuo	1	3
22	Zonas industriales	1	3
23	Escombreras	1	1
24	Parque cementerio	1	1
25	Red vial y terrenos asociados	1	3
26	Herbazal abierto	2	4
27	Zonas pantanozas	1	3
28	Otras zonas verdes urbanas	3	5
29	Maíz	1	3
30	Bosque de galería y ripario	8	15
31	Zonas quemadas	1	1
32	Otros sitios de disposición de residuos a cielo a	1	1

Fuente: Geocing SAS.

Las anteriores tablas muestran como el modelo matemático del talud infinito modificado posee múltiples distribuciones interrelacionadas, lo que apoya la idea de que se deben

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

realizar un número considerable de simulaciones (10.000) antes de obtener datos convergentes y consistentes.

• Categorización de la Amenaza

La categorización de la Amenaza (probabilidad de falla); se adoptan los rangos establecidos en la Guía Metodológica para estudios de amenaza, Vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, elaborada por el Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2015).

Tabla 70 Categorización adoptada para Amenaza por movimientos en masa.

Categoría Amenaza	Rango de Frecuencia (1/año)	Probabilidad de falla anual del evento	Significado
Alta	>1/6	>16%	Los movimientos en masa pueden ser inminentes. Los eventos ocurrirían con un período de retorno menor a 6 años.
Media	1/1000 – 1/6	0.1% - 16%	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 límite inferior corresponde a una probabilidad de ocurrencia acumulada de 0.1%.
Baja	<1/1000	<0.1%	El evento puede ser concebible pero únicamente bajo circunstancias excepcionales. La probabilidad de ocurrencia acumulada del evento es menor al 0.1%.
N/A	-	-	No aplica en las zonas que presentan una pendiente menor a 5°

Fuente: Tomado de SGC (2015)

• Cálculo de la Amenaza

Para calcular el valor del factor de seguridad promedio para la zona, se realiza un análisis pixel a pixel de dimensiones 0.25 x 0.25 para el mapa de amenaza por movimientos en masa para la zona de estudio, mediante los mapas de pendiente, unidades geológicas superficiales, valor característico, cobertura y uso del suelo.

Para este análisis, se realiza una combinatoria entre los mapas antes mencionados con el fin de identificar todas las posibles combinaciones entre los múltiples parámetros de los 4 mapas. Cada una de las combinaciones tendrá como resultado su propio factor de seguridad promedio, el cual se halla aplicando la fórmula antes mencionada de talud infinito modificada mediante la simulación de Montecarlo.

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

El factor de seguridad promedio es la media del factor de seguridad que arroja el análisis probabilístico. Este valor corresponde al promedio de todos los factores de seguridad calculados para la combinación.

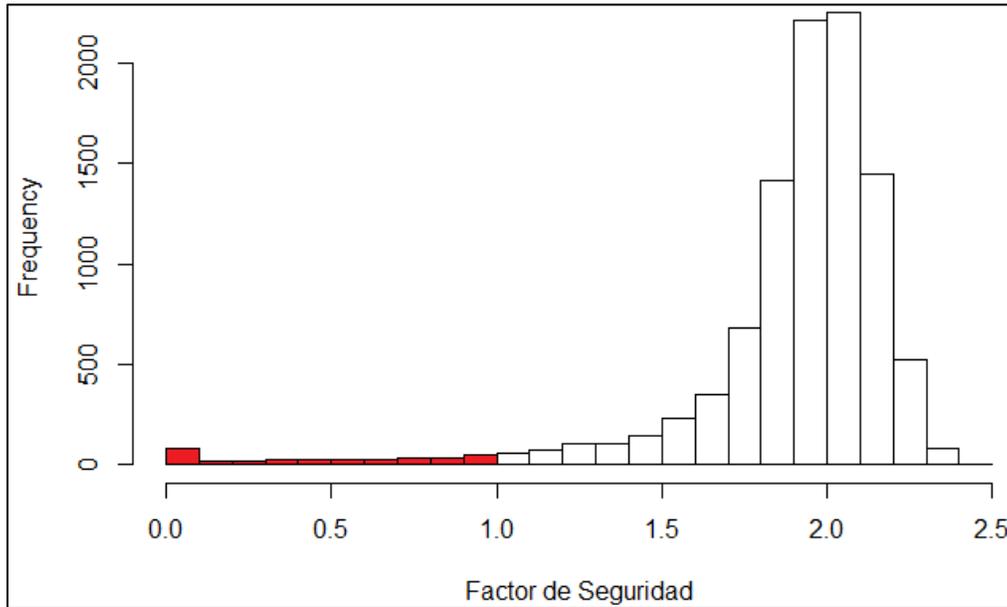


Ilustración 139. Histograma del Factor de Seguridad. La zona en rojo indica los análisis que obtuvieron un factor de seguridad igual o menor que 1.
Fuente: Geocing SAS.

La simulación de Montecarlo genera un histograma de los análisis realizados, el cual refleja la proyección de los datos, su tendencia, forma y dispersión tal y como se muestra en la Ilustración 139. De esta manera, la probabilidad de falla del talud (PF) se puede determinar puesto que el análisis probabilístico permite determinar la distribución de probabilidad del factor de seguridad.

La probabilidad de falla se define como el área bajo la curva de la distribución de probabilidad del factor de seguridad igual o menor que 1. En otras palabras, la probabilidad de falla es igual al número de análisis a los que les corresponde un factor de seguridad menor o igual a 1, el cual se encuentra dividido por el número total de análisis (simulaciones).

$$PF = \frac{\text{núm. } F.S \leq 1}{\text{núm. análisis}}$$

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

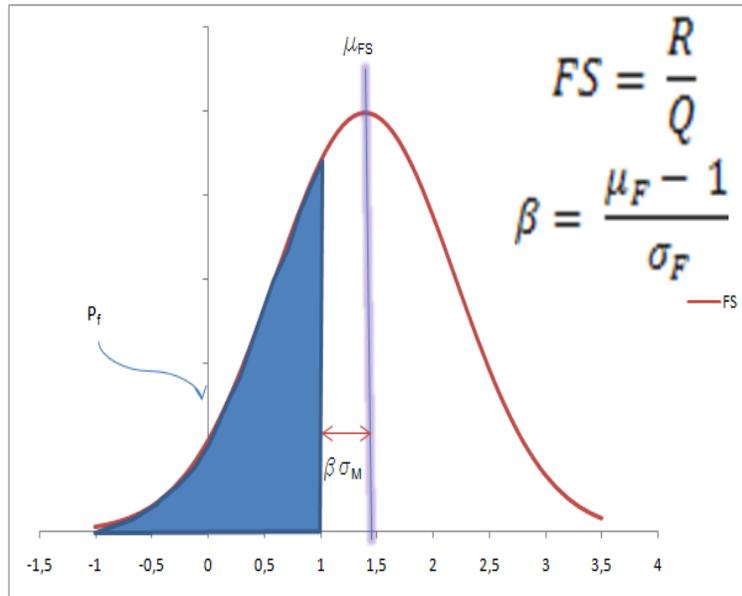


Ilustración 140. Distribución del factor de seguridad, probabilidad de falla, definición del factor seguridad e índice de confiabilidad.
Fuente: Geocing SAS.

El mapa de amenaza se generó a partir de la fórmula del Método de Talud Infinito, el cual se encuentra descrito más ampliamente en la metodología, para lo cual se creó una rutina de Montecarlo en el programa “*The R Project for Statistical Computing*”, y así poder obtener los resultados con 10.000 simulaciones para cada combinación.

Las combinaciones obtenidas fueron 7,212 posibles, que provienen de las variables manejadas por el análisis de Talud Infinito, esto conlleva a que se realicen 10.000 simulaciones por combinación, es decir que se ejecutarán alrededor de 72 millones de simulaciones en total y su resultado es un factor de seguridad promedio, desviación estándar y probabilidad de falla para cada escenario planteado. Como se mencionó anteriormente, un escenario planteado requirió de alrededor de 72 millones de simulaciones, por lo tanto, los 5 escenarios demandaron un total de 360 millones de simulaciones.

El mapa de amenaza Movimientos en masa divide un territorio basado en diferentes niveles de amenaza. La creación de un sólo mapa de amenaza resulta problemático debido a que diferentes condiciones de amenaza se deben mostrar en el mismo mapa, sin embargo, es un mapa que se debe realizar para representar un nivel de amenaza general para la zona de estudio. Para su realización y representación se definieron 2 variables: el *factor de seguridad característico, FS** y *probabilidad de falla característica, PF**; las cuales se calculan mediante una ponderación de los diferentes

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

factores de seguridad promedio y probabilidades de falla determinados en los diferentes escenarios planteados.

$$FS^* = \sum \overline{FS}_i \times P_i$$

$$PF^* = \sum \overline{PF}_i \times P_i$$

Donde

\overline{FS}_i , factor de seguridad promedio por escenario

\overline{PF}_i , probabilidad de falla por escenario

P_i , probabilidad de ocurrencia del escenario planteado

Tal y como se muestra anteriormente, la probabilidad de falla total, PF^* , se encuentra como una probabilidad de falla total combinada con cada uno de los escenarios planteados de acuerdo con la probabilidad de ocurrencia.

De acuerdo con el juicio de expertos de la consultoría, la Tabla 71 indica la probabilidad de ocurrencia que se le asigna a cada escenario para la ponderación de los valores característicos finales.

Tabla 71. Probabilidades de ocurrencia de los escenarios planteados para el factor detonante de agua.

Mapa	Escenario	Probabilidad de Ocurrencia, P (%)
A.	zw = 0	25
B.	zw = 0.25 h	30
C.	zw = 0.5 h	30
D.	zw = 0.75 h	10
E.	zw = h	5

Fuente: Geocing SAS.

Una vez obtenidas las probabilidades de falla, se clasifican en las categorías para la clasificación de amenaza mostradas en la Tabla 70 y se asignan a cada combinación en el mapa.

Finalmente, se obtiene el mapa de amenaza general por movimientos en masa en el casco urbano presentado en la Ilustración 141, se obtienen la zonificación de las áreas de amenaza categorizadas como más críticas, a estas se realiza por análisis detallado de categorización de amenaza por medio del análisis de Equilibrio Límite para definir la amenaza. En la siguiente ilustración se presenta el mapa de amenaza producto del método de talud infinito, de igual se puede ver en forma en el 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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

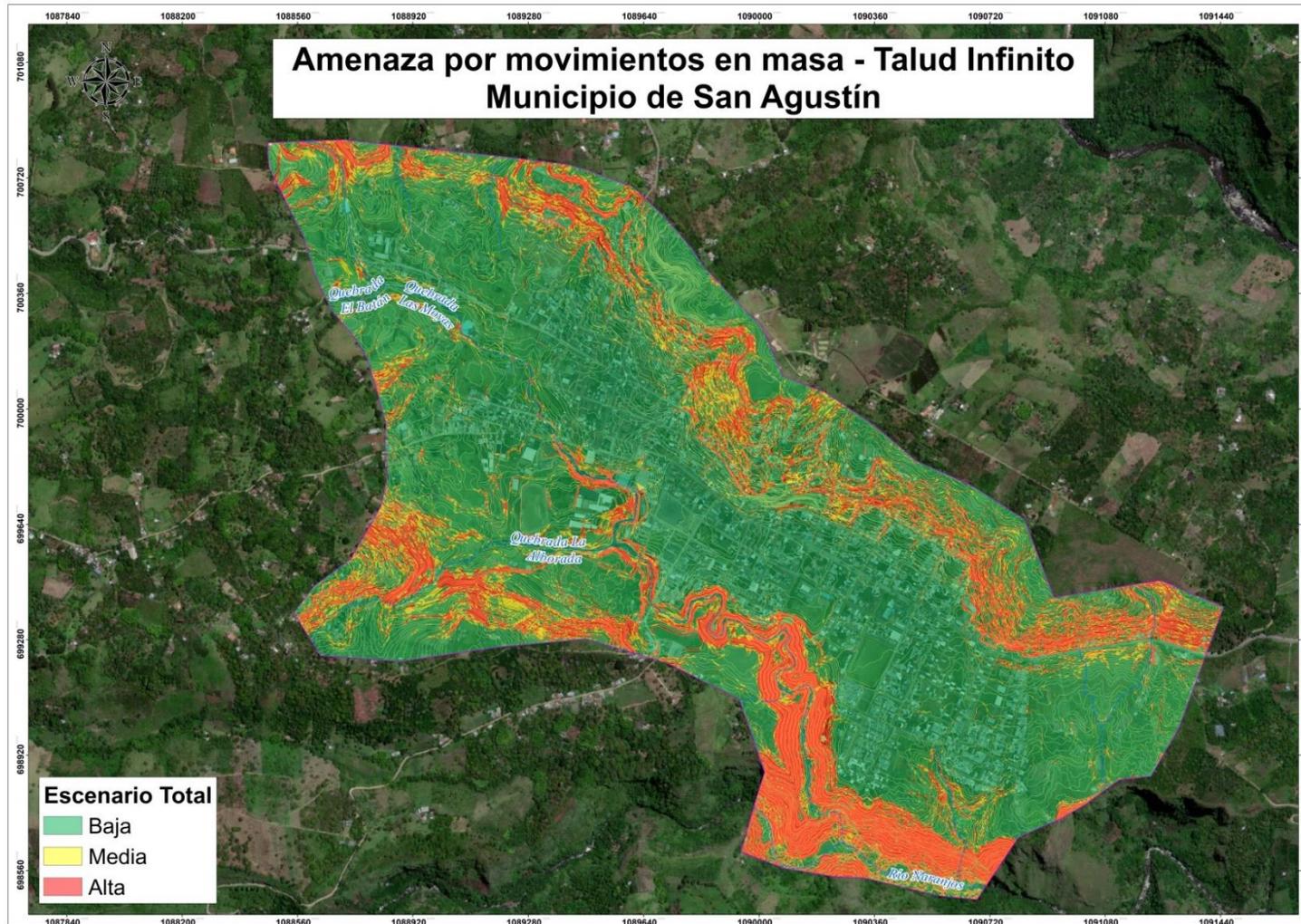


Ilustración 141. Mapa de Amenaza por movimientos en masa – Método Talud Infinito.
Fuente: Geocing SAS.

Dirección de correo: Calle 120 No. 49-44
Teléfono (1) 7046969 / (1) 7458541
Bogotá D.C.

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

11.1.2 Amenaza detallada

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.

• 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.

El análisis de equilibrio límite 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

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

permite analizar geometrías complejas, superficies curvas, rectas, cuñas, condiciones variables del suelo y la influencia de cargas externas (Suarez, 2009).

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 limite (*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.

• 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 de las funciones de distribución de probabilidad de las variables aleatorias $a, b \dots z$, es decir:

$$f(FS) = f(a) * f(b) \dots * f(z)$$

$$FS = f(a, b \dots z)$$

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

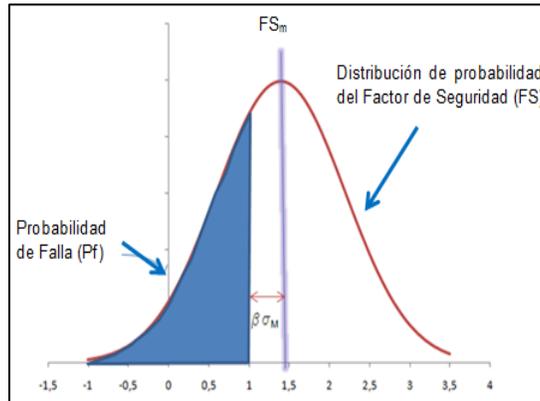


Ilustración 142 Distribución de probabilidad del Factor de Seguridad.
Fuente: Geocing SAS.

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.

• Análisis de Amenaza

El mapa de amenaza se genera a partir de los resultados del análisis de equilibrio límite, para los diferentes escenarios y porcentaje de participación, de acuerdo a la variación del nivel freático para el sitio de estudio. Como se enuncia más adelante.

De acuerdo a la categorización de amenaza, que se representa de acuerdo a una gama de colores, en el perfil de análisis en planta se muestran una gama de colores característicos del valor correspondiente a los niveles de amenaza, a lo largo de cada perfil.

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.

Los análisis de estabilidad para las secciones definidas, se realizaron para cinco escenarios de agua (5 niveles de agua), los cuales van desde un escenario completamente saturado, hasta un nivel completamente seco, La Tabla 72 presenta las probabilidades de ocurrencia para los cinco escenarios de variación del nivel freático.

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

Tabla 72. Probabilidad de los escenarios de análisis.

Escenario	Nombre	Probabilidad variación nivel freático	Desviación Estándar
1	Saturado	5%	σ_1
2	Alto	10%	σ_2
3	Medio	30%	σ_3
4	Bajo	30%	σ_4
5	Seco	25%	σ_5
		100%	

Fuente: Geocing SAS.

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.

• Parámetros de resistencia

Para caracterizar la resistencia de los materiales que conforman las unidades de suelo se empleó un modelo constitutivo elástico perfectamente plástico con criterio de falla Mohr-Coulomb, de manera que, los parámetros de resistencia están dados por el ángulo de fricción y la cohesión efectivos. En los análisis de estabilidad, estos dos parámetros son variables aleatorias que se ajustan a una función de probabilidad normal.

Tabla 73. Parámetros de las variables geotécnicas aleatorias obtenidas de la caracterización geotécnica de la zona de estudio. Fuente: Geocing SAS.

Unidades Geológicas	Altura (m)	Peso unitario del suelo γ (KN/m ³)	Ángulo de fricción Φ (grados)	Cohesión C(KN/m ²)

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

	Valor	Mín. Valor	Máx. Valor	Mín.	Promedio	Máx	Mín.	Promedio	Máx
Stfar	2	18.0	20	25	28	30	3	4	6
Sr-N2Q1vb	2	19.0	21	23	25	27	7.0	8.0	9.0
SrN2g	2	19	20	27	29	30	6.0	7.0	8.0
Sari	1	18	20	25	28	30	4	5	7
Sarin	1	18	20	25	28	30	4	5	6
Sade	1	17	18	20	23	25	4	5	6
Rd-N2Q1vb	1	23	25.6	35	40	45	65	68	70

Fuente: Geocing SAS.

• Categorización de la Amenaza.

La generación del mapa se realizó uniendo zonas de amenaza de igual categoría, teniendo en cuenta la topografía de la zona, la geología, pendientes y las zonas de transición que deben existir entre cada una de las categorías, de acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes, se dibujó el mapa de amenaza por movimientos en masa de acuerdo con la categorización que se presenta en la Tabla 70.

Estos perfiles de análisis se trazan de forma transversal con el fin de cubrir, y delimitar la categoría de la amenaza en aquellas áreas que quedaron inmersas en el mapa general de amenaza como críticas, los perfiles de análisis se pueden observar en la ilustración a continuación:

• 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 de la zona en estudio, adicionalmente, fue necesario generar otros planos secundarios, como los planos de micro-cuencas y de dirección de pendientes.

Una vez obtenido el mapa de laderas, 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. Para cada perfil se planteó un modelo geológico-geotécnico, teniendo en cuenta los resultados del programa de investigación del subsuelo, las observaciones de campo, las conclusiones del estudio de geología de detalle y los parámetros de resistencia calculados. La zonificación de las laderas identificadas se realizó a partir del

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

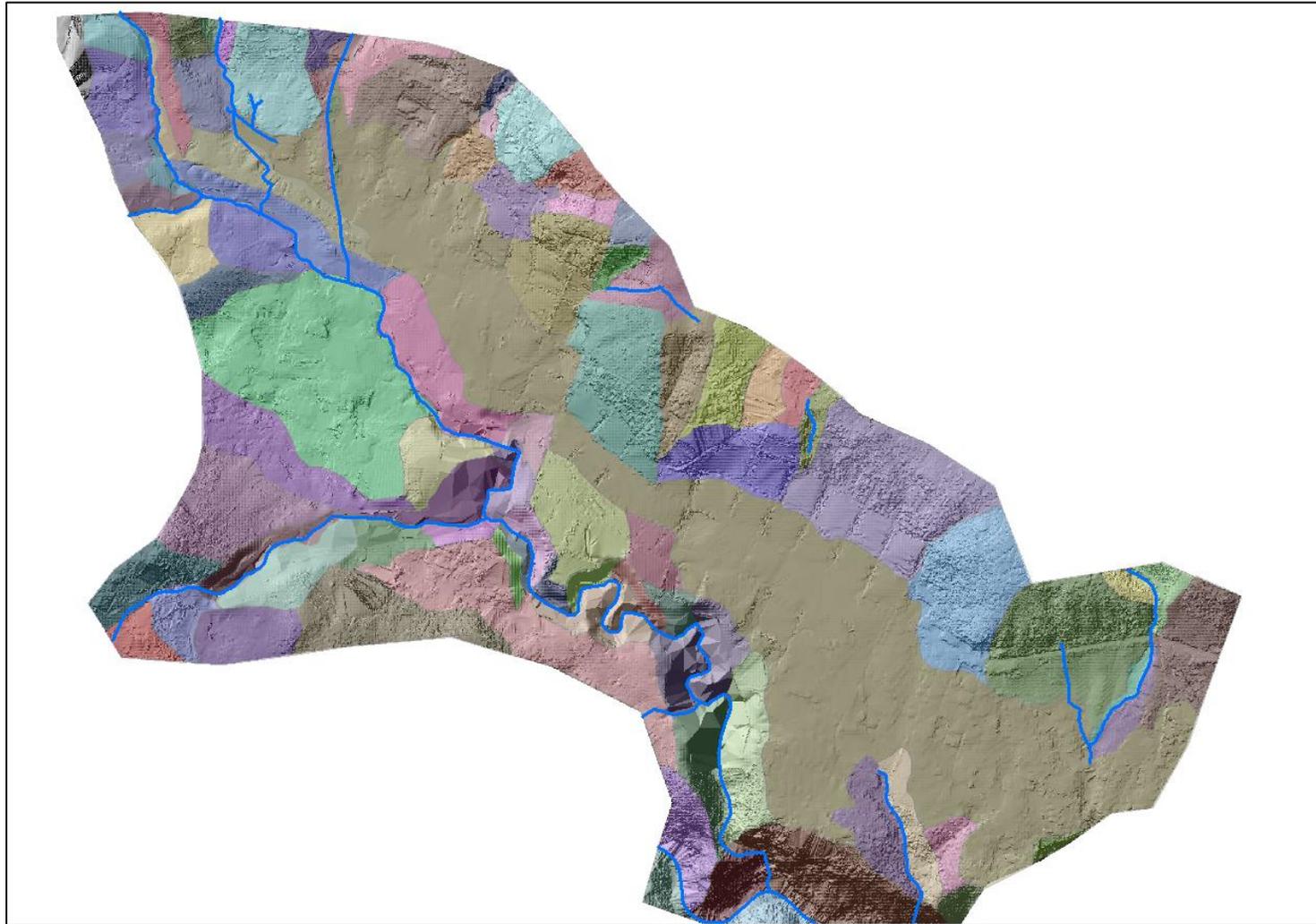
plano de microcuencas hidrográficas y el plano de aspectos, elaborados con el Software ArcGIS y el modelo digital del terreno (DTM – Digital Terrain Model). Posteriormente, se definieron los perfiles típicos de análisis cada uno cruza por las zonas de mayor pendiente, los cuales perpendicular a las curvas de nivel y está enumerado con un ID único. A continuación en la Ilustración 143, se puede ver el mapa de ladera generado para la delimitación y categorización detallada de las zonas críticas generadas dentro del mapa de amenaza general 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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN



**Ilustración 143. Mapa de Ladera municipio de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.**

Dirección de correo: Calle 120 No. 49-44
Teléfono (1) 7046969 / (1) 7458541
Bogotá D.C.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

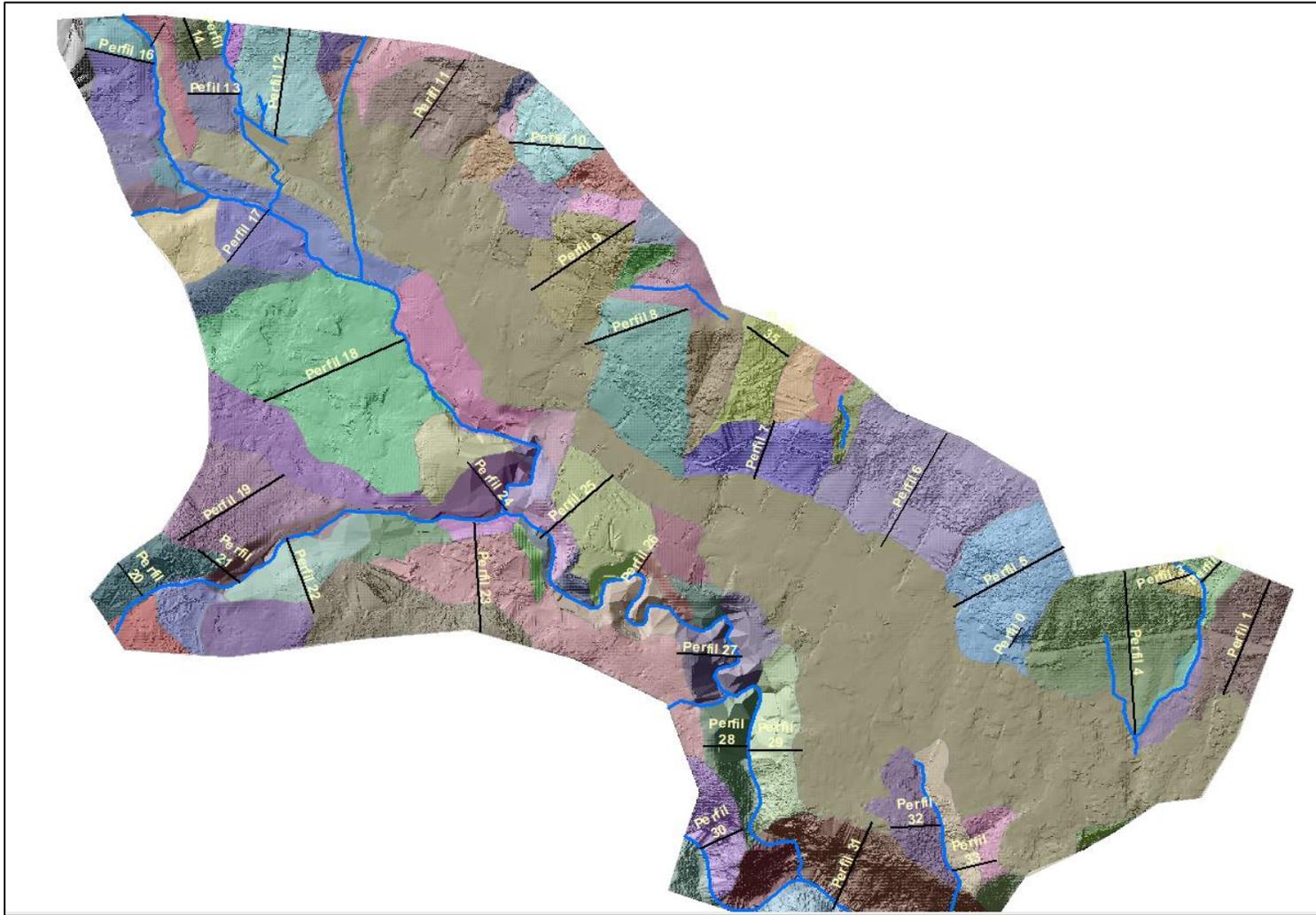


Ilustración 144. Perfiles de análisis sobre el mapa de Laderas.
Fuente: Geocing SAS.

Dirección de correo: Calle 120 No. 49-44
Teléfono (1) 7046969 / (1) 7458541
Bogotá D.C.

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

• Modelación de las secciones de análisis

Teniendo en cuenta lo anteriormente descrito, para la modelación de los diferentes escenarios se emplea el software Slide V6.0, mediante el tipo de análisis probabilístico y el método global minimum, esto significa que el Análisis Probabilístico se ha llevado a cabo sobre la superficie de falla Mínima Global, localizada mediante el análisis regular de estabilidad de taludes (determinista). Los análisis realizados contemplan una superficie de falla circular.

Con el fin de llevar a cabo un Análisis Probabilístico (“Probabilistic Analysis”), donde se define los parámetros de entrada del modelo, como una Variable Aleatoria (“Random Variable”).

A continuación se presenta los resultados de los análisis de estabilidad, las probabilidades de falla y la categorización de amenaza para los taludes analizados. De forma ilustrativa, se hace énfasis en los cálculos desarrollados para el perfil P4, pero los procedimientos aquí explicados son similares para los demás perfiles evaluados y se pueden consultar en el Anexo 4 Amenaza.

Para cada perfil se planteó un modelo geológico-geotécnico, teniendo en cuenta los resultados del programa de investigación del subsuelo, las observaciones de campo y las conclusiones del estudio de geología de detalle.

Los análisis de estabilidad para cada uno de los perfiles definidos se realizaron para los cinco escenarios de agua establecidos empleando los coeficientes de aceleración pseudoestática horizontal y vertical en todas las modelaciones matemáticas.

Una vez se realizaron 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.

De la Ilustración 146 a la Ilustración 150, se presentan los resultados del análisis de estabilidad probabilístico para los cinco escenarios planteados, en ellas se observa, el Factor de Seguridad medio (FSm), la probabilidad de falla (Pf) y el índice de confiabilidad (RI).

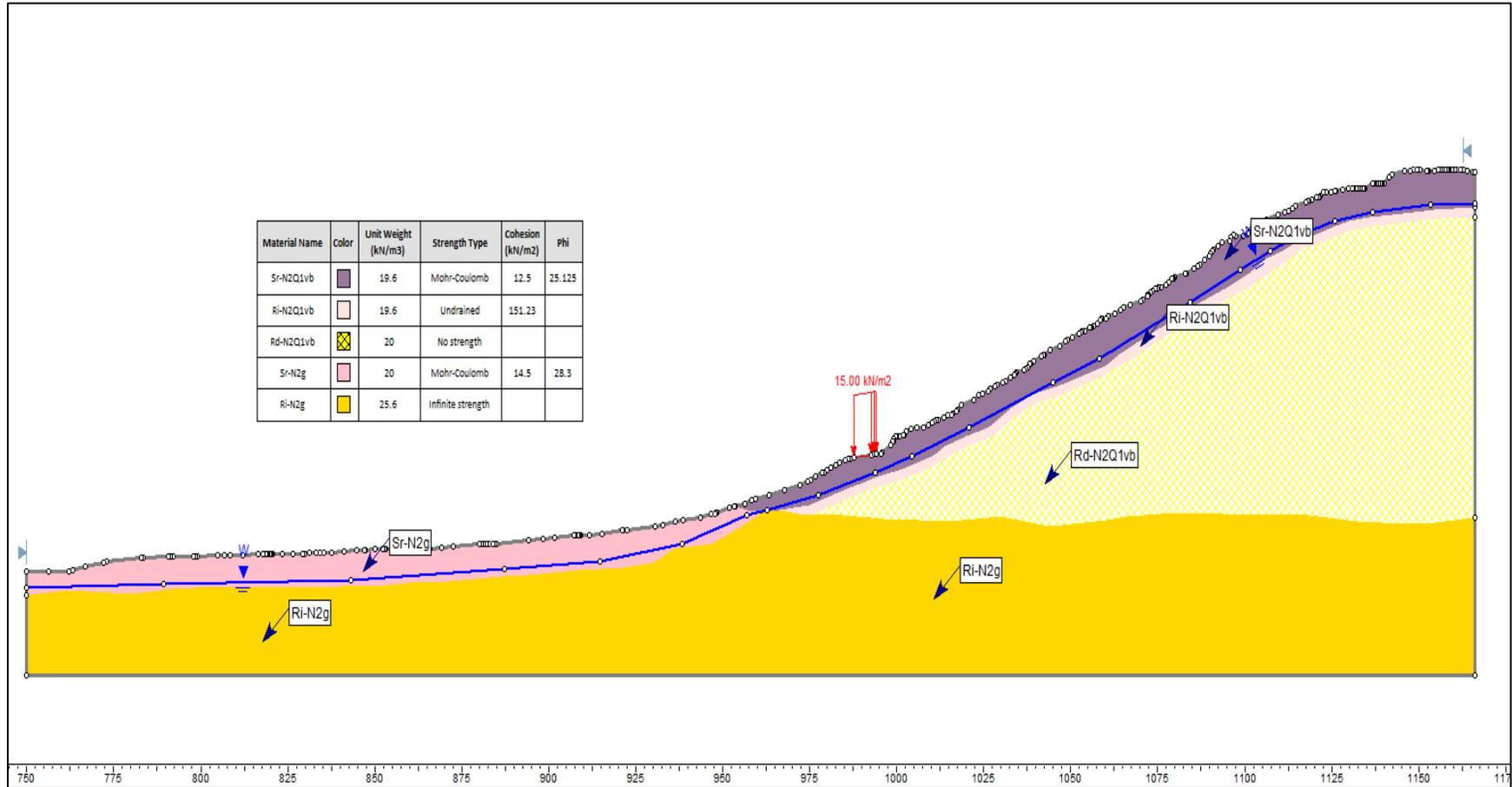


Ilustración 145. Modelo geológico – geotécnico para el perfil representativo P4.

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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

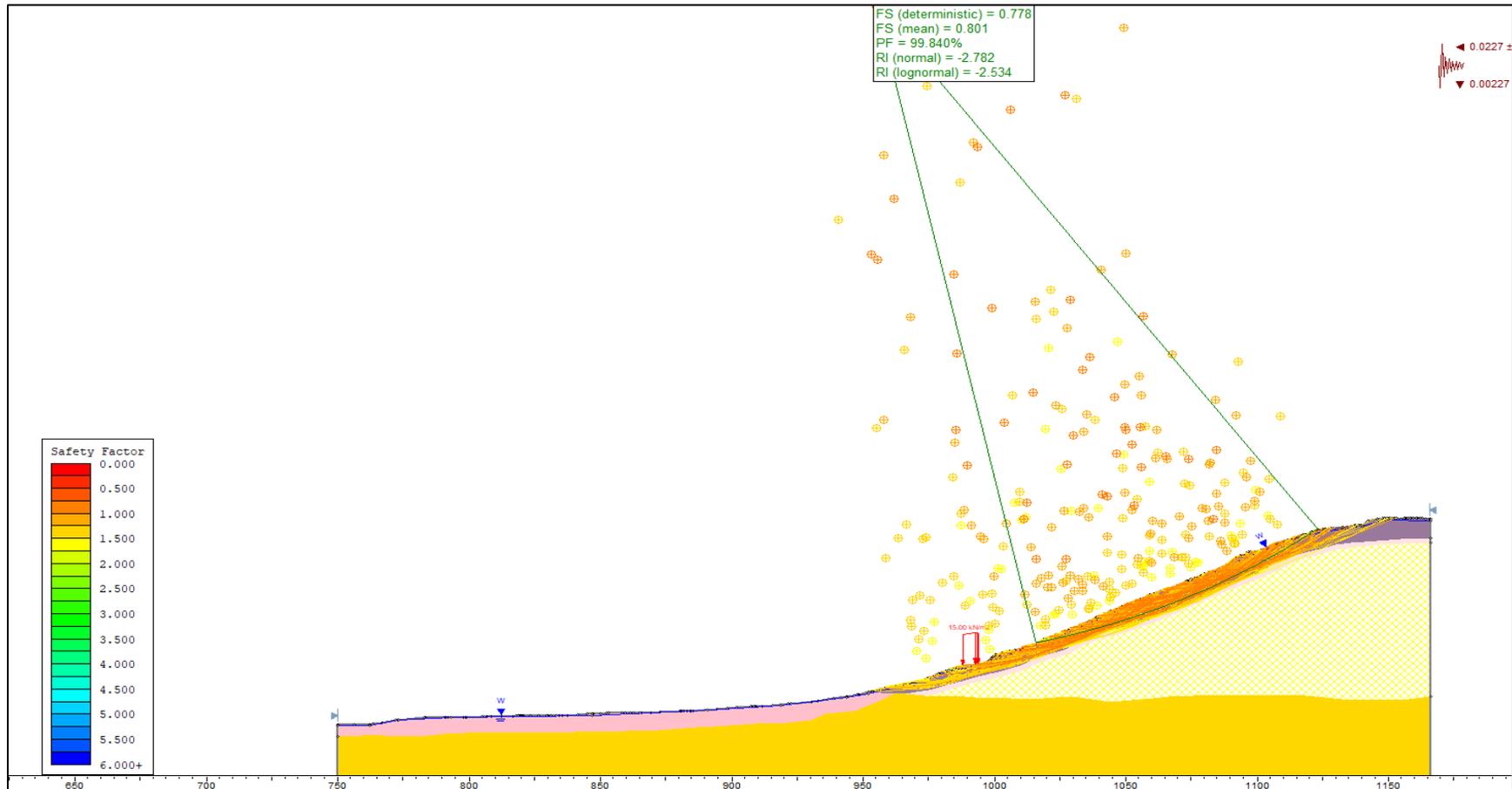


Ilustración 146. Análisis de estabilidad para el perfil representativo P4 en el Escenario 1.

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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

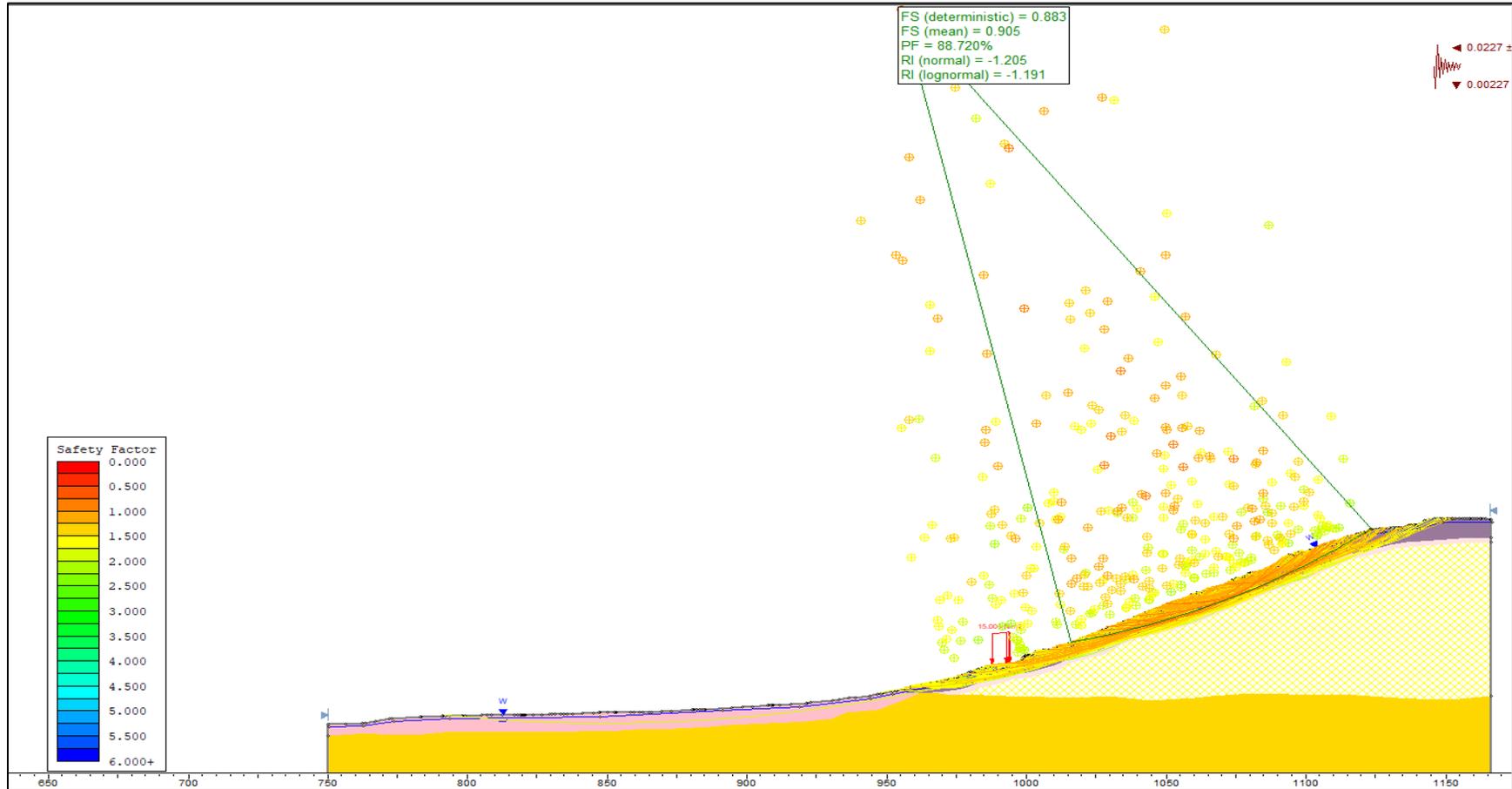


Ilustración 147. Análisis de estabilidad para el perfil representativo P4 en el Escenario 2.

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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

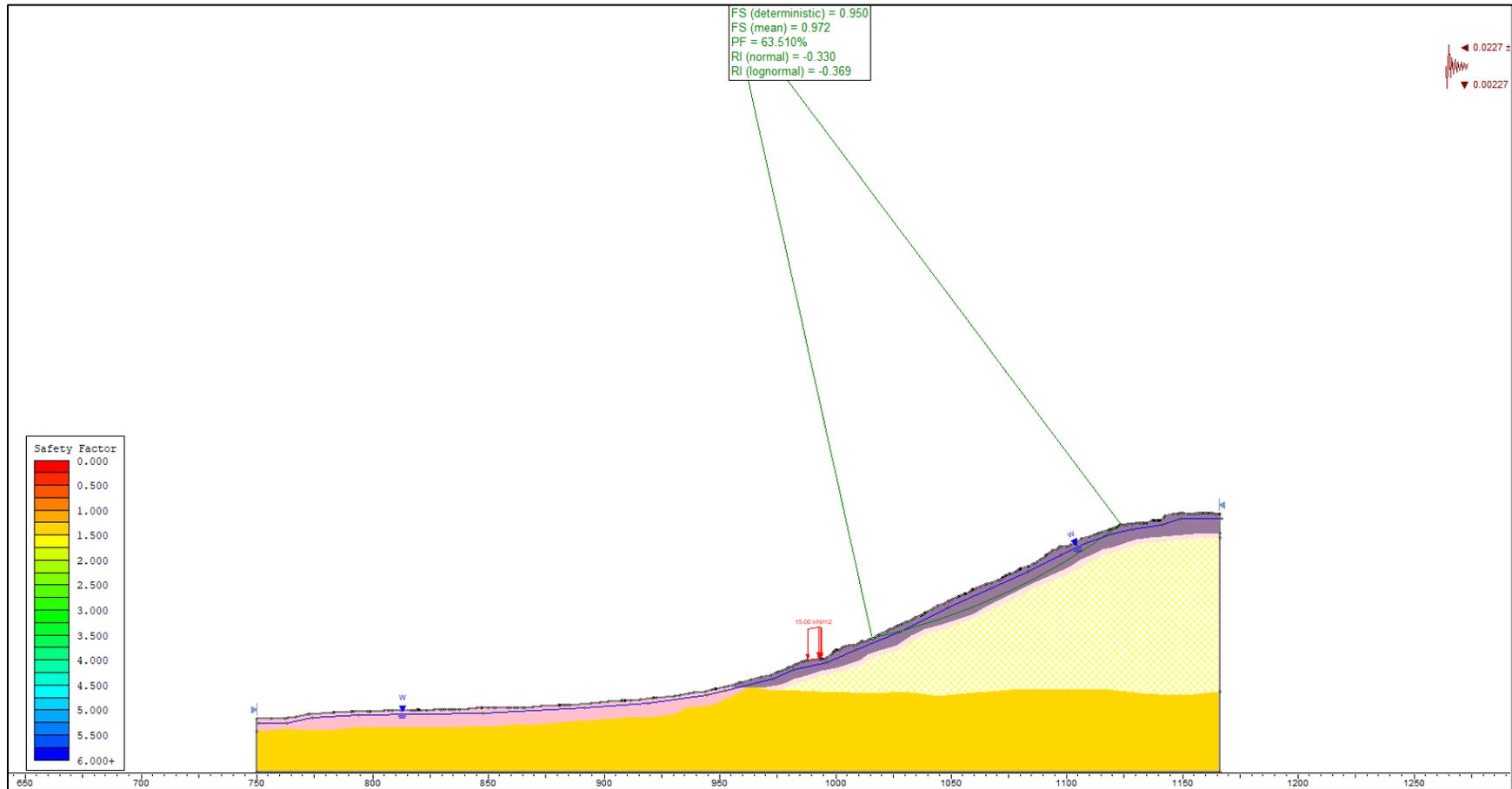


Ilustración 148. Análisis de estabilidad para el perfil representativo P4 en el Escenario 3.

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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

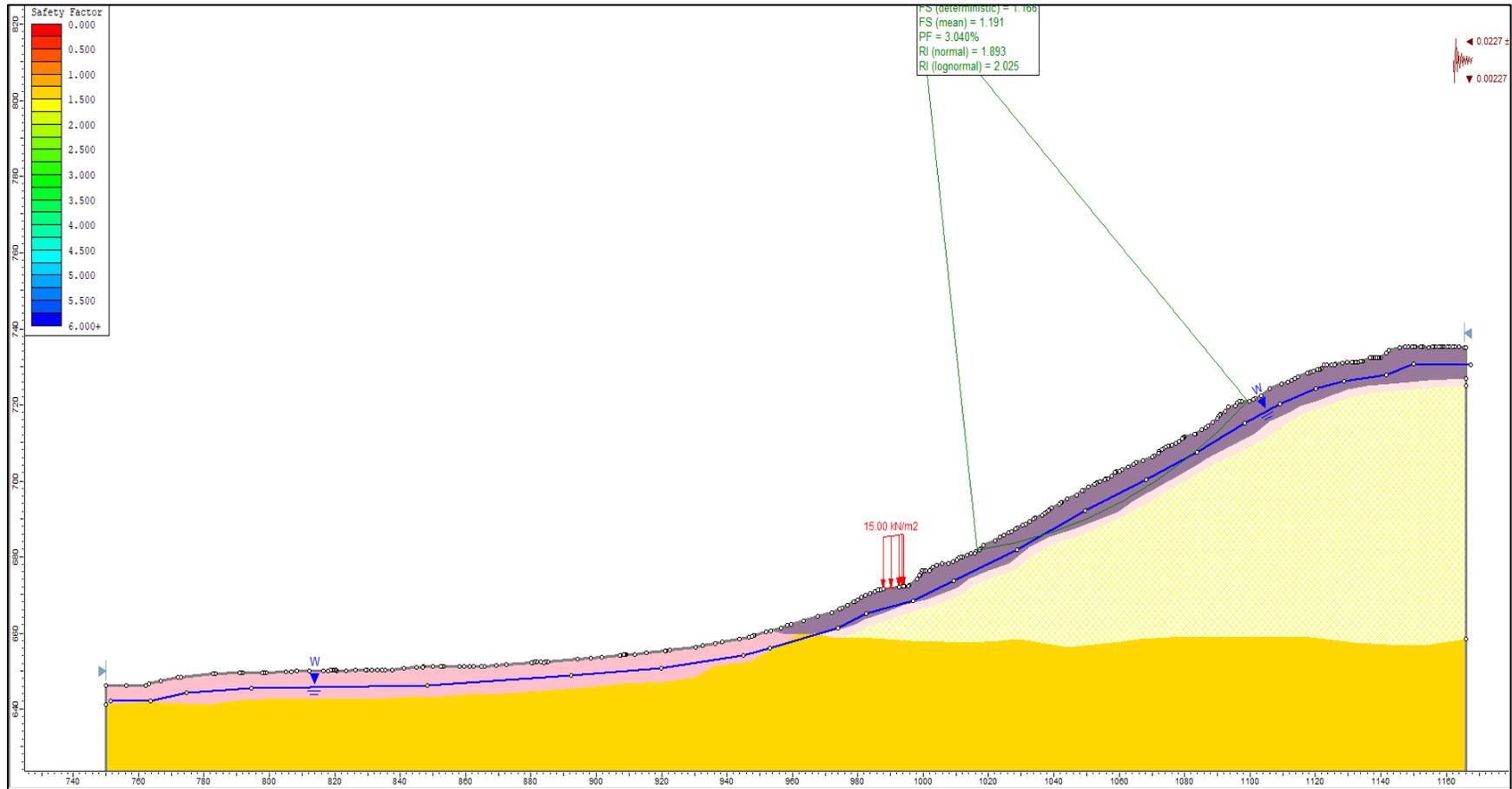


Ilustración 149. Análisis de estabilidad para el perfil representativo P4 en el Escenario 4.
Fuente: Geocing SAS.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

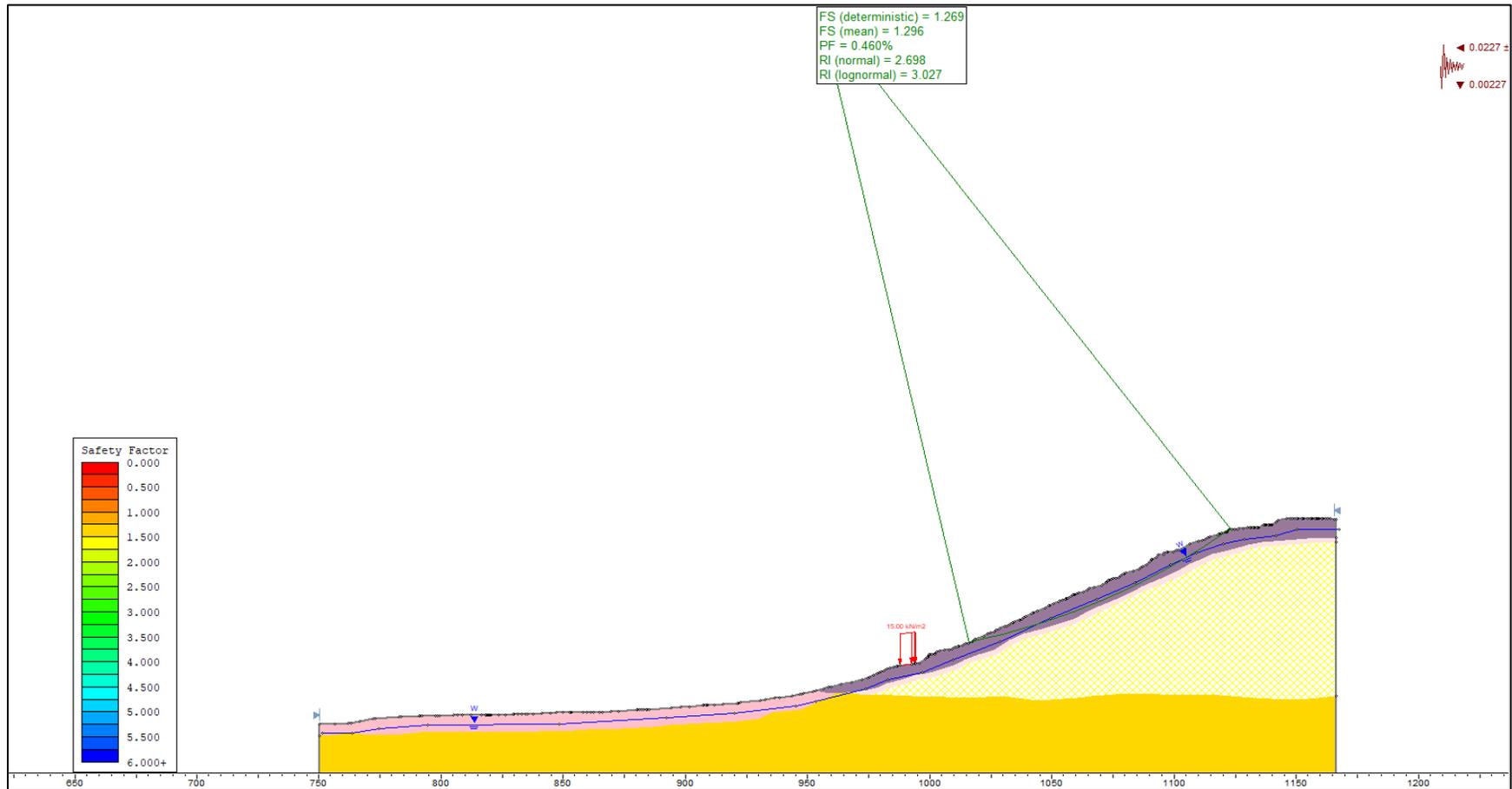


Ilustración 150. Análisis de estabilidad para el perfil representativo P4 en el Escenario 5.

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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

De la Ilustración 151 a la Ilustración 155 se presentan los Factores de Seguridad obtenidos a lo largo del perfil P4, para cada uno de los cinco escenarios estudiados.

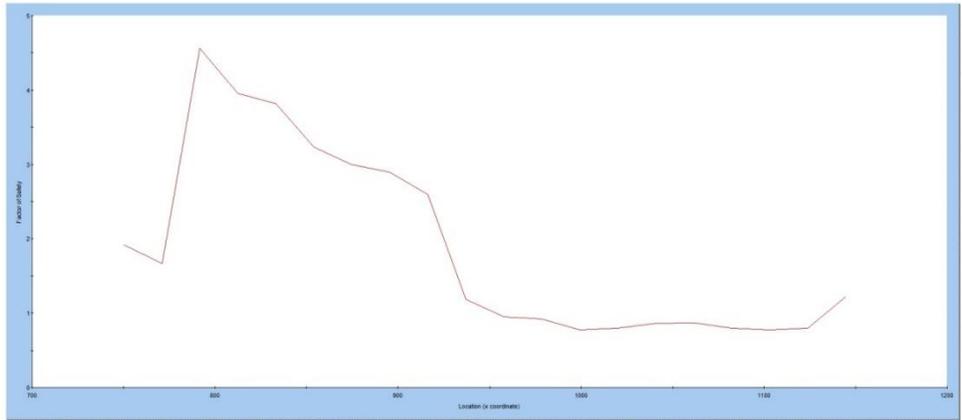


Ilustración 151. Factor de Seguridad para las abscisas del perfil representativo P4 en el Escenario 1.

Fuente: Geocing SAS.

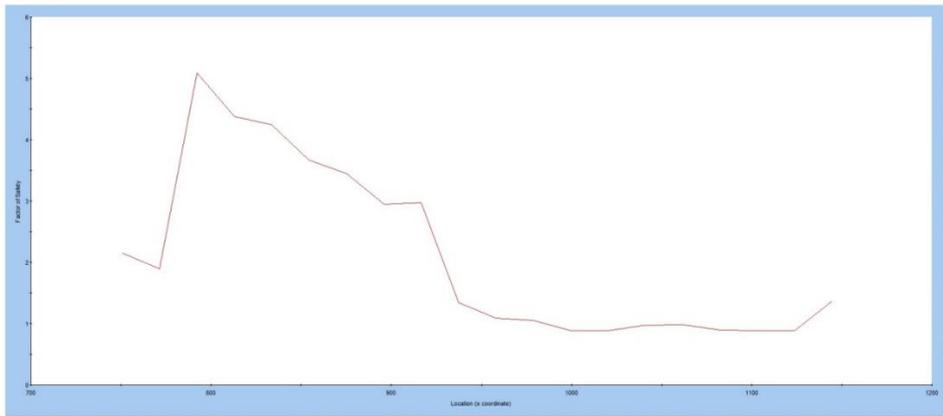


Ilustración 152. Factor de Seguridad para las abscisas del perfil representativo P4 en el Escenario 2.

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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>	
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

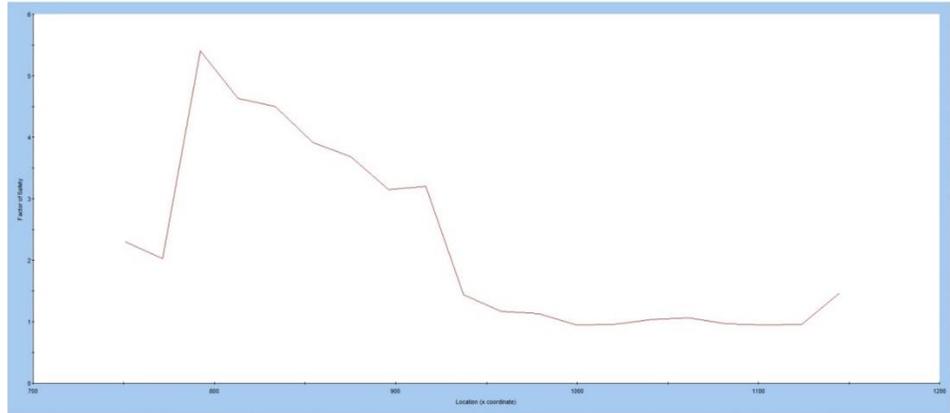


Ilustración 153. Factor de Seguridad para las abscisas del perfil representativo P4 en el Escenario 3.
Fuente: Geocing SAS.

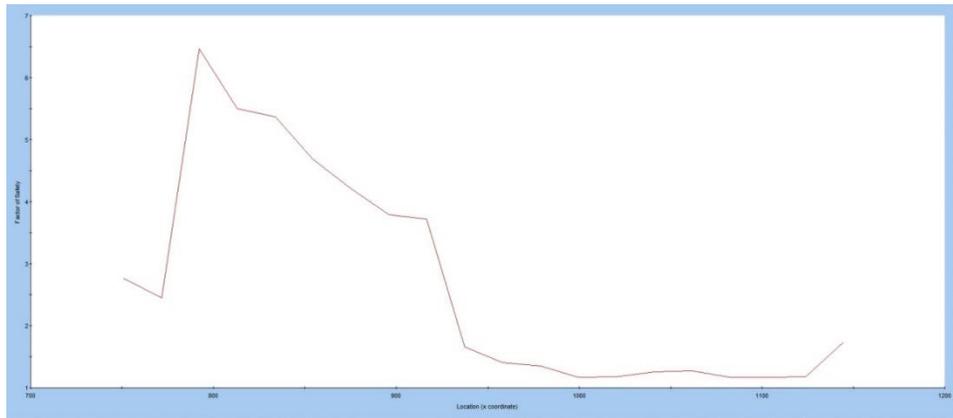


Ilustración 154. Factor de Seguridad para las abscisas del perfil representativo P4 en el Escenario 4.
Fuente: Geocing SAS.

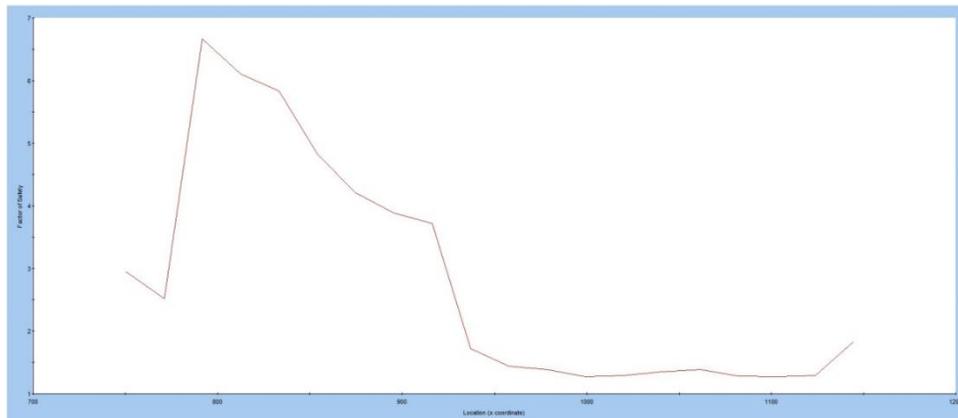


Ilustración 155. Factor de Seguridad para las abscisas del perfil representativo P4 en el Escenario 5.
Fuente: Geocing SAS.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</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. El Anexo 5, recopila los resultados del análisis de estabilidad, las probabilidades de falla calculadas y la categorización de amenaza para cada abscisa para todos los perfiles evaluados.

• Generación de Mapa de Amenaza Detallado

Una vez realizados todos los análisis de estabilidad y obtenida la probabilidad de falla total para cada sección, se procede a pintar el mapa de Amenaza por movimientos en masa. Este mapa es generado mediante los procesos morfodinámicos detectados en campo, la probabilidad de falla de la ladera, la morfología de cada ladera, la topografía y todos los aspectos relevantes de cada sector. Este proceso se realiza uniando zonas de Amenaza de igual categoría y teniendo en cuenta la morfología (unión de curvas de nivel) y categoría de amenaza de las laderas inmediatamente continuas.

Cada una de las secciones analizadas obtiene una categoría de Amenaza a lo largo del mismo, posterior a este proceso, se procede a dibujar el respectivo mapa de Amenaza. A continuación se presenta la Tabla 74, donde se encuentran los factores de seguridad (método determinístico) y las probabilidades de falla (método probabilístico) para el perfil representativo P4.

Tabla 74 Parámetros de estabilidad para el perfil P4.

CASCO URBANO Y ÁREAS DE EXPANSIÓN FUSAGASUGÁ							
SECCIÓN	ESCENARIO	PROBABILIDAD DE FALLA (PF) ANUAL %	DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL FACTOR DE SEGURIDAD	FACTOR DE SEGURIDAD MÍNIMO	FACTOR DE SEGURIDAD PROMEDIO (FS)	FACTOR DE SEGURIDAD MÁXIMO	BEST FIT
5	SATURADO	1	0.071685	0.5017	0.8	1.035	NORMAL
	NIVEL ALTO	1	0.079136	0.574	0.9	1.165	NORMAL
	NIVEL MEDIO	1	0.084182	0.622	0.97	1.249	NORMAL
	NIVEL BAJO	1	0.101094	0.778	1.2	1.525	NORMAL
	SECO	1	0.10983	0.850	1.29	1.662	BETA

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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

De acuerdo a lo presentado anteriormente, y a los ajustes realizados del mapa de talud infinito por medio del software Slide, en la Ilustración 156 se presenta el mapa final de la amenaza por movimientos en masa para el casco urbano.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

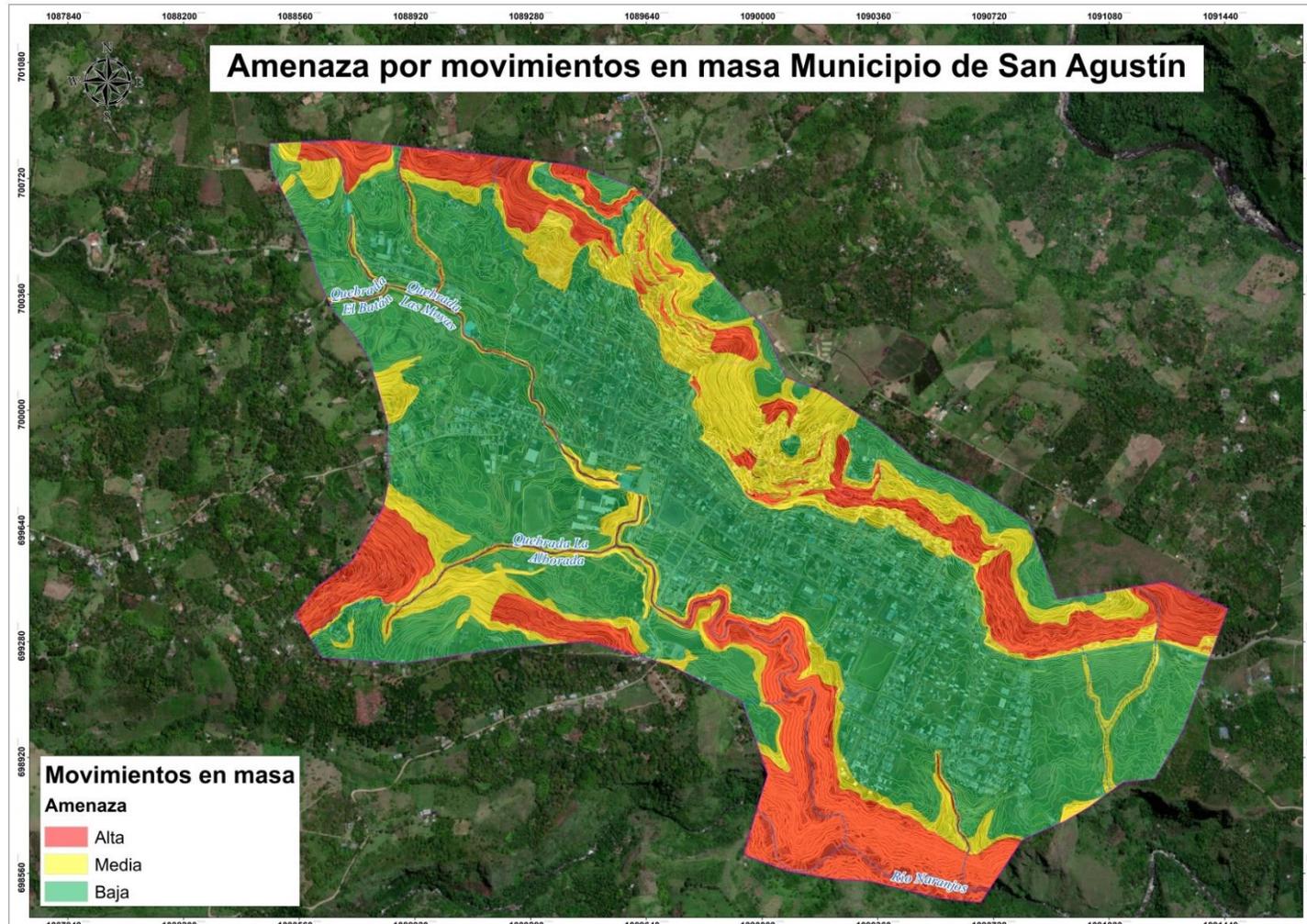


Ilustración 156. Mapa de amenaza por movimientos en masa para el municipio San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

Dirección de correo: Calle 120 No. 49-44
Teléfono (1) 7046969 / (1) 7458541
Bogotá D.C.

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

• Análisis zona crítica

De acuerdo a los movimientos evidenciados en el casco urbano y áreas de expansión, se realizó el análisis local de estos puntos en particular con el fin de ajustar la categorización de Amenaza por Movimientos en masa del municipio, a continuación se describe los resultados obtenidos mediante el análisis por el Método de talud infinito y el Método Equilibrio Límite.

Tabla 75 Porcentaje de amenaza por movimientos en masa sectorizado para el área total de la zona de estudio.

AMENAZA	ÁREA (Ha)	ÁREA(%)
Alta	69.67	20.18
Media	65.17	18.87
Baja	210.46	60.95
Total	345.31	100.00

Fuente: Geocing SAS.

De acuerdo con los análisis y zonificación de las áreas correspondientes a las categorías de amenaza, se evidencia que, de manera general el casco urbano del municipio se encuentra categorizado como amenaza Baja y en las zonas perimetrales de ladera, la categoría de amenaza varía entre Media y Alta. A continuación se describe y se presenta la distribución de cada una de las categorías de amenaza en el área de estudio.

Las zonas de amenaza alta con mayor extensión están ubicadas hacia el norte del casco urbano donde comienza la geomorfología colinada generada por el cambio litológico debido a la presencia de las rocas de la Formación Vulcanitas básicas, a esto se debe las pendientes moderadas a alta. Es importante anotar que la infiltración de agua se encuentra erosionando el nivel superficial del perfil de meteorización de la formación (Suelo Residual) afectando una capa de aprox 2.0 m, la cual se encuentra como un movimiento superficial tipo reptación. Por otra parte, dada la velocidad de meteorización generada por el intemperismo y la infiltración de agua en los cortes realizados en esta formación, se evidencia la inestabilidad localizada en los barrios ubicados en zona de ladera, la cual como consecuencia está afectando predios y viviendas en zonas de laderas, como se logra evidenciar en el Barrio Siloé en la Ver ilustración 101.

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

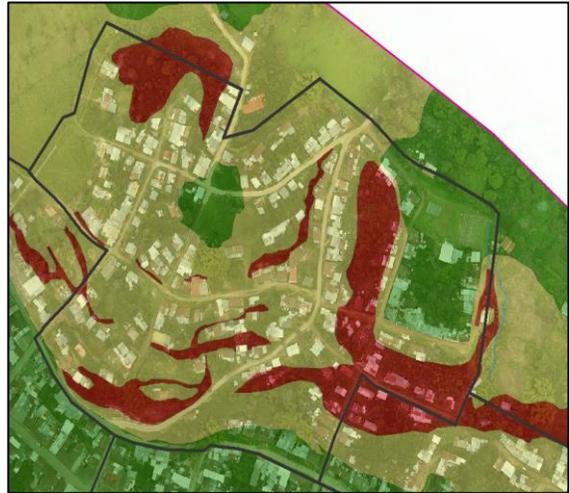


Ilustración 157 Vista local de la categorización de Amenaza por movimiento en masa en el Barrio Siloé.

Fuente: Geocing SAS.

La problemática, respecto a la realización de corte en ladera para la construcción de viviendas en zona de laderas sin ningún tipo de manejo de aguas de infiltración ha afectado la inestabilidad local en el barrio La Brisas, tal cual como se evidencia en la ilustración siguiente:



Ilustración 158 Vista local de la categorización de Amenaza por movimiento en masa en el Barrio La Brisas.

Fuente: Geocing SAS.

Otro sector afectado por los cortes realizados en zona de ladera, es el Barrio Los Olivos, que de igual forma ha generado inestabilidad local por el inadecuado manejo de este tipo de cortes para viviendas.

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



Ilustración 159 Vista local de la categorización de Amenaza por movimiento en masa en el Barrio Los Olivos.
Fuente: Geocing SAS.

La formación Vulcanitas básicas está conformada por una serie de rocas efusivas de composición basáltica, con presencia de material piroclástico y lavas que afloran en diferentes sitios y que son caracterizadas como productos de erupciones de tipo estromboliano, tales como depósitos de piroclastos (cenizas volcánicas, tobas, bombas entre otros).

La meteorización en las cenizas volcánicas cambia los sólidos densos en materiales suaves y porosos cuyas superficies y partículas pequeñas, con frecuencia, difieren notoriamente de la composición química y la estructura de los minerales originales; cuando están expuestas, los estados químicos se vuelven inestables por las nuevas condiciones químicas: exposición al agua, oxígeno, dióxido de carbono y compuestos orgánicos. La reacción principal que provoca la descomposición de los minerales, es la fuerte tendencia a disolverse en agua.

Lo anteriormente descrito, se presenta en forma evidente en el Barrio Konrad Preuss, en el cual se están adelantando cortes y excavaciones sin protección alguna dejando expuestos los taludes al intemperismo y a las filtraciones de agua; situación que categoriza esta área como amenaza alta; aclarando que, aunque la Planta de Tratamiento de agua Potable se encuentra como parte de este barrio, la misma No se ve afectada por algún tipo de inestabilidad superficial. A continuación se evidencia la categorización de la amenaza en el barrio:

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



Ilustración 160 Vista local de la categorización de Amenaza por movimiento en masa en el Barrio Konrad Preuss.
Fuente: Geocing SAS.

Se resalta que hacia la parte sur de municipio, se localiza la Planta de Tratamiento de agua Residuales adyacente al Cementerio del Carmen y no se ve afectada por algún tipo de movimiento en masa, sin embargo dada la importancia de esta estructura se deben realizar un Estudio de estabilidad de Taludes con el fin de verificar y si aplica mitigar la inestabilidad puntual.



Ilustración 161 Vista local de la categorización de Amenaza por movimiento en masa en el predio de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.
Fuente: Geocing SAS.

Las zonas de amenaza media (áreas amarillas) de manera general, 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°

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

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.

Además las zonas adyacentes a los márgenes de la quebrada Las Moyas, La Alborada, El Batán y el río Naranjos, ya que por la topografía abrupta genera grandes escarpes y puntos de erosión local haciendo estos puntos susceptibles a generar movimientos en masa.

En el Barrio Nueva Alianza en el costado del margen de la Quebrada Las Moyas se encuentran varias viviendas categorizadas en amenaza alta, dado que se encuentran ubicadas a media ladera, como se puede ver a continuación:



Ilustración 162 Vista local de la categorización de Amenaza por movimiento en masa en el Barrio Nueva Alianza.
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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

11.2 AMENAZA POR INUNDACIÓN

11.2.1 Metodología

El objetivo de este capítulo es evaluar la capacidad hidráulica de los drenajes en el área de estudio en función de sus características de disposición para transitar los niveles de las crecientes máximas a las que se verán exigidas durante un evento de alta o prolongada precipitación.

El estudio hidráulico se fundamentó en el análisis y tránsito de las crecientes probables, en la determinación de los parámetros hidráulicos de las crecientes con periodos de retorno de 15, 100, 500 y 1000 años que se puedan presentar en el área de estudio; así como la determinación de los respectivos caudales de las crecientes analizadas.

Para hallar los parámetros de dinámica fluvial en los tramos de los drenajes estudiados se utilizó el Modelo Matemático denominado HEC-RAS (Versión 5.0.4), RAS Mapper y su extensión en ArcGIS GEO-RAS, del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, utilizando el modelo de elevación digital del terreno -TIN, a partir del cual, se realizó la modelación hidráulica Bidimensional.

11.2.2 Marco teórico

- **Descripción General del Modelo Hec – Ras 2D**

El modelo matemático HEC-RAS desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos denominado "Water Surface Profiles", 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 no estacionario.

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:

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

$$Z_1 + Y_1 + (V_1^2/2g) = Z_2 + Y_2 + (V_2^2/2g) + h$$

En donde:

Zi: Nivel del fondo del canal aguas arriba (1) y abajo (2) del tramo, este término se denomina cabeza de posición, en m.

Yi: Lámina de agua aguas arriba (1) y abajo (2) del tramo, este término se denomina cabeza de presión, en m.

V²/2g: 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 (hf) y localizadas (hl), en m.

Las pérdidas por fricción (hf), para flujo gradualmente variado en un tramo de longitud L del canal se pueden expresar por medio de la ecuación de Manning:

$$h_f = ((S_{e1} + S_{e2})/2)L$$

En donde:

Se1 y Se2 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 m², dividida entre el perímetro mojado P, en m.

El coeficiente de rugosidad de Manning se define de acuerdo con las caracterizaciones de campo (cobertura de suelo), 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:

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

$$h_1 = K \left| \left((V_1^2 / 2g) - (V_2^2 / 2g) \right) \right|$$

En donde:

K: Coeficiente de pérdidas localizadas, adimensional.

Vi: Velocidad promedio aguas arriba (1) y aguas abajo (2) del punto o tramo en donde se produce la pérdida localizada, en m/s.

• Parámetros

Los parámetros de análisis necesarios para desarrollar de manera adecuada el modelo 2D en este software son:

- ✓ Coeficiente de rugosidad n de Manning, en un shape de cobertura del suelo.
- ✓ Hidrogramas unitarios de caudales máximos de entrada.
- ✓ Pendientes de cada drenaje
- ✓ Régimen de flujo sobre el cual se va a calcular (estacionario y no estacionario).

11.2.3 Definición de la geometría y condiciones de flujo

• Procedimiento

El presente modelo se trabaja en unidades internacionales (métricas), usa “GIS tools”, siendo esta herramienta la que apoya en la generación de un modelo de elevación uniforme, se importa el DEM con su propia georreferenciación. Una vez importado el DEM podemos visualizar la geometría en “Geometric Data”, luego se procederá a añadir el área de flujo en 2 dimensiones, esto se logra dibujando el área de interés; luego se procede a dibujar con la herramienta “SA/2d Area BC Lines” las cuales permiten establecer las condiciones de borde en el modelo, y así establecemos las condiciones de frontera.

Luego se procede a editar el área de flujo dibujada previamente, se escoge la opción para generar puntos de cálculo en intervalos regulares con todas las líneas de corte, generando así dimensiones de 4 x 4 metro en este caso para el casco urbano del municipio de San Agustín, después, forzamos la creación de la grilla de estas dimensiones, se guardan los cambios considerados en el modelo y se procede a modificar las condiciones de flujo una vez establecida la grilla y los datos de condiciones de borde.

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

Luego se editan las condiciones de flujo no estacionario, aquí se establecerán primero las condiciones de borde, y a su vez se le añaden las condiciones de pendiente en el caso de aguas abajo, y en aguas arriba se escogerá un hidrograma unitario de flujo; para cada uno se indicará el tiempo de simulación y estos datos de caudales serán importados desde un archivo Excel, el cual contiene los flujos en intervalos de tiempo, por último se guarda el archivo de “Información de flujo no estacionario”.

Finalmente, se corre la simulación como “Análisis de flujo no estacionario”, se coloca un ID para el plan, se escoge el archivo de geometría y el archivo de flujo no estacionario, se escogen adicionalmente los programas a modelar, entre los cuales está el preprocesador de geometría, el simulador de flujo inestable, el post procesador y el Mapeo de la planicie de inundación por el evento de una avenida torrencial o una inundación por desbordamiento, se establece la fecha de inicio y final, se establece los intervalos de computación y el resto de valores como el intervalo de salida de mapeo, el intervalo de salida del hidrograma unitario de flujo y el intervalo de salida detallado, por último se deben guardar los cambios y visualizar los resultados en las herramientas de GIS (RAS Mapper) de Hec-RAS, aquí se puede espacializar la información ejecutada en el modelo.

11.2.4 Resultados del Modelo 2D

Los resultados obtenidos se pueden observar gráficamente y/o en tablas predefinidas, las cuales muestran entre otros el la altura del nivel de agua y la velocidad del flujo.

La información de niveles de agua se traslada al programa computacional ArcGIS con el fin de elaborar el plano de la mancha de desbordamiento por un evento de una avenida torrencial espacial y una inundación por desbordamiento sobre el área estudiada (la mancha de desbordamiento da los límites geométricos hasta donde llega la inundación y la avenida torrencial). Sobre esta mancha de inundación y avenida torrencial se visualizan las obras de infraestructura que podrían verse afectadas.

En este, orden de ideas, los parámetros básicos de entrada al modelo matemático HEC-RAS (Versión 5.0.4) para la zona de estudio son el modelo de elevación de terreno, los drenajes del área de estudio, la cobertura del suelo con sus respectivas rugosidades, los hidrogramas unitarios de flujo y las condiciones de flujo, que para este caso fue modelado en flujo no estacionario.

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

11.2.5 Insumos modelo hidráulico

- **Drenajes de Estudio**

Utilizando el ortofotomosaico y por medio de visitas a campo, se logró identificar los cauces actuales y abandonados, con el fin de localizar los puntos críticos para realizar el levantamiento batimétrico y construcción del modelo hidráulico.

En la siguiente ilustración se demarcan los drenajes que atraviesan sobre el área de estudio. El drenaje más importante es la quebrada Las Moyas el cual discurre transversalmente al extremo sur-oriental del área de estudio. También se demarcan las quebradas El Batán, La Alborada y Q_NN3 los cuales son afluentes de la quebrada Las Moyas y discurren longitudinalmente hacia el extremo oriental del polígono; mientras las quebradas Q_NN1 y Q_NN2 (nombres adoptados por el consultor), discurren longitudinalmente hacia el extremo sur-occidental del polígono.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

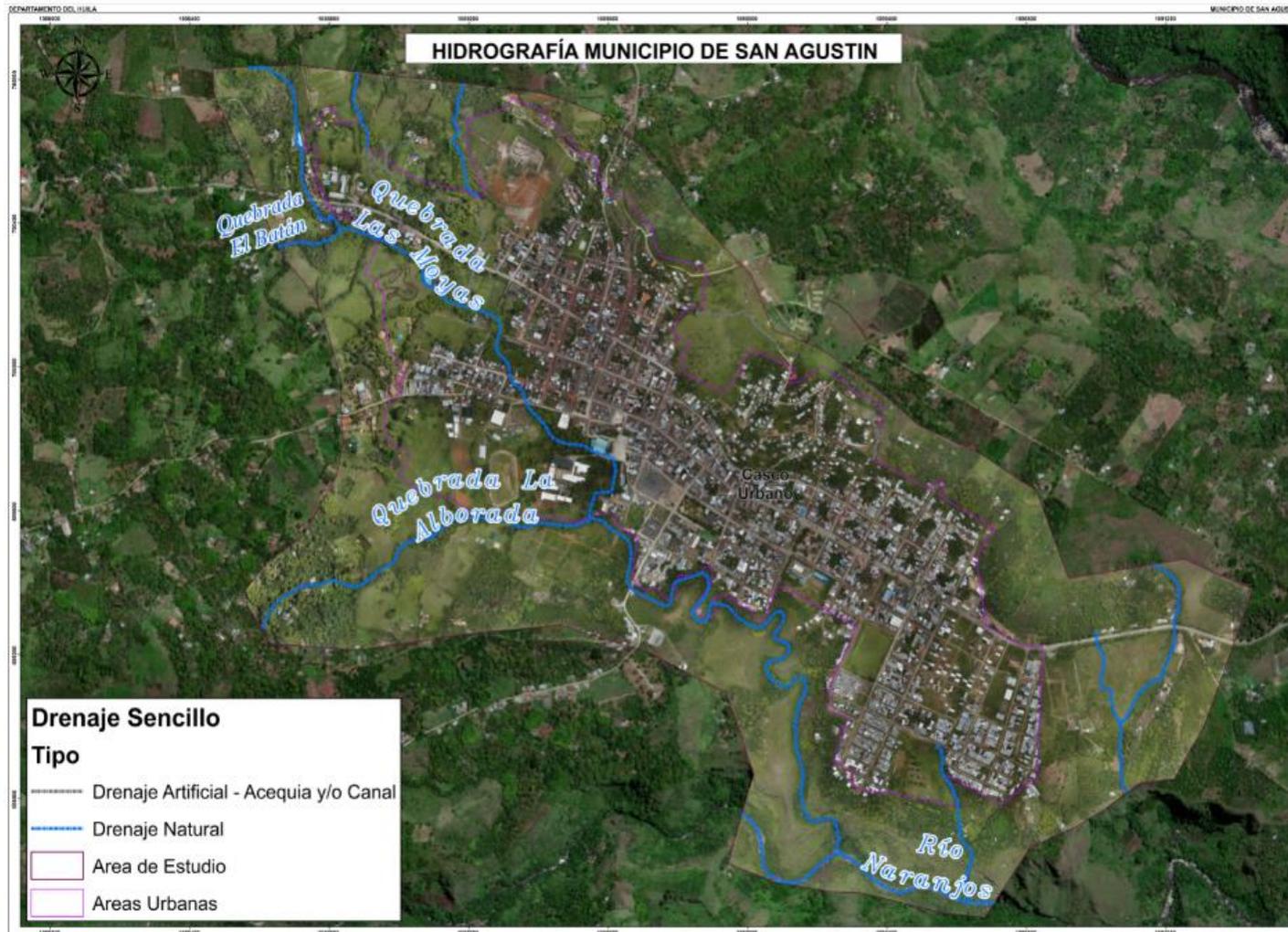


Ilustración 163. Mapa hidrográfico del casco urbano de San Agustín.

Fuente: Geocing SAS.

Dirección de correo: Calle 120 No. 49-44
Teléfono (1) 7046969 / (1) 7458541
Bogotá D.C.

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

11.2.6 Levantamiento topobatimétrico

- **Modelo de elevación DEM**

El levantamiento de la información de campo, se fundamentó en la obtención de una nube de puntos en sus quebradas existentes dentro del área de estudio, por medio de secciones batimétricas las cuales incluyen las áreas aledañas a los cauces, llamadas zonas probablemente inundables y estructuras hidráulicas, con el fin de conseguir un modelo de elevación digital del terreno.

Una vez realizada la integración de la información del ortofotomosaico y del levantamiento topobatimétrico, se generó el producto final del modelo de elevación digital (MDT) como se observa en la Ilustración 164 del casco urbano.

En la Ilustración 164 se presenta el modelo digital de terreno, donde se observa que al nor-occidente del área de estudio se encuentra la zona de mayor altitud debido a que la zona de estudio tiende a ser plana, y a medida que va hacia el sur-oriente empieza a disminuir el gradiente de altura debido a las bajas pendientes que generan las quebradas.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

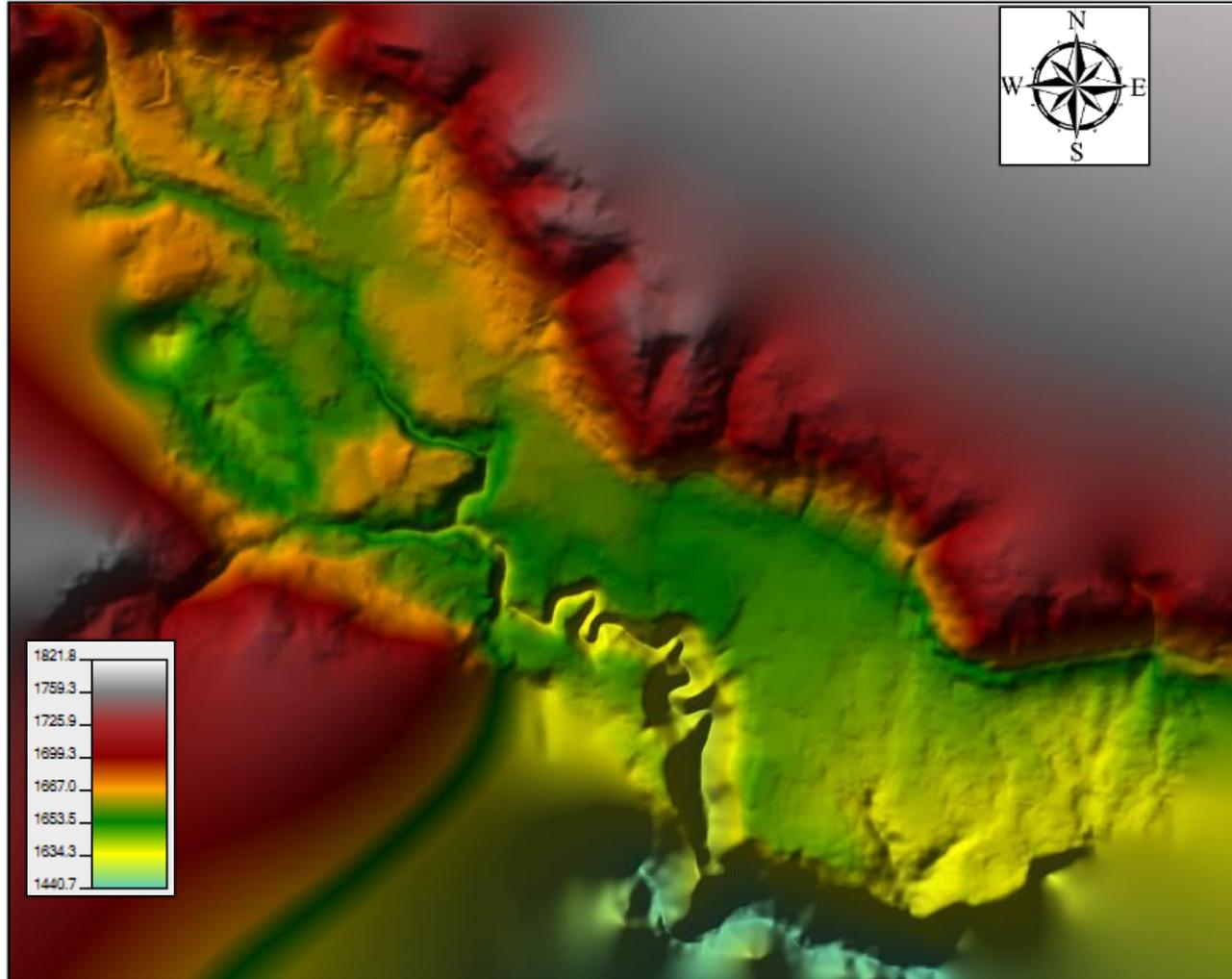


Ilustración 164 Modelo de elevación digital del terreno – MDT del municipio de San Agustín.

Fuente: Geocing SAS

Dirección de correo: Calle 120 No. 49-44
Teléfono (1) 7046969 / (1) 7458541
Bogotá D.C.

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

11.2.7 Cobertura del suelo

La cobertura del suelo es el insumo principal para la selección del coeficiente de rugosidad a utilizar en la modelación hidráulica.

La rugosidad (n de manning's value) se define como la resistencia que genera una superficie a las fuerzas gravitatorias que generan el movimiento de un fluido, y por lo tanto alterando la velocidad de flujo. Los coeficientes de rugosidad de Manning son valores adimensionales los cuales varían por los siguientes factores (Chow, Maidment, & Mays, 1994):

- ✓ Rugosidad Superficial: Se define por el tamaño y forma de los granos de los materiales del perímetro mojado.
- ✓ Vegetación: Es considerada como un tipo de rugosidad superficial, ya que altera el flujo normal del agua, esta depende de la altura, densidad, distribución y tipo de vegetación.
- ✓ Obstrucción: La presencia de obstrucciones que alteren el flujo natural como lo pueden ser troncos, obras hidráulicas, rocas y cualquier tipo de elemento que evite el curso natural del fluido.
- ✓ Nivel: En medida que la altura de la lámina de agua aumenta se presenta una reducción en el valor de la rugosidad, debido a que las irregularidades del fondo del canal quedan expuestas y los efectos son más pronunciados. Sin embargo, el n de manning puede mantenerse alto en niveles altos debido a la vegetación de las bancas.

- **N – manning casco urbano del municipio de San Agustín**

A partir de la revisión de la cobertura del suelo y en consideración con los anteriores valores establecidos por Ven Te Chow (1994) se asignaron los diferentes n de Manning para el casco urbano del municipio de San Agustín, los cuales se presentan en la Tabla 76 e Ilustración 165. 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.

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

Tabla 76. Coeficientes de rugosidad de Manning seleccionados para el casco urbano del municipio de San Agustín.

Color	Value	Name	Default Manning's n
	0	nodata	
	1	arbustal abierto	0.05
	2	areas deportivas	0.02
	3	bosque de galería y ripario	0.075
	4	caf?	0.045
	5	canales	0.017
	6	escombreras	0.03
	7	estanques para acuicultura ...	0.045
	8	herbazal abierto	0.05
	9	instalaciones recreativas	0.02
	10	mosaico de cultivos	0.037
	11	mosaico de cultivos y espac...	0.037
	12	mosaico de pastos y cultivos	0.037
	13	otras zonas verdes urbanas	0.022
	14	parque cementerio	0.02
	15	parques urbanos	0.022
	16	pastos arbolados	0.03
	17	pastos enmalezados	0.03
	18	pastos limpios	0.03
	19	pl?tano y banano	0.045
	20	red vial y terrenos asociados	0.02
	21	rios	0.08
	22	tejido urbano continuo	0.02
	23	tejido urbano discontinuo	0.025
	24	tierras desnudas y degradad...	0.025
	25	vegetaci?n secundaria o en...	0.05
	26	zonas industriales	0.02

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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

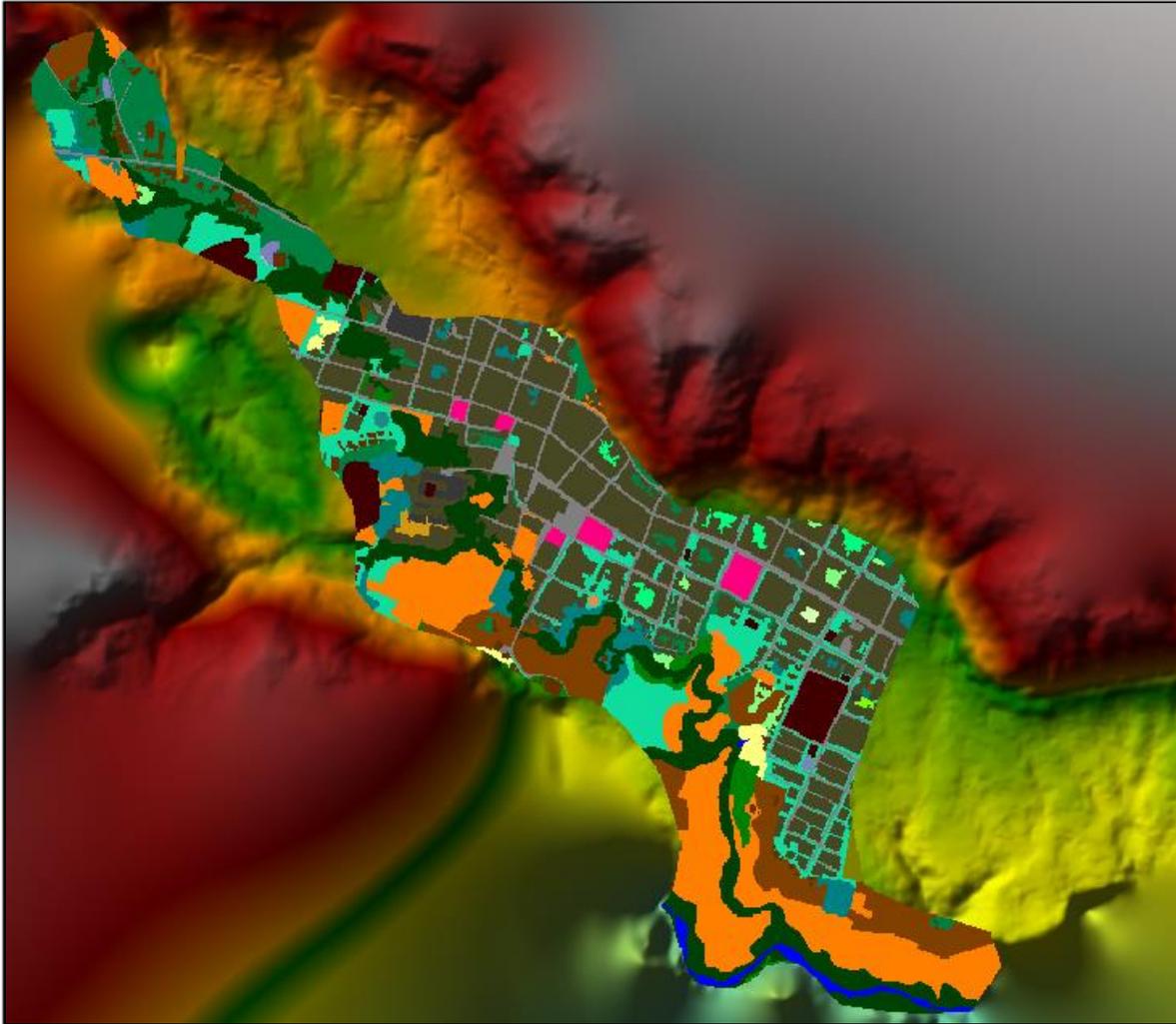


Ilustración 165 Distribución espacial de los N-Manning de la tabla 77 según su cobertura del suelo para el casco urbano del municipio de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

11.2.8 Modelación hidráulica del pico de crecientes.

Para la modelación hidráulica del pico de crecientes por inundación se transitaron 3 tipos, con caudales picos e hidrogramas unitarios con períodos de retorno 15, 100 y 500 años. A continuación se presenta en la Tabla 77 los caudales máximos esperados en las quebradas Las Moyas, El Batán, La Alborada, Q_NN1, Q_NN2 y Q_NN3 (nombres adoptados por el consultor). Para consultar la información a mayor detalle dirigirse al Anexo 4 – 1. HEC-HMS en el lenguaje original del software empleado.

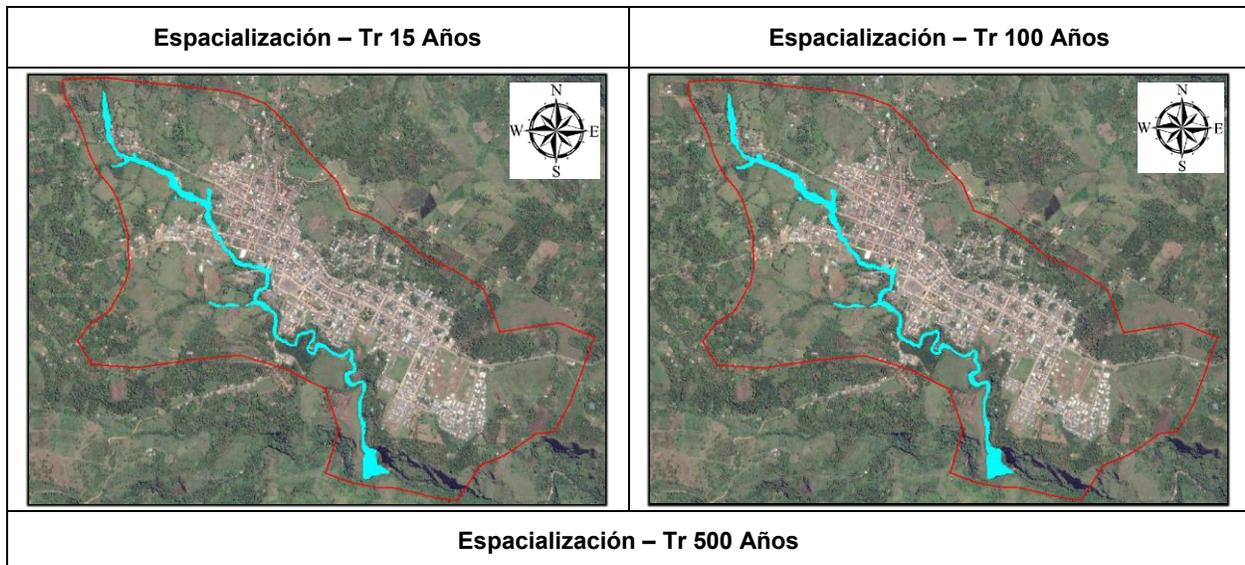
	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN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

Tabla 77. Caudales de las Crecientes Pico esperadas en la quebrada Las Moyas con sus respectivos afluentes.

Caudal Max (m3/s) - Tr Años				
N°	Corriente	Tr 15	Tr 100	Tr 500
1	Q_Moyas	13.90	16.90	65.90
2	Q_Moyas_Completa	16.80	47.10	76.20
3	Q_NN_1	3.10	7.80	12.30
4	Q_NN_2	2.00	4.80	7.40
5	Q_NN_3	0.60	1.30	2.10
6	Q_El_Batán	4.50	12.20	19.50
7	Q_La_Alborada	1.40	3.60	5.70

Fuente: Geocing SAS.

Con base en los caudales máximos estimados para el tránsito de las inundaciones por desbordamientos, se realizaron las respectivas modelaciones hidráulicas de las quebradas, donde fue posible espacializar, caracterizar velocidades y alturas de dichas crecientes, tal como se visualiza a continuación en la Ilustración 166.



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

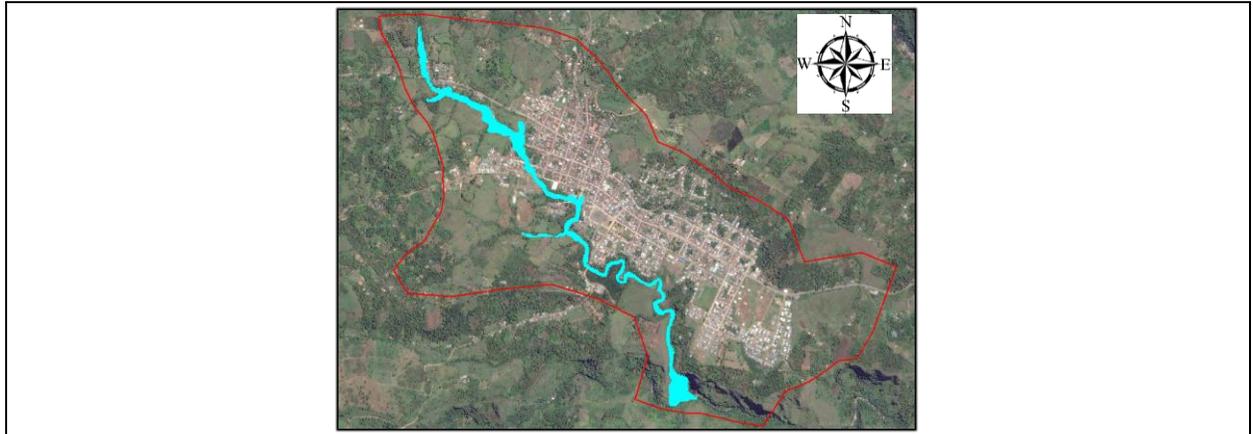


Ilustración 166 Espacialización de la inundación con periodos de retorno de 15, 100 y 500 años en las quebradas Las Moyas y sus afluentes a la altura del casco urbano del municipio de San Agustín.

Fuente: Geocing SAS.

Dentro del casco urbano del municipio se identificaron diferentes estructuras hidráulicas como box culvert y puentes debido a que el cauce de la quebrada Las Moyas pasa por el casco urbano del municipio y atraviesa varias vías. En el inventario de estructuras hidráulicas para el municipio de San Agustín se identificaron 4 puentes y 3 box culvert; dentro de los cuales se encuentra el box culvert el cual atraviesa la quebrada Las Moyas en la calle 4 el cual tiene aproximadamente como dimensiones un ancho de 7 m y un gálibo de 3 m (Ver Ilustración 167).

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



Ilustración 167. Puente las Moyas parte alta.
Fuente: Geocing SAS.

Los resultados obtenidos de la simulación del modelo de inundación por desbordamientos en HEC-RAS 2D, permitió la generación de los mapas de amenaza por inundación. Con base a las manchas de inundación generadas se identificaron varios sectores que se vieron afectados por las diferentes crecientes de 15, 100 y 500 años; se logra establecer que en algunos tramos los drenajes se encuentran encañonados por lo que las crecientes asociadas a estos periodos de retorno en condiciones normales no presentan rebose lateral pero debido a la intervención antrópica se genera reducción en las áreas hidráulicas relacionado con las estructuras hidráulicas como puentes y box culverts, las cuales derivan en represamientos aguas arriba de los mismos y reboses laterales que afectan a las zonas aledañas. Según los resultados de la modelación se establecieron siete sectores que se verían afectados y se describen a continuación:

Sector 1: Corresponde a un tramo de la quebrada Las Moyas el cual se encuentra canalizado debido a la construcción de un predio en el cual se ubica una piscina y una edificación que se ven afectados por el rebose lateral que presenta el drenaje aguas arriba; este rebose se presenta debido a que la obra hidráulica no cumple con la capacidad requerida para el transporte del caudal correspondiente a un periodo de retorno de 100 años, tal como se presenta en la Ilustración 168.

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



Ilustración 168. Comportamiento lámina de Agua sector 1.
Fuente: Geocing SAS.

Sector 2: Como se presenta en la Ilustración 169 el sector dos hace referencia a una zona en la cual se encuentran 11 predios, los cuales algunos de ellos se ven afectados debido a la ubicación que presenta respecto al drenaje y la intervención que han generado en el cauce de la quebrada las Moyas.



Ilustración 169. Comportamiento lámina de Agua sector 2.
Fuente: Geocing SAS.

Sector 3: Como se presenta en la Ilustración 170 el sector 3 hace referencia a la zona donde se ubica la piscina municipal, la cual está a menos de tres metros del cauce, por lo que para el caudal asociado a un periodo de retorno de 100 años generaría una afectación en la misma y en edificación aledaña, alcanzando un una altura de hasta 1 m.

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



Ilustración 170. Comportamiento lámina de Agua sector 3.
Fuente: Geocing SAS.

Sector 4: Corresponde a un tramo longitudinal de 374 m ubicado entre la calle 2 y 4 con las carreras 15 y 17, donde se ven afectados varios predios tal como se presentan en la Ilustración 171, esto debido a la intervención antrópica en la zona que ha generado cambios en la sección hidráulica de la quebrada Las Moyas y la topografía de sus márgenes.



Ilustración 171. Comportamiento lámina de Agua sector 4.
Fuente: Geocing SAS.

Sector 5: En este sector se encuentra ubicado el coliseo donde esta canalizada la quebrada Las Moyas por un box culvert, el cual no cumple con la capacidad hidráulica

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

correspondiente para transitar el caudal asociado a un periodo de retorno de 100 años generando un rebose lateral que llega hasta la calle 1 e inundando gran parte de la construcción, tal como se presenta en la Ilustración 172.



Ilustración 172. Comportamiento lámina de Agua sector 5.
Fuente: Geocing SAS.

Sector 6: Sobre la calle 1ª se ven afectados por el rebose lateral de la quebrada Las Moyas tal como se presenta en la Ilustración 173, con una altura de lámina de agua que alcanza 0,6 m en los predios, esto debido a que se ubican en una zona que la sinuosidad del drenaje es tangencial en las curvas.



Ilustración 173. Comportamiento lámina de Agua sector 6.
Fuente: Geocing SAS.

Sector 7: En el sector 7 se identifican tres predios los cuales se encuentran en riesgo por el rebose lateral que se presenta en el cauce de la quebrada Las Moyas sobre la carrera 9, debido a que la obra hidráulica construida para esta vía no tiene la capacidad para transportar el caudal asociado a un periodo de retorno de 100 años, tal como se presenta en la Ilustración 174.

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



Ilustración 174. Comportamiento lámina de Agua sector 7.
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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

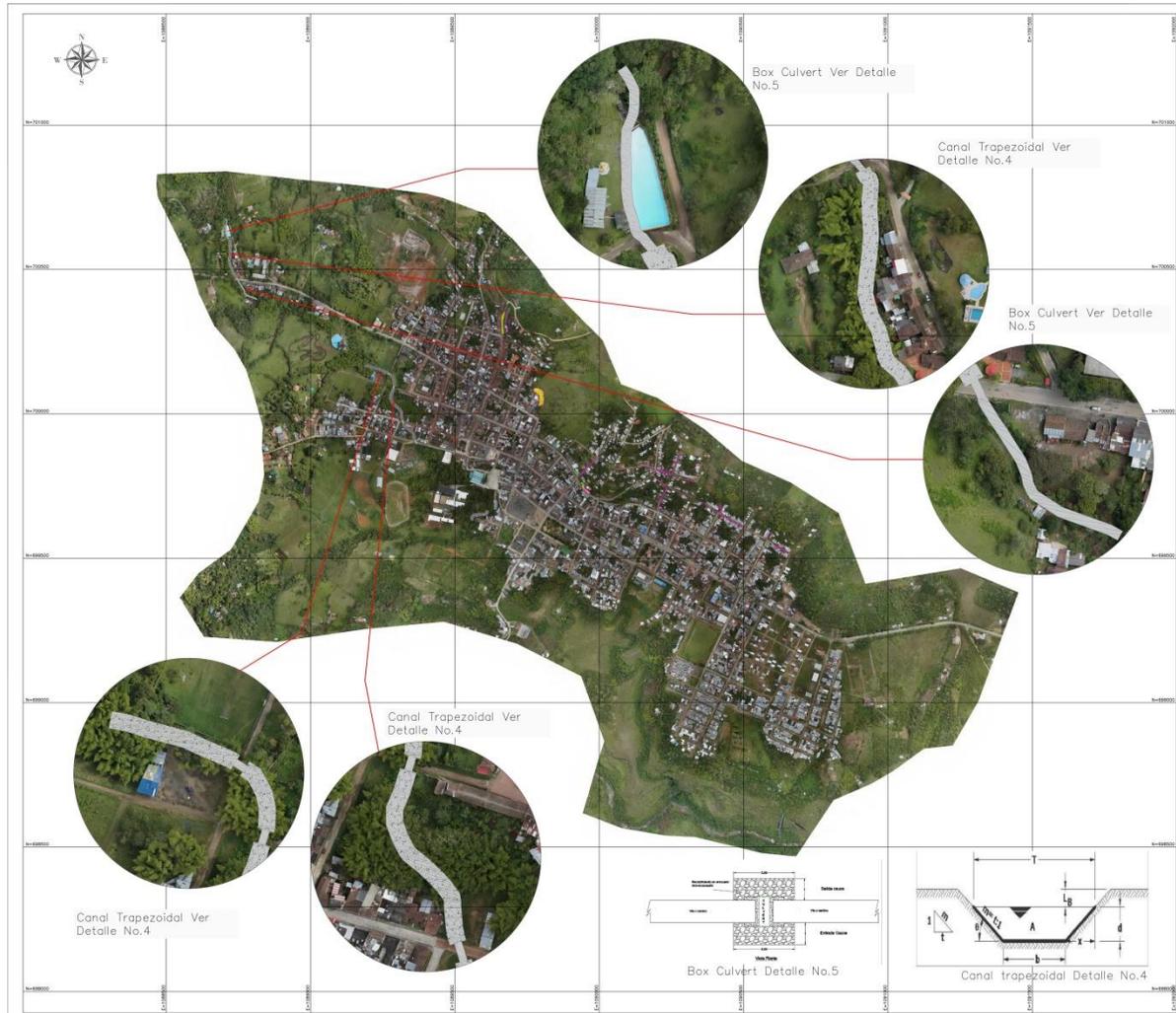


Ilustración 175. Ubicación puntos de interés amenaza por inundación.

Fuente: Geocing SAS

Dirección de correo: Calle 120 No. 49-44
Teléfono (1) 7046969 / (1) 7458541
Bogotá D.C.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN



Ilustración 176. Ubicación puntos de interés amenaza por inundación.
Fuente: Geocing SAS

Dirección de correo: Calle 120 No. 49-44
Teléfono (1) 7046969 / (1) 7458541
Bogotá D.C.

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

En la Ilustración 175 e Ilustración 176 se presenta la correspondiente ubicación de los puntos de interés establecidos para la amenaza por inundación, estableciendo que los puntos se ubican principalmente en la quebrada Las Moyas sobre el costado centro y occidental de la cabecera municipal.

11.2.9 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 78.

Tabla 78. Categorización de Amenaza por Inundación.

CATEGORÍA		PERÍODO DE RETORNO (años)	DESCRIPCIÓN
I	Bajo	1000	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.
II	Medio	500	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.
III	Alto	100	La Inundación puede ser inminente. Los eventos ocurrirían con un período de retorno menor a 100 años.

Fuente: Geocing SAS.

- **Evaluación De La Amenaza**

Integrando las modelaciones realizadas se obtuvo la zonificación de amenaza por inundación del casco urbano del municipio, la cual involucra las quebradas Las Moyas, El Batán, La Alborada, Q_NN1 y Q_NN2 (nombre adoptado por el consultor).

Según la categorización de la amenaza presentada en el numeral 11.2.10, se integraron las áreas correspondientes a las categorías de amenaza baja, media y alta para el casco urbano, a partir de la cual se generó la Ilustración 177, la cual presenta las zonas críticas evaluadas en el casco urbano del municipio de San Agustín, para mayor detalle en el Anexo 6. Mapas, se puede consultar el mapa de amenaza por inundación final.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN



Ilustración 177. Mapa de Amenaza por inundación del casco urbano del municipio de San Agustín.

Fuente: Geocing SAS.

Dirección de correo: Calle 120 No. 49-44
Teléfono (1) 7046969 / (1) 7458541
Bogotá D.C.

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

En la Tabla 79 se presentan las áreas correspondientes a las categorías de amenaza por inundación, estableciendo que la mayor área del casco urbano se categoriza con amenaza baja con el 94,30% del área total, lo cual corresponde a 326,02 Ha, seguido por el 3,05% del área total que corresponde a la categoría de amenaza alta con 10,56 Ha, y la amenaza media representa el 2,65% del área total.

Tabla 79. Áreas y Porcentajes de cada nivel de amenaza por Inundación.

Amenaza Total Por Inundación	Área (Ha)	Área %
Alta	10.56	3.05%
Media	9.14	2.65%
Baja	326.02	94.30%
Total	345.72	100%

Fuente: Geocing SAS.

De acuerdo al mapa de amenaza por inundación el municipio en general no presenta mayores problemas pues el cauce se encuentra encañonado y no presenta valles de inundación sobre sectores habitados; adicionalmente de acuerdo a las visita realizado sobre el casco urbano se identificaron que las estructuras hidráulicas como son los box culvert y puentes fueron diseñados para periodos de retorno de hasta 30 años por consiguiente, de acuerdo al presente estudio en el cual se tuvieron en cuenta las lluvias máximas para un periodo de retorno de 100, 500 y 1000 años, presentan una sobre carga hidráulica lo que ocasiona un resalto hidráulico justo antes de la estructura aumentando la cota de la lámina de agua al no ser evacuada de manera eficaz.

El box culvert que presenta mayor insuficiencia en cuanto a la carga hidráulica está ubicado sobre la carrera 17 y la calle 4 en donde en caso de presentarse un evento de 500 años sobre pasaría la cota máxima de la vía; inundado esta zona y represando sus aguas debido a la evacuación lenta que se presentaría.

Por otra parte se presenta inundación en las dos piscinas ubicadas al occidente del casco urbano por la quebrada Las Moyas, pues de acuerdo a la modelación hidráulica y al registro histórico de eventos, en los dos sectores se presentan inundaciones debido a la intervención antrópica sobre la quebrada provocando que las sección del cauce no sea la suficiente para transportar el flujo ocasionando el desbordamiento.

Se observa en la Ilustración 177, en el coliseo se presenta alturas de lámina de 0.5 m a 1.0 m para un evento de 100 años, provocando que la estructura no soporte la capacidad de evacuar de forma adecuada sus aguas presentando un represamiento aguas arriba.

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

11.3 AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES

Los movimientos en masa, inundación y avenida torrencial son frecuentes en el territorio colombiano debido a la combinación de factores como topografía abrupta, precipitaciones, ocurrencia sísmica, eventos naturales y procesos antrópicos, dejando como consecuencia grandes afectaciones a nivel regional y local. Por ello se hace necesario tener una especialización de las condiciones de estabilidad del terreno para poder desarrollar planes para la gestión del riesgo.

Las avenidas torrenciales son un tipo de movimiento en masa que se desplazan generalmente por los cauces de las quebradas y ríos, llegando a transportar volúmenes importantes de sedimentos y escombros, con velocidades peligrosas para los habitantes e infraestructura ubicados en las zonas de acumulación de cuencas de montaña susceptibles de presentar este tipo de fenómenos (Caballero, 2011).

La avenida torrencial es un flujo violento de agua en una cuenca, a veces reportado como creciente (súbito o rápido), o como torrente. Se aplica cuando en los reportes aparece como “avalancha”, cuando la avenida transporta troncos de árboles y/o abundantes sedimentos desde finos hasta bloques de roca. Pueden ser generados por lluvias, por ruptura de represamientos o por abundantes deslizamientos sobre una cuenca (DESINVENTAR).

En este informe se determina la amenaza por avenidas torrenciales según la metodología por simulaciones del modelo matemático HEC-RAS 2D (Versión 5.0.4), presentando la zonificación de amenaza por avenidas torrenciales a escala (1:2.000), para el casco urbano del municipio de San Agustín.

11.3.1 Categorización de la Amenaza por avenidas torrenciales.

El presente estudio consigna los resultados de los análisis hidrológicos e hidráulicos para la determinación de la amenaza por avenida torrencial en la zona del casco urbano del municipio de San Agustín - Departamento del Huila, para el cual se empleó cartografía urbano a escala 1: 2000 y topobatimetría de detalle a escala 1:2.000 en las modelaciones hidráulicas, además de los registros de caudales y niveles, resumen de las estaciones hidrológicas localizadas en el área de influencia del casco urbano, que son operadas por el IDEAM, las cuales permitieron determinar las crecientes probables para diferentes períodos de retorno, de los cuerpos de agua analizados, con el fin de establecer las diferentes cotas de las crecientes extremas probables; además de la condición de amenaza de avenida torrencial de ríos, quebradas y drenajes; este informe está basado en el análisis de información recolectada en campo (datos topográficos,

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

hidrotopográficos y registro fotográfico), e información existente (datos hidrológicos, cartografía, estudios anteriores de la zona, entre otros).

A continuación, en la Tabla 80 se presenta la clasificación de la Amenaza por avenida torrencial.

Tabla 80. Clasificación de Amenaza por Avenida torrencial.

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.

Fuente: Geocing SAS.

11.3.2 Modelación hidráulica del pico de crecientes.

Para la modelación hidráulica del pico de crecientes de la avenida torrencial se transitó 4 tipos, con caudales picos e hidrogramas unitarios con períodos de retorno 15, 100 y 500 años, los cuales fueron incrementados en un 40% adicional, correspondiente al volumen de sedimentos y escombros que podrían llegar a transitar.

A continuación se presenta en la Tabla 81 los caudales máximos esperados en las quebradas Las Moyas, El Batán, La Alborada, Q_NN1, Q_NN2 y Q_NN3 (nombres adoptados por el consultor). Para consultar la información a mayor detalle dirigirse al Anexo 4 – 1. HEC-HMS en el lenguaje original del software empleado.

Tabla 81. Caudales de las Crecientes Pico esperadas en la quebrada Las Moyas con sus respectivos afluentes.

Caudal Max (m3/s) - Tr Años				
N°	Corriente	Tr 15	Tr 100	Tr 500
1	Q_Moyas	19.46	23.66	92.26
2	Q_Moyas_Completa	23.52	65.94	106.68
3	Q_NN_1	4.34	10.92	17.22
4	Q_NN_2	2.80	6.72	10.36
5	Q_NN_3	0.84	1.82	2.94
6	Q_EI_Batán	6.30	17.08	27.30

Dirección de correo: Calle 120 No. 49-44
Teléfono (1) 7046969 / (1) 7458541
Bogotá D.C.

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

Caudal Max (m3/s) - Tr Años				
Nº	Corriente	Tr 15	Tr 100	Tr 500
7	Q_La_Alborada	1.96	5.04	7.98

Fuente: Geocing SAS.

Con base en los caudales y/o volúmenes estimados para el tránsito las avenidas torrenciales, se realizaron las respectivas modelaciones hidráulicas de las quebradas, donde fue posible espacializar, caracterizar velocidades y alturas de dichas crecientes, tal como se visualiza a continuación en la Ilustración 178.

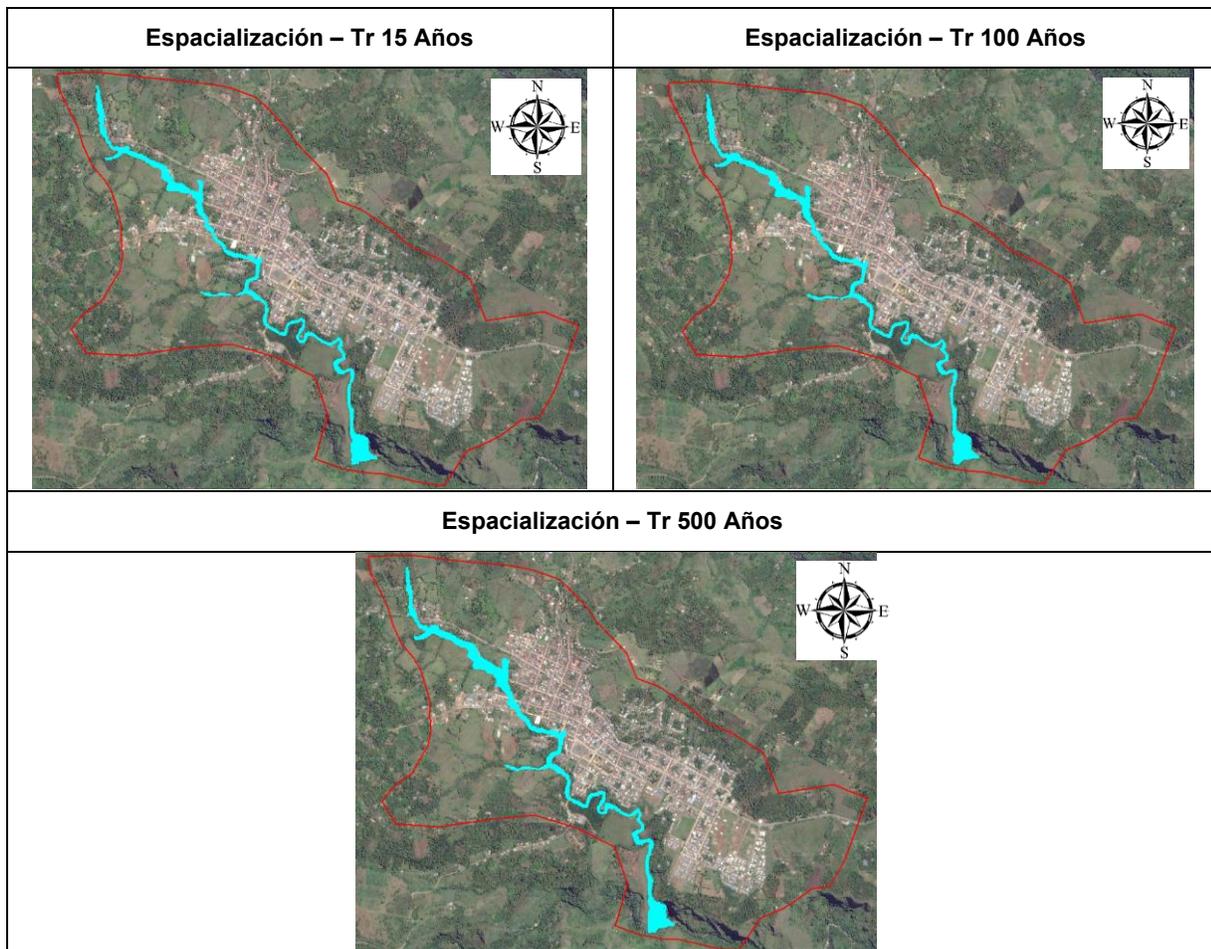


Ilustración 178 Espacialización de la avenida torrencial con periodos de retorno de 15, 100 y 500 años en las quebradas Las Moyas y sus afluentes a la altura del casco urbano del municipio de San Agustín.

Fuente: Geocing SAS.

Los resultados obtenidos de la simulación del modelo de avenidas torrenciales en HEC-RAS 2D, permitió la generación de los mapas de amenaza por avenidas torrenciales, en

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

los cuales la topografía, el volumen de flujo y los porcentajes de aporte volumétrico de sedimentos al flujo en las diferentes corrientes influyen en los resultados obtenidos, debido a que si se combinan estos parámetros se puede intuir comportamientos diferentes en las corrientes.

Con base en los resultados obtenidos se observa que presentan procesos de socavación lateral y de fondo muy puntuales en la quebrada Las Moyas, generando tipos de afectaciones en las bases de las laderas comprometiendo vías y viviendas, debido a que las márgenes están compuestas por un material aluvial transportado en estos cauces y se caracteriza por presentar una pendiente moderada a baja, y que se encuentran entallados en escarpes de diferente longitud que son altamente susceptibles a la erosión hídrica, el cual se encuentran en unidades geomorfológicas como lo es el cauce aluvial (Fca).

Así mismo, se observa que en el casco urbano del municipio de San Agustín, en la quebrada Las moyas presentan eventos históricos de torrencialidad por el tipo de material que se presenta en las márgenes del cauce activo, que podrían ser transportados durante periodos de alta precipitación. En la quebrada Las Moyas presentan reboses laterales en algunos tramos representando amenaza para la zona poblada y así generando afectaciones a algunas viviendas, vías y estructuras hidráulicas existentes (Ver Ilustración 179).

Finalmente, 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, 1.981). Este proceso tiene una incidencia baja y se presenta sobre las márgenes de la quebrada las Moyas y sus tributarios.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

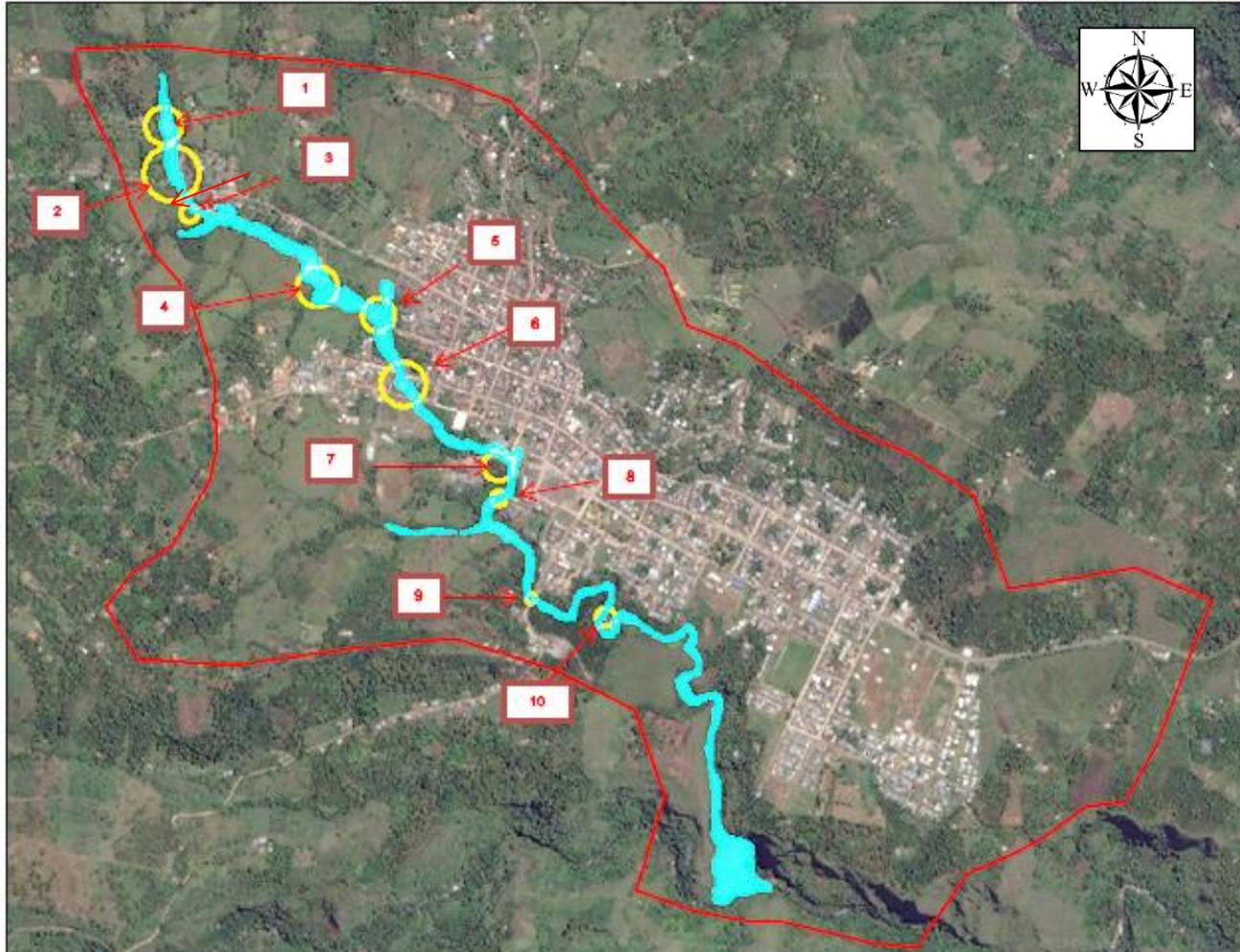


Ilustración 179. Ubicación puntos de interés amenaza por avenida torrencial.
Fuente: Geocing SAS

Dirección de correo: Calle 120 No. 49-44
Teléfono (1) 7046969 / (1) 7458541
Bogotá D.C.

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

En la Ilustración 179 se presenta la correspondiente ubicación de los puntos de interés establecidos para la amenaza por avenidas torrenciales, estableciendo que los puntos se ubican principalmente en la quebrada Las Moyas sobre el costado centro y occidental de la cabecera municipal.

11.3.3 Resultados de la Amenaza por avenidas torrenciales.

Integrando las modelaciones realizadas se obtuvo la zonificación de amenaza por avenida torrencial del casco urbano, la cual involucra la quebrada Las Moyas.

Según la categorización de la amenaza presentada en el numeral 11.3.1, se integraron las áreas correspondientes a las categorías de amenaza baja, media y alta para el casco urbano, a partir de la cual se generó la Ilustración 180.

A continuación se presenta el mapa de Amenaza por el fenómeno de avenida torrencial.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN



Ilustración 180. Mapa de amenaza por Avenida Torrencial del Casco urbano del municipio de San Agustín - Huila.
Fuente: Geocing SAS.

Dirección de correo: Calle 120 No. 49-44
Teléfono (1) 7046969 / (1) 7458541
Bogotá D.C.

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

En la Tabla 82 se presentan las áreas correspondientes a las categorías de amenaza por avenida torrencial, estableciendo que la mayor área del casco urbano se categoriza con amenaza baja con el 94,61% del área total, lo cual corresponde a 326,68 Ha, seguido por el 3,35% del área total que corresponde a la categoría de amenaza alta con 11,58 Ha, y la amenaza media representa el 3,35% del área total.

Tabla 82 Áreas y Porcentajes de cada nivel de amenaza por Avenida Torrencial.

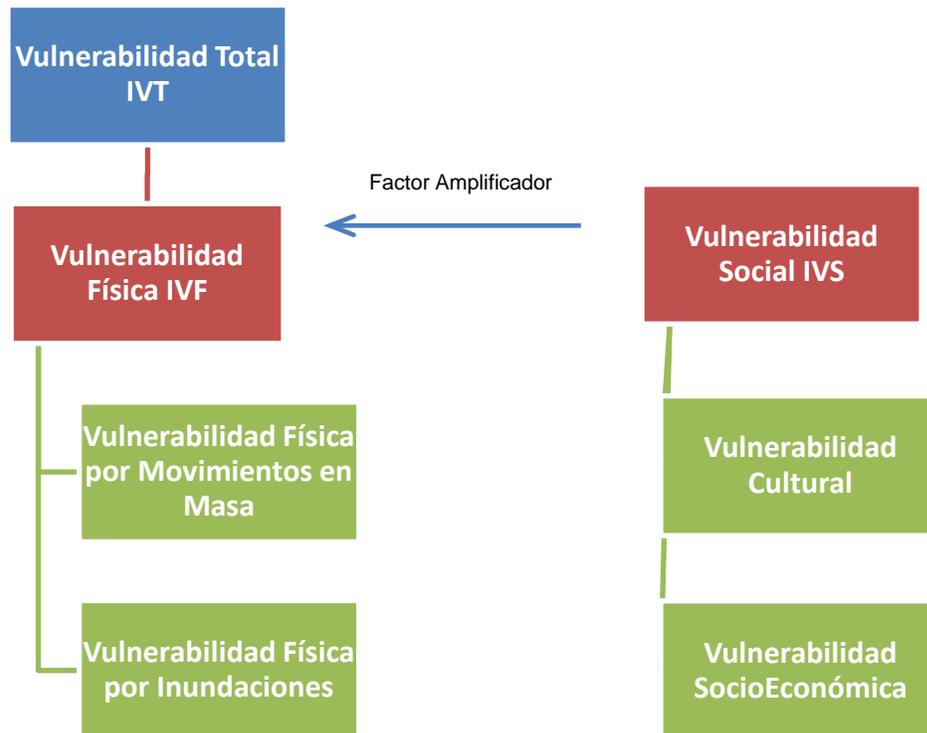
Amenaza Total por Avenida Torrencial	Área (Ha)	Área %
Alta	11,58	3,35%
Media	7,04	2,04%
Baja	326,68	94,61%
Total	345,31	100%

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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

12 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 e inundación.



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.

12.1 METODOLOGÍA PARA LA VULNERABILIDAD

12.1.1 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

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

debido a que se basa en múltiples criterios de decisión; este método 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.

- **Objetivo**

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 181

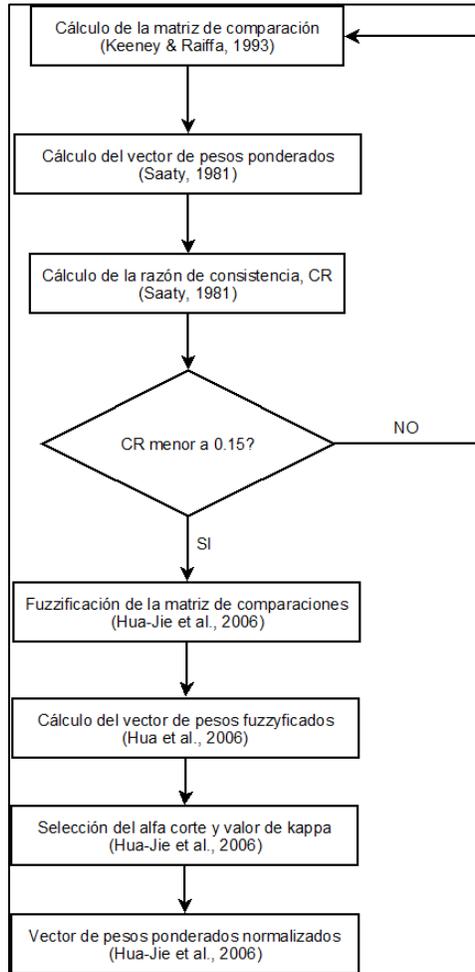


Ilustración 181. Diagrama de flujo del proceso propuesto para la evaluación de los pesos ponderados normalizados utilizando metodología AHP-difuzza.

Fuente: Geocing SAS.

12.1.2 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:

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

$$a_{ii} = 1, \text{ para } i = 1, 2, \dots, n$$

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$$

La comparación se hace por pares, obteniendo $\frac{n(n-1)}{2}$ comparaciones, siguiendo

Los siguientes criterios de calificación:

Tabla 83. 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.

Fuente: Geocing SAS.

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:

$$\{w_i\} = \left\{ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left[\frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{ik}} \right] \right\} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

(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:

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

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

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):

$$IC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j>i}^n \left(Ln a_{ij} - Ln \frac{v_i}{v_j} \right)^2}{\frac{(n-2)(n-2)}{2}}, \quad v_{r=i \text{ ó } j} = \sqrt[n]{\prod_{k=1}^n a_{rk}}$$

De otra parte, el término **IA** es el “Índice de Aleatoriedad”, cuyos valores son los presentados en la Tabla 84.

Tabla 84. 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.

12.1.3 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 182) o inversa (Ilustración 183), y cuyos valores se presentan en la

Tabla 85.

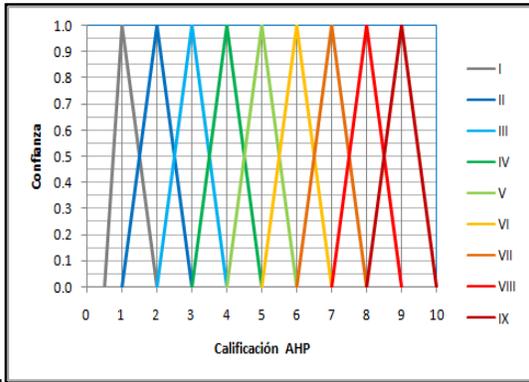


Ilustración 182. Calificación difusa de los criterios de calificación AHP (relación directa).

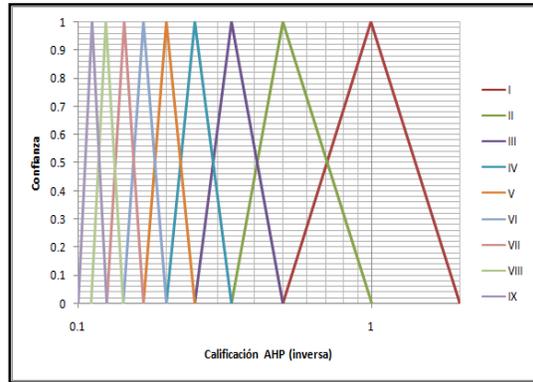


Ilustración 183 Calificación difusa de los criterios de calificación AHP (relación inversa).

Tabla 85. 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

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

difusos o borrosos triangulares definidos anteriormente, según la categoría difusa, obteniendo la matriz difuza o borrosa de comparaciones (Hua-Jie et al., 2006):

$$[A] = \begin{pmatrix} (1,1,1) & \dots & (a_{1n_l}, a_{1n_m}, a_{1n_u}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ (a_{n_l}, a_{n_l m}, a_{n_l u}) & \dots & (1,1,1) \end{pmatrix}$$

- **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 □) 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 desfuzzificación 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 α 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:

$$P_{i\alpha_l} = [\alpha \cdot (w_{i_m} - w_{i_l})] + w_{i_l}$$

$$P_{i\alpha_r} = w_{i_u} - [\alpha \cdot (w_{i_u} - w_{i_m})]$$

$$P_{i\alpha} = \begin{pmatrix} [P_{1\alpha_l}, P_{1\alpha_r}] \\ \vdots \\ [P_{n\alpha_l}, P_{n\alpha_r}] \end{pmatrix}$$

 <p>COMISIÓN NACIONAL DE AVALUACIÓN DE RIESGOS ¡Cuida la naturaleza!</p>	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
 <p>GEOCING SAS Geociencias e Ingeniería</p>	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

Donde los valores l y r representan el valor izquierdo y derecho del conjunto de intervalos. Posteriormente se selecciona el valor kappa (valor de κ 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):

$$\{C_{i\alpha}\} = \left\{ \frac{\kappa \cdot P_{i\alpha_r} + (1 - \kappa) \cdot P_{i\alpha_l}}{\sum_{j=1}^n (\kappa \cdot P_{j\alpha_r} + (1 - \kappa) \cdot P_{j\alpha_l})} \right\}, i = 1, 2, \dots, n$$

- **Método de calificación**

En la Ilustración 184 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.

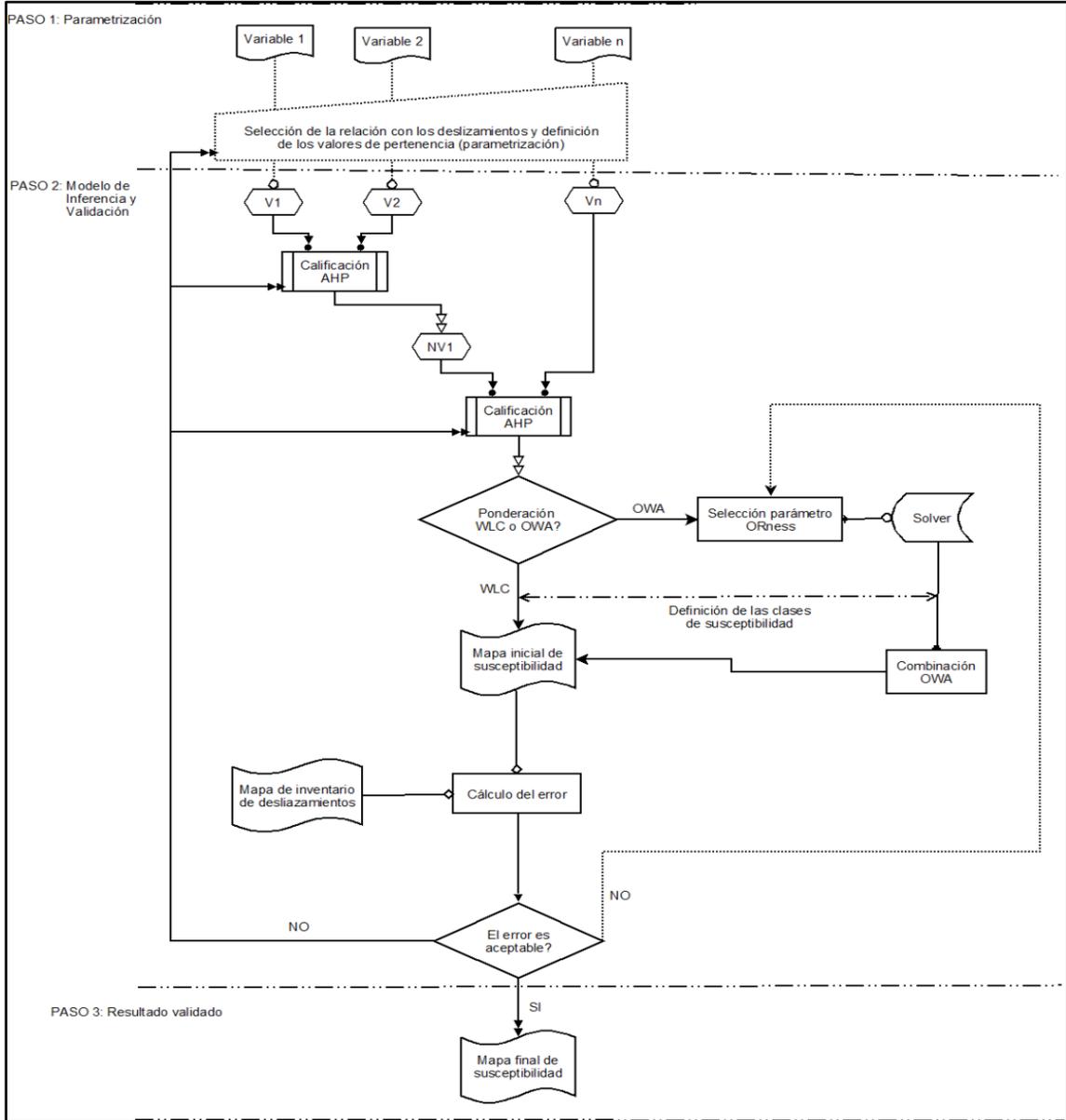


Ilustración 184. Diagrama de flujo para la calificación de la susceptibilidad utilizado los métodos WLC y OWA
 Fuente: Adaptado de Malczewski, 2006.

12.1.4 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

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

calificación. Así, según el método WLC, el índice de susceptibilidad a deslizamientos (ISD) se obtiene de la suma de cada criterio de evaluación multiplicado por su respectivo peso (obtenido de la calificación AHP), es decir:

$$IS = \sum_{i=1}^n c_i \cdot v_i$$

12.1.5 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,

$z_{i1} \geq z_{i2} \geq \dots \geq z_{in}$	Valores ordenados de las calificaciones $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}$
w_j^*	Valores iniciales ordenados de los pesos entre variables.
v_j	Valores de los pesos ponderados ordenados según el criterio OWA.

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):

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

$$\chi = \sum_{j=1}^n \frac{v_j \cdot \ln v_j}{\ln n}$$

O'Hagan (1990)⁶, sugiere que para determinar los valores de los pesos ponderados ordenados se debe relacionar del grado ORness (η) y la medida de la dispersión (entropía, χ), resolviendo para ello el siguiente problema matemático no lineal:

$$\max(\chi)$$

$$\text{Sujeto a: } \eta = \sum_{j=1}^n \frac{n-j}{n-1} \cdot v_j, \sum_{j=1}^n v_j = 1, \text{ para } j = 1, 2, \dots, n$$

La solución de las dos ecuaciones anteriores determina el máximo grado de dispersión para un grado dado de Orness.

12.2 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 (Wilches-Chaux, 1989) por lo que un elemento es más vulnerable a medida en que al presentarse un evento 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 condición técnicas y específicas de los elementos expuestos. El primer factor se refiere a la localización de los bienes que se encuentran expuestos a los eventos naturales, puesto que al estar ubicados en una zona inundable o en una ladera inestable aumenta considerablemente la vulnerabilidad a sufrir un daño

⁶ Tal como se describe en Malczewski (2006).

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

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.

12.2.1 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 Leone⁷ y modificada por Soler et al⁸.

- 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 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 Leone⁹ y modificada por Soler et al¹⁰.

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).

⁷ 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.

⁸ 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.

⁹ 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.

¹⁰ 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.

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

En forma general, la vulnerabilidad es una función tanto de la intensidad del evento 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 86, teniendo en cuenta los siguientes criterios de resistencia de la estructura. El tipo de sollicitación mostrado en dicha tabla corresponde a los procesos de daño que describen la acción de un proceso sobre un elemento estructural.

Tabla 86. 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	Arriostamiento de la estructura
Empujes laterales	-Deformación -Ruptura	Altura de la estructura
		Profundidad de la cimentación
		Refuerzo
Impactos	-Deformación -Ruptura	Refuerzo

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 87.

Tabla 87. 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 88:

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

Tabla 88. 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.

El porcentaje de daño o índice de pérdidas (IP) lo define Leone, como:

$$IP = \frac{(V_i - V_f)}{V_i}$$

Donde,

V_i : Valor inicial del bien (antes del evento).

V_f : 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 estructura.

• 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.

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

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 89. 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
Vías urbanas	Vías de cuarto orden	VU4
Vías veredales o ramales	Vías de quinto orden	VU5

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 90. Clasificación de los daños de la infraestructura vial¹¹.

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 fenómeno¹², 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

¹¹ Clasificación propuesta por el DRM y adoptado por Geocing S.A.S

¹² 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.

presiones laterales de tipo estático, dinámico, hidrodinámico o de impacto¹³. Un ejemplo de estos movimientos se presenta a continuación.

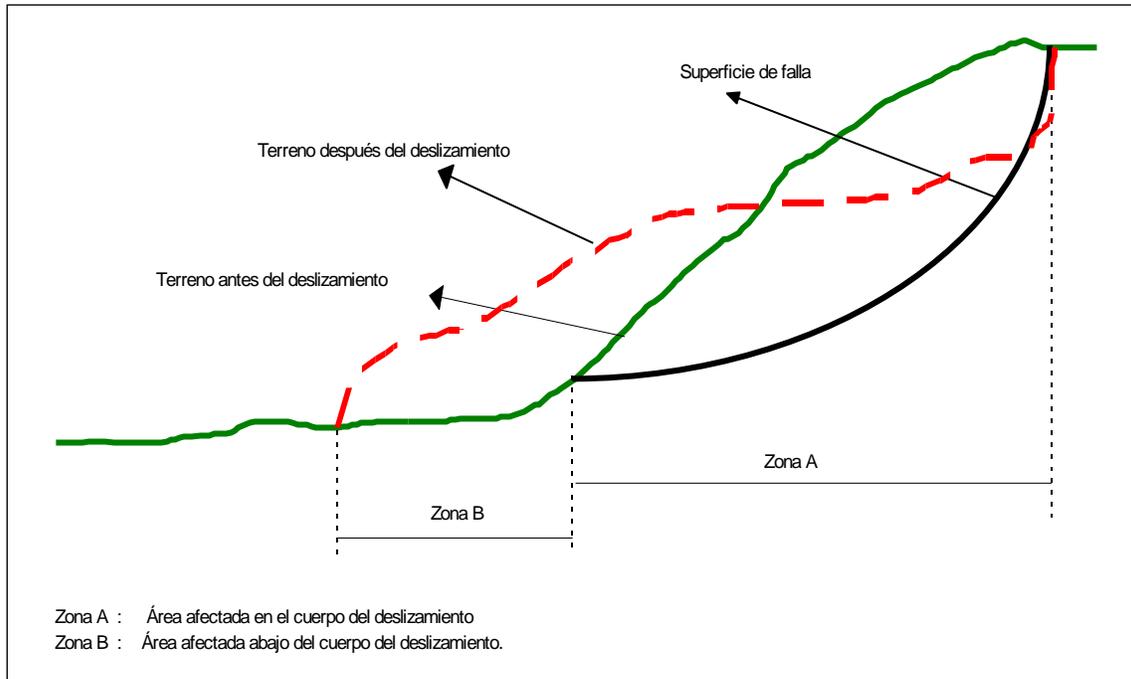


Ilustración 185. Esquema de deslizamiento.
 Fuente: Geocing SAS.

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 Varnes¹⁴, presentada en la Tabla 91

Tabla 91. 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

¹³ Cifuentes, D. (2011). Modelación de vulnerabilidad física de estructuras de uno y dos pisos, asociada a deslizamientos. Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Colombia.

¹⁴ Cruden, D. y Varnes D. (1991). Landslides types and processes. Universidad de Alberta.

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

DESCRIPCIÓN	CLASE	VELOCIDAD CARACTERÍSTICA
Moderado	VM3	Entre 0,05 mm/seg y 0,5 mm/seg
Lento	VM4	Entre 0,005 mm/seg y 0,05 mm/seg
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 92. 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 88 y Tabla 90, 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 93 y Tabla 94. 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 solicitud que presentan cada uno de los elementos expuestos. A continuación se presenta la matriz de daño utilizada (ver Tabla 93 y Tabla 106).

Tabla 93. 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

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

MATRIZ DE DAÑO					
CLASE DE SOLICITACIÓN	TIPOLOGÍA DEL ELEMENTO EXPUESTO				
	B1	B2	B3	B4	B5
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 94. Matriz de daño para infraestructura vial para los tipos de vías presentes en el casco urbano

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 aparente y el volumen deslizado

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

(ver Ilustración 186) o a través de la modelación cinemática de movimiento¹⁵ (ver Ilustración 187).

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 188).

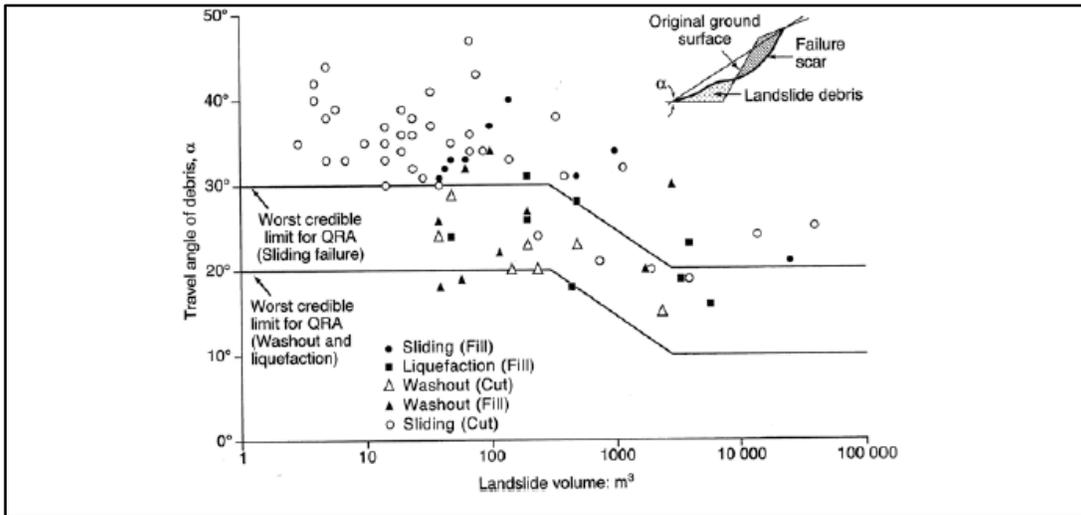


Ilustración 186. Estimación de la distancia de viaje a partir del ángulo de fricción aparente y el volumen deslizado
Fuente: Cifuentes, 2011

¹⁵ Cifuentes, D. (2011). Modelación de vulnerabilidad física de estructuras de uno y dos pisos, asociada a deslizamientos. Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Colombia.

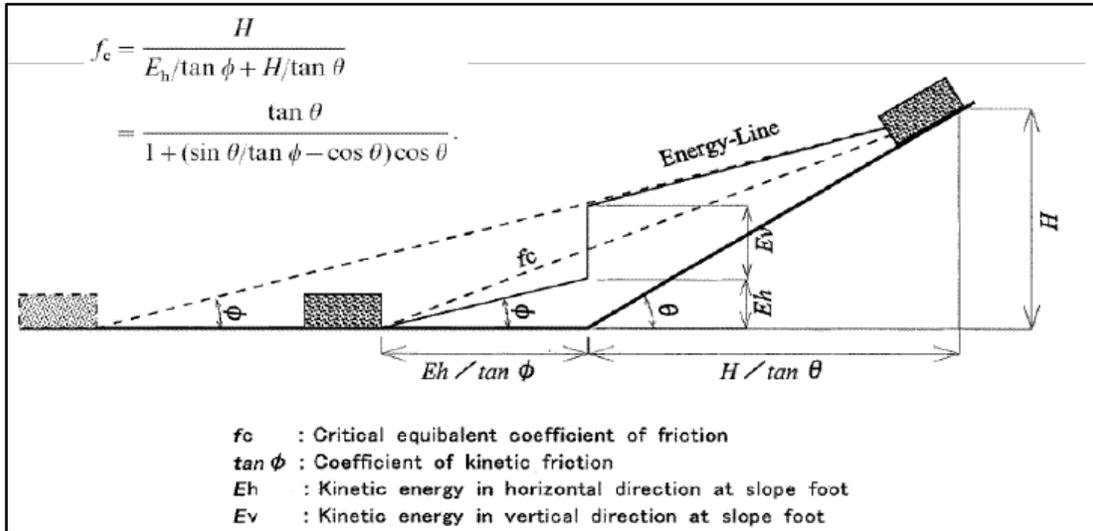


Ilustración 187. Modelación cinemática de movimiento para la determinación de la distancia de viaje
Fuente: Cifuentes, 2011.

Volumen estimado (m³)	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 188. 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 189).

Clase de velocidad	Descripción	Velocidad (mm/seg)	Velocidad Típica	Probable Importancia Destructiva
7	Extremadamente rápido	5×10^3	5 m/s	Catástrofe de mayor violencia, los edificios expuestos son totalmente destruidos por el impacto del material desplazado, muchas muertes.
6	Muy rápido	5×10^1	3 m/min	Algunas pérdidas de vidas humanas; velocidad demasiado grande, destrucción importante.
5	Rápido	5×10^{-1}	1.8 m/hr	Evacuación es posible; estructuras, bienes y equipos son destruidos.
4	Moderado	5×10^{-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	5×10^{-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	5×10^{-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 189. 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 intensidad¹⁶. 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

¹⁶ SafeLand. (2011). Physical vulnerability of elements at risk to landslides: Methodology for evaluation, fragility curves and damage states for buildings and lifelines.

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

evaluación cuantitativa de la intensidad del daño que un tipo de esfuerzo puede generar sobre un elemento (Pascale, Sdao, & Sole, 2010)¹⁷.

12.2.2 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, entre otros (Sagala, 2006). 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 (Retnan & Natarajan, 2013).

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

α_i = factor de daño o índice de daño con categoría i

n_i = número de unidades en la categoría i.

¹⁷ 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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

S_i = Daño máximo por unidad en categoría i

Donde el índice de daño α_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)
- w = tasa de aumento (m/hour)
- β = 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 (Vrouwenvelder, 1997) 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 (Nadal, Zapata, Pagán, López, & Agudelo, 2010). 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.

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

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.

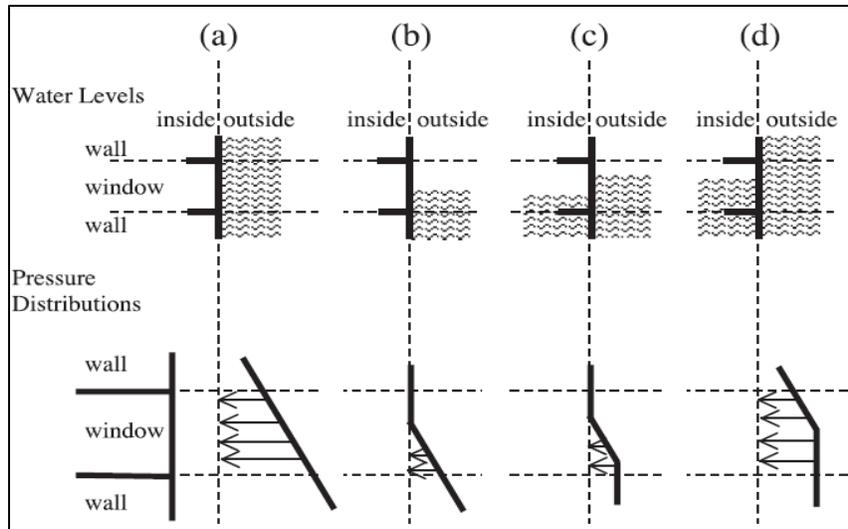


Ilustración 190. Niveles de agua y presiones que actúan sobre una casa para diferentes escenarios.

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.

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

• 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 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.

• 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 95.

Tabla 95. 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

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

Categoría de Daño	Materiales	Estructura
Viviendas de altura intermedia (4-5 pisos)	Concreto Fundido	Mampostería Estructural
Viviendas de gran altura (Más de 6 pisos)	Concreto Fundido	Mampostería Estructural

Fuente: Kok et al. (2005)

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. Por consiguiente, la peligrosidad de la inundación y la gravedad de las características del flujo en relación con la seguridad de las personas y bienes materiales dependen directamente de la capacidad de empuje del flujo el cual puede ser definido por la combinación por el calado, velocidad de flujo y presencia de olas (Gracia, y otros, 2014).

• 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 ¼ 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.

• Tormentas

Una vez se ha establecido el índice de daño causado por el calado y las altas velocidades de flujo, se puede calcular la probabilidad de que las edificaciones colapsen como un resultado de olas producto de una tormenta. La probabilidad del colapso de una edificación dada la presencia de olas durante de una tormenta se muestra en la siguiente ecuación:

$$P_{f \text{ tormenta}} = \beta \times 10^{-3} d^{1.8} r$$

Donde

β = Factor del material

r = Factor de refugio

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

En la metodología se asume que el factor del material para viviendas de un piso o de baja altura es de 0.8 y de 0.4 para viviendas de altura intermedia o alta. El factor de refugio tiene un valor entre 0 y 1, donde toma el valor de 1 cuando no se presenta refugio y 0 representa el refugio 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 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.

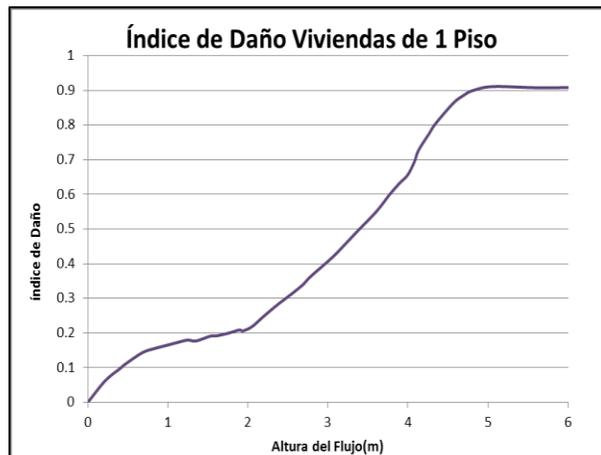


Ilustración 191. Índice de Daño de las Viviendas de 1 Piso.
Fuente: Adaptación de Kok et al. (2005).



Ilustración 192. Índice de Daño de las Viviendas de Poca Altura.
Fuente: Adaptación de Kok et al. (2005).

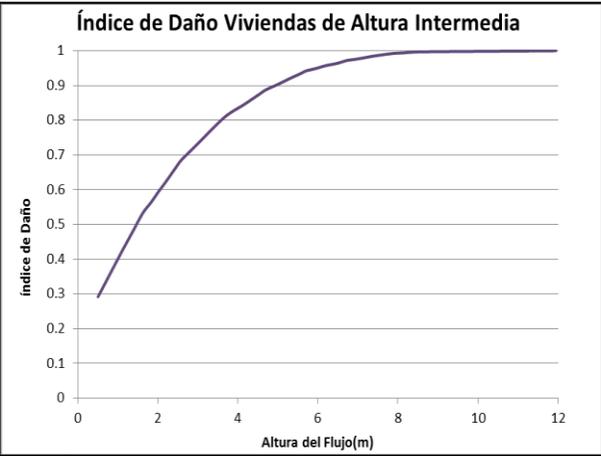


Ilustración 193. Índice de Daño de las Viviendas de Altura Intermedia.
Fuente: Adaptación de Kok et al. (2005).

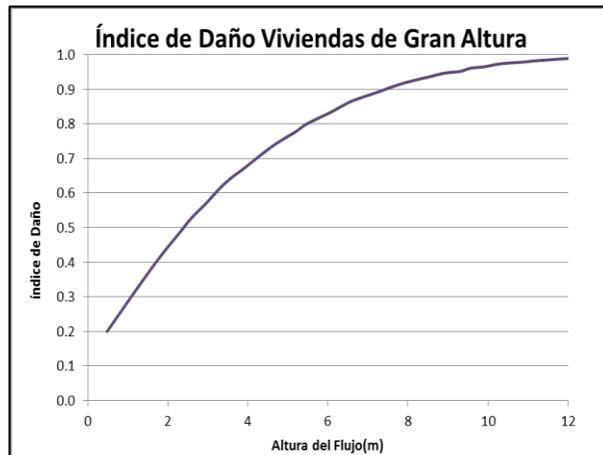


Ilustración 194. Índice de Daño de las Viviendas de Gran Altura.
Fuente: Adaptación de Kok et al. (2005).

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.

Tabla 96. 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:

$$\alpha_{vias} = \text{MIN}(0.28d, 0.18d + 0.1, 1)$$

Donde la siguiente gráfica presenta la curva de Daño para esta categoría.

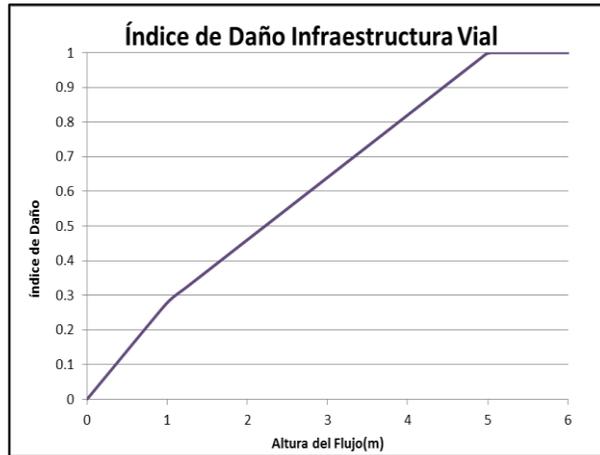


Ilustración 195. Índice de Daño de la Categoría de infraestructura vial.
Fuente: Adaptación de Kok et al. (2005).

La consultora propone la siguiente matriz de daño donde se clasifica el índice de daño numérico obtenido de la Ilustración 195 para la infraestructura vial dentro de las diferentes categorías de lógica difusa.

Tabla 97. 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.

12.2.3 Vulnerabilidad física por Avenidas Torrenciales

La avenida torrencial representa una inundación de gran volumen y corta duración (Kim & Choi, 2011). Este tipo de eventos 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.

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

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

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 la sección 12.2.2 se presenta una descripción de las fuerzas anteriormente mencionadas.

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 98.

Tabla 98. 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 99. Índice de Daño Potencial por avenidas torrenciales de las Viviendas de 1 Piso.

Velocidad del Flujo Máxima (m/s)	Altura (m)			
	0,0	0,5	1,0	1,5 o mayor
0,0	0	2	4	5
0,5	0	2	4	5
1,0	0	2	4	5
1,5	0	4	4	5
2,0	0	4	5	5
2,5	0	4	5	5
3,0	0	4	5	5

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

Velocidad del Flujo Máxima (m/s)	Altura (m)			
	0,0	0,5	1,0	1,5 o mayor
3,5	0	4	5	5
4,0	0	4	5	5
4,5	0	4	5	5
5,0	0	4	5	5
5,5 o mayor	0	5	5	5

Fuente: Adaptación de Kelman (2002).

Tabla 100. Índice de Daño Potencial por avenidas torrenciales de las Viviendas de Poca Altura.

Velocidad del Flujo Máxima (m/s)	Altura (m)				
	0,0	0,5	1,0	1,5	> 2,0
0,0	0	2	4	4	5
0,5	0	2	4	5	5
1,0	0	2	4	5	5
1,5	0	2	4	5	5
2,0	0	2	4	5	5
2,5	0	2	4	5	5
3,0	0	2	4	5	5
3,5	0	4	4	5	5
4,0	0	4	5	5	5
4,5	0	4	5	5	5
5,0	0	4	5	5	5
5,5	0	4	5	5	5
6,0	0	4	5	5	5
6,5	0	4	5	5	5
7,0	0	4	5	5	5
7,5 o mayor	0	5	5	5	5

Fuente: Adaptación de Kelman (2002)

Tabla 101. Índice de Daño Potencial por avenidas torrenciales de las Viviendas de Altura Intermedia.

Velocidad del Flujo Máxima (m/s)	Altura (m)				
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0
0,0	0	2	2	4	5
0,5	0	2	4	4	5
1,0	0	2	4	4	5
1,5	0	2	4	4	5
2,0	0	2	4	4	5

Dirección de correo: Calle 120 No. 49-44
Teléfono (1) 7046969 / (1) 7458541
Bogotá D.C.



Velocidad del Flujo Máxima (m/s)	Altura (m)				
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0
2,5	0	2	4	5	5
3,0	0	2	4	5	5
3,5	0	2	4	5	5
4,0	0	2	4	5	5
4,5	0	4	4	5	5
5,0	0	4	5	5	5
5,5	0	4	5	5	5
6,0	0	4	5	5	5
6,5	0	4	5	5	5
7,0	0	4	5	5	5
7,5	0	4	5	5	5
8,0	0	4	5	5	5
8,5	0	4	5	5	5
9 o mayor	0	5	5	5	5

Fuente: Adaptación de Kelman (2002).

Tabla 102. Índice de Daño Potencial por avenidas torrenciales de las Viviendas de Gran Altura.

Velocidad del Flujo Máxima (m/s)	Altura (m)					
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5 o mayor
0,0	0	2	2	4	4	5
0,5	0	2	2	4	4	5
1,0	0	2	2	4	5	5
1,5	0	2	2	4	5	5
2,0	0	2	4	4	5	5
2,5	0	2	4	4	5	5
3,0	0	2	4	4	5	5
3,5	0	2	4	5	5	5
4,5	0	2	4	5	5	5
5,0	0	2	4	5	5	5
5,5	0	4	4	5	5	5
6,0	0	4	5	5	5	5
6,5	0	4	5	5	5	5
7,0	0	4	5	5	5	5
7,5	0	4	5	5	5	5
8,5	0	4	5	5	5	5
9,0	0	4	5	5	5	5

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

Velocidad del Flujo Máxima (m/s)	Altura (m)					
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5 o mayor
9,5	0	4	5	5	5	5
10,0	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 103. 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

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 (**ANEXO 5. VULNERABILIDAD Y RIESGO-1. Encuesta**). 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.

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

En esta sección se muestran 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.

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

Tabla 104. 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 83,6% de las edificaciones han sido construidas antes de 1997, el 9,4% se han construido entre los años 1997 y 2010 periodo en han sido 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.

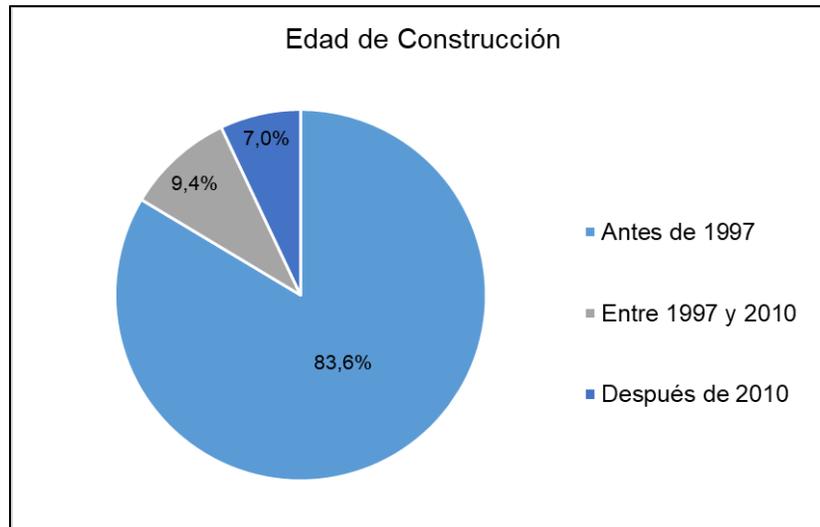


Ilustración 196. Distribución de las edificaciones encuestadas según su fecha de construcción.

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 se presentan los pesos utilizados para evaluar esta variable:

Tabla 105. Pesos - Parámetro: Número de pisos

Parámetro	Calificación
1	0.20
2	0.30

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

Parámetro	Calificación
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 arrojan que el 75,78% de las edificaciones son estructuras de 1 sólo piso y el 24,22% de las edificaciones son de 2 pisos. A continuación en la Ilustración 197 se presenta la distribución de esta variable:

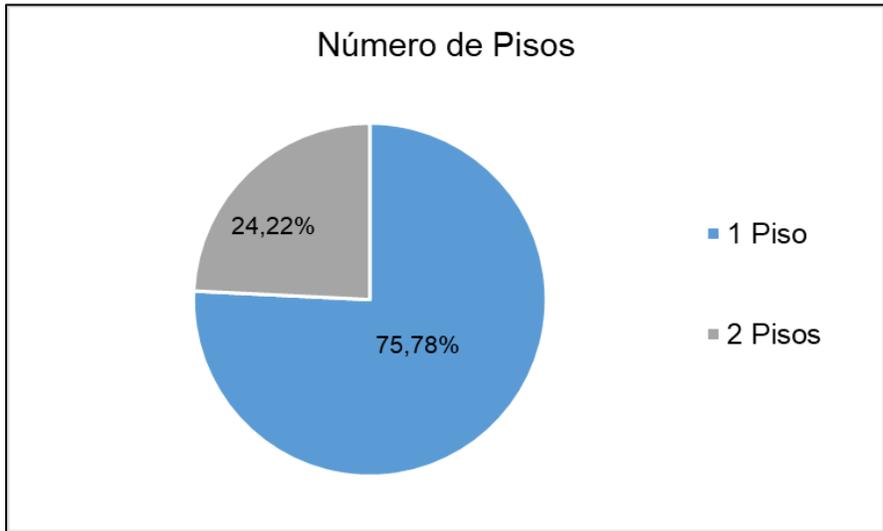


Ilustración 197. Distribución de las edificaciones encuestadas según su número de pisos.
Fuente: Geocing SAS.

- **Forma de construcción**

Es la metodología, materiales y técnicas utilizadas en el proceso de constructivo de un inmueble, para este estudio se consideraron dos identificadores, a continuación se presentan las calificaciones asignadas:

Tabla 106. Pesos - Parámetro: Forma de construcción.

Parámetro	Calificación
Empresa Constructora	0.2
Prefabricado	1.0

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

Parámetro	Calificación
Informal	0.4

Fuente: Geocing SAS.

Se encontró que 100% del total de las edificaciones encuestadas fueron construidas de forma informal. En la Ilustración 198 se presenta la distribución de esta variable.

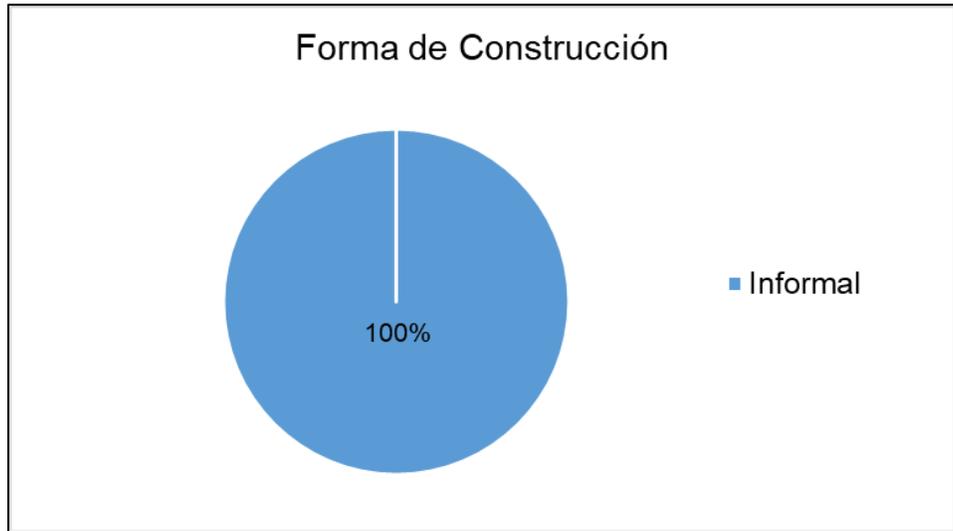


Ilustración 198. Distribución de las edificaciones encuestadas según su forma de construcción
Fuente: Geocing SAS.

- **Tipo de entrepiso**

Las losas o placas de entrepiso son los elementos rígidos que separan un piso de otro, contruidos 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 siguiente tabla enseña los pesos seleccionados para cada tipo de entrepiso:

Tabla 107. Pesos – Tipo de entrepiso.

Parámetro	Calificación
Metálico	0.4
Madera	0.8
Concreto reforzado	0.1

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

Parámetro	Calificación
No aplica	0.0

Fuente: Geocing SAS.

Según la información recolectada en las encuestas, se observó que el 58,1% de las viviendas que presentan entrepiso lo tienen en concreto y el 41,9% en presentan entrepiso en madera. Es importante destacar que las edificaciones que presentan entrepiso corresponden al 24,22% del 100% de las viviendas encuestadas. En la Ilustración 199 se presenta la distribución de esta variable.

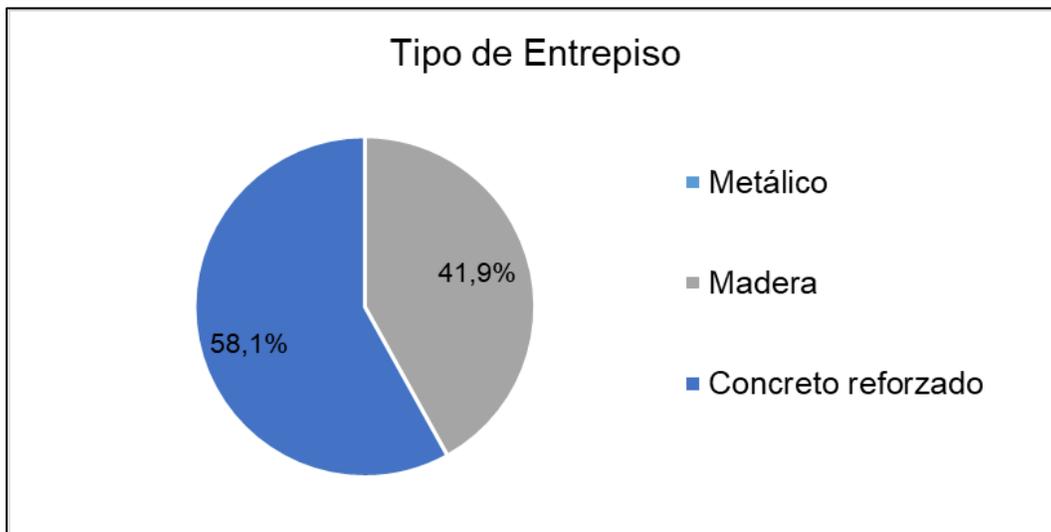


Ilustración 199. Distribución de las edificaciones encuestadas según su tipo de entrepiso. Fuente: Geocing SAS.

• 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 siguiente tabla muestra los pesos seleccionados para evaluar el tipo de cubierta:

Tabla 108. Pesos - Parámetro: Tipo de Cubierta.

Parámetro	Calificación
Zinc	0.4
Concreto	0.2
Teja Plástica	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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

Parámetro	Calificación
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 68,80%, seguido del 24,2% con otro tipo de cubierta (teja de barro) el 6,3% corresponde a teja asbesto cemento y finalmente con un 0,8% en concreto. La Ilustración 43, muestra la distribución del tipo de cubierta de las edificaciones.

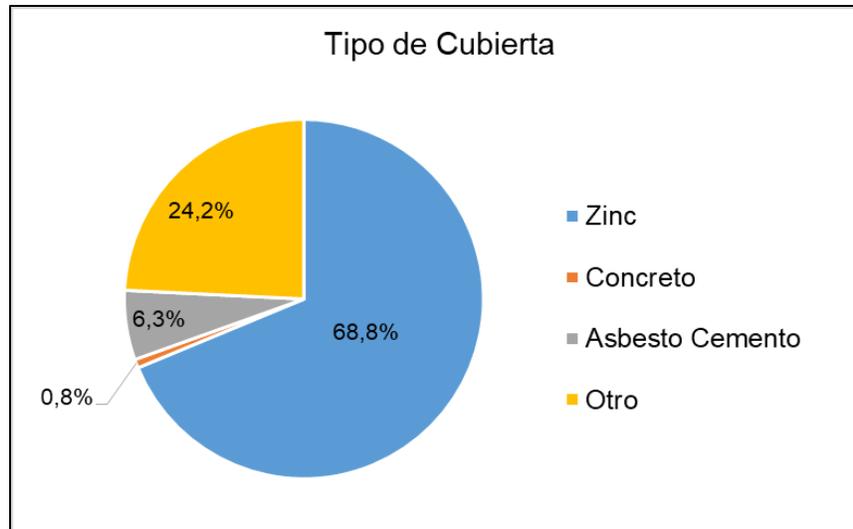


Ilustración 200. Distribución de las edificaciones encuestadas según su tipo de cubierta.
Fuente: Geocing SAS

• 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 a continuación:

Tabla 109. Pesos - Parámetro: Sistema Estructural.

Parámetro	Calificación
Pórtico	0.2

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

Parámetro	Calificación
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 54,76% de las edificaciones presentan muro portante no confinado, con el 29,37% se identificaron edificaciones con otro tipo de sistema estructural como bahareque, guadua, el 5,56% se identificaron viviendas con muro portante confinado, el 4,76% pórticos, el 3,17% madera y finalmente el 2,38% presentan sistema estructural mixto. De acuerdo a los resultados obtenidos aproximadamente el 28,35% de las edificaciones presentan otro tipo de sistema estructural entre los cuales se encuentra el bahareque y la guadua. La distribución de esta variable se presenta en la siguiente ilustración.

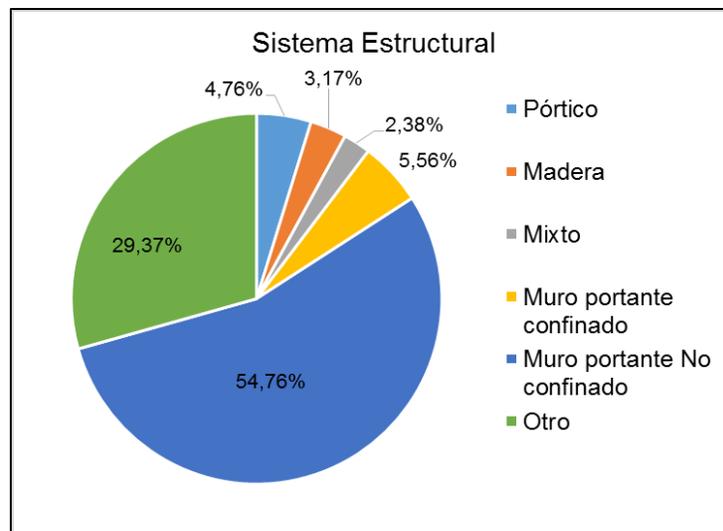


Ilustración 201. Distribución de las edificaciones encuestadas según su sistema estructural.
Fuente: Geocing SAS.

- **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,

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

parámetros que se analizaron y luego del cálculo de los pesos, se obtuvo una calificación descrita a continuación:

Tabla 110. 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 (69,29%), seguido de estado regular con un 20,47% y por último estado malo con un 10,24%. La distribución de esta variable se presenta en la siguiente ilustración.

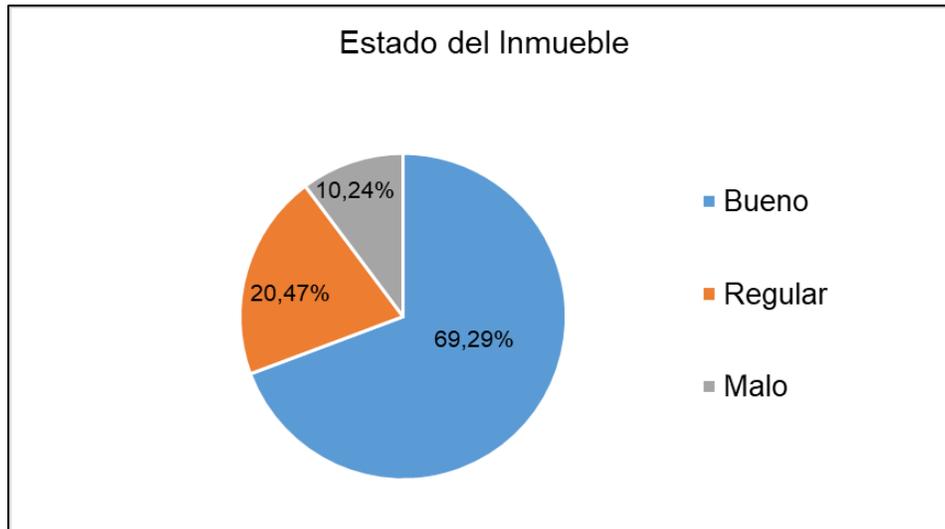


Ilustración 202. Distribución de las edificaciones encuestadas según tipo de daño.

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 111. Pesos ponderados - Parámetro: Daños en toda la construcción.

Parámetro	Calificación
Fisuras	0.1169

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

Parámetro	Calificación
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. El porcentaje de daños presentes en las edificaciones encuestadas se encuentran distribuidos de la siguiente forma: un 40,77% presentan humedad, con un 26,96% se identificaron grietas, seguido de fisuras con un 19,23% y finalmente con un 13,08% se identificaron desprendimientos. La distribución de esta variable se presenta en la siguiente ilustración.

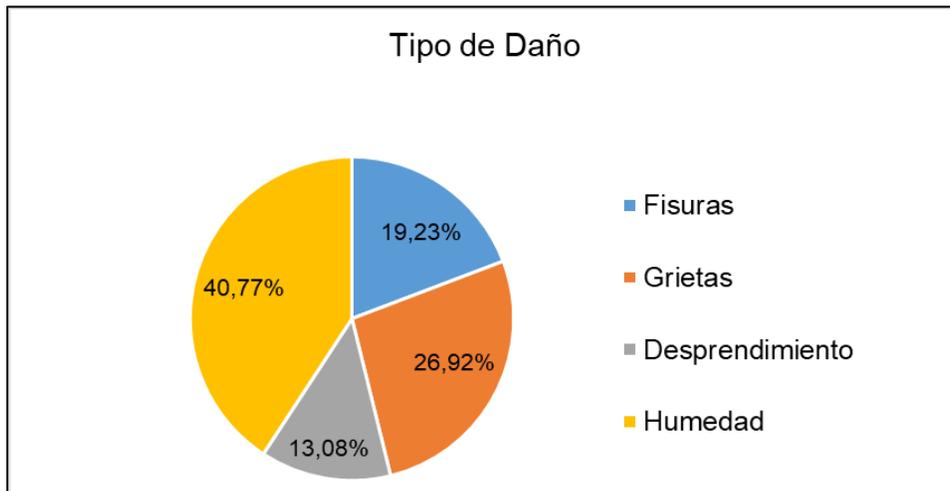


Ilustración 203. Distribución de las edificaciones encuestadas según tipo de daño.
Fuente: Geocing SAS.

Adicionalmente y como complemento a lo expuesto anteriormente en la Tabla 112 y Tabla 113 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 112. Pesos – Parámetro Localización de los Agrietamientos en la Estructura de la edificación.

Parámetro	Calificación
Sin agrietamientos	0.0
Muros	0.7
Columnas	1.0

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

Parámetro	Calificación
Vigas	1.0
Pisos	0.2
Techo	0.3

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 113. Pesos – Parámetro Localización de las Humedades en la Estructura de la edificación.

Parámetro	Calificación
Sin humedad	0.0
Muros	0.4
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 (66,92%); las viviendas que presentan grietas se encuentran localizadas así: en los pisos con un 20,0% y en los muros con un 13,08%. En cuanto a la humedad, el 56,25% de las edificaciones no presentan humedad; las humedades que se identificaron en las viviendas se encuentran localizadas así: el 42,19% de las humedades se encuentran en los muros y el 0,78% en las columnas y techo respectivamente. Las siguientes ilustraciones indican la distribución de las viviendas según la localización de las grietas y humedades.

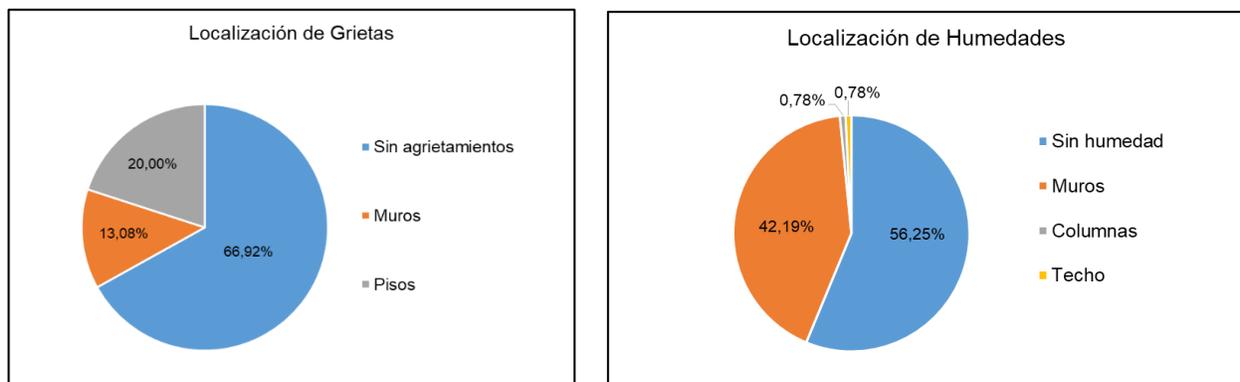


Ilustración 204. Distribución de las edificaciones encuestadas según la localización de sus daños.

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.

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

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 114. Pesos - Parámetro: Severidad de Daños.

Parámetro	Calificación
Bajo	0.20
Medio	0.50
Alto	0.80

Fuente: Geocing SAS

Según la información recolectada de las edificaciones que presentan daños, se observa que el 88,89% de las edificaciones presentan daños con severidad baja y el 11,02% restante presentan severidad media. En la siguiente ilustración se presenta la distribución de esta variable.

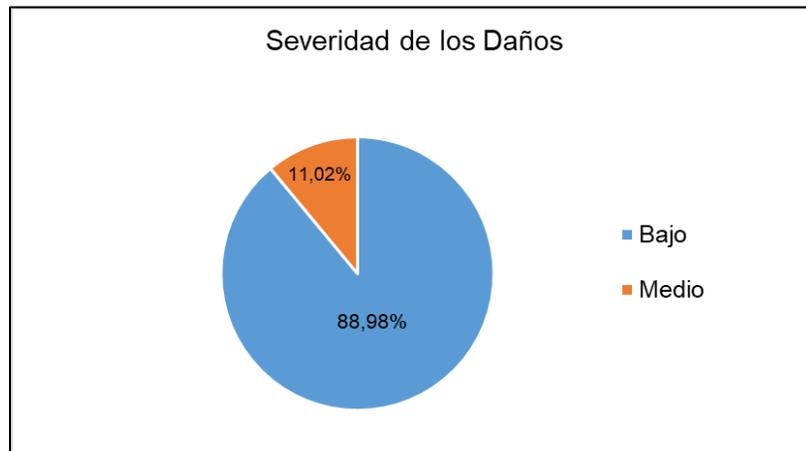


Ilustración 205 Distribución de las edificaciones encuestadas según la severidad de daños.
Fuente: Geocing SAS.

- **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 indicativo 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 115. Descripción Tipología de la vivienda.

Tipo de Edificación	Descripción
B1	Viviendas en material de reciclaje

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

Tipo de Edificación	Descripción
B2 Mampostería	Vivienda en mampostería sin estructura
B2 Prefabricados	Vivienda prefabricada
B3	Edificaciones hasta de dos (2) niveles de buena calidad de construcción (con estructural)
B4	Edificaciones de más de dos (2) niveles de buena calidad de construcción (con estructural)

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 116 Pesos - Parámetro: Tipología de la vivienda.

Parámetro	Calificación
B1	1.0
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 206. Vivienda Tipología B1 (Vivienda en materia reciclaje).

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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>



Ilustración 207. Vivienda Tipología B2 (Vivienda en mampostería sin estructura).
Fuente: Geocing SAS



Ilustración 208. Vivienda Tipología B3 (Edificaciones hasta de dos (02) niveles de buena calidad de construcción (con estructura).
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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>



Ilustración 209. Vivienda Tipología B4 (Edificaciones de más de dos (02) niveles de buena calidad de construcción (con estructura).
Fuente: Geocing SAS

En la Ilustración 210 se presenta la tipología de la infraestructura de la zona de estudio; información que fue obtenida a partir de las encuestas realizadas en campo.

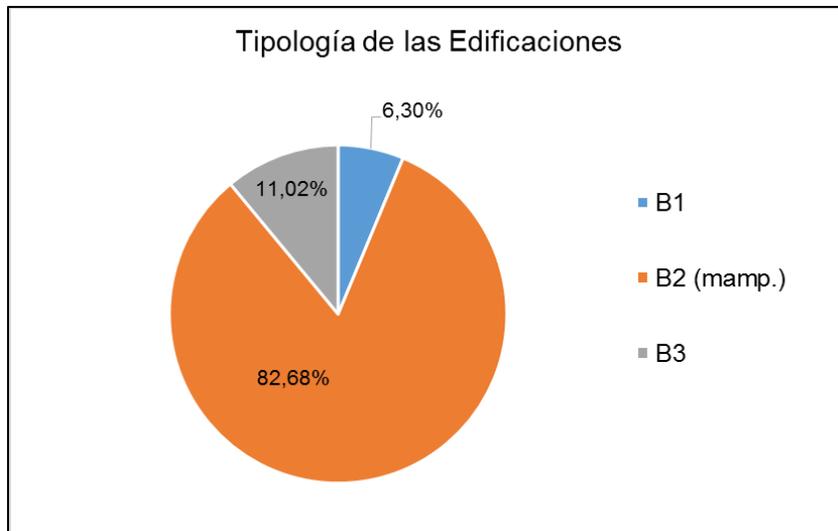


Ilustración 210. Tipología de Viviendas.
Fuente: Geocing SAS.

Como se puede observar la tipología con mayor porcentaje es la **B2 Mamp** (82,68%) correspondiente a 105 viviendas, **B3** (11,02%) con 14 viviendas y finalmente para la tipología **B1** (6,30%) se identificaron 8 viviendas.

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

- **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 117 se presenta los pesos ponderados calculados para las variables evaluadas en la vulnerabilidad física por inundaciones.

Tabla 117. 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.

- **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.

- **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 118.

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

Tabla 118. Categorización del índice de vulnerabilidad física.

GRAVEDAD RELATIVA		IVE90	DESCRIPCIÓN
I	Baja	0,00 – 0,35	Las consecuencias no afectan el funcionamiento del sistema; pérdidas o daños despreciables.
II	Media	0,35 – 0,65	Las consecuencias afectan parcialmente al sistema en forma grave; pérdidas o daños moderados.
III	Alta	0,65 – 1,00	Las consecuencias afectan en forma total al sistema; pérdidas o daños de gran magnitud.
		IVF90	INDICE DE VULNERABILIDAD FISICO CONFIANZA DEL 90%

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 eventos 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.

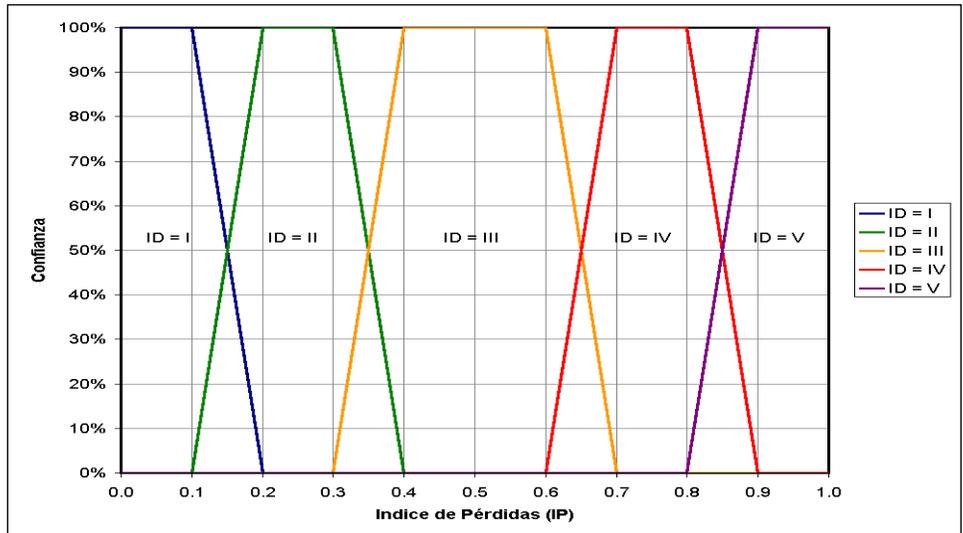


Ilustración 211. Valoración del ID (potencial y actual) utilizando conjuntos difusos.
Fuente: Geocing SAS.

Tabla 119. 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 126 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%.

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

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

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.

12.2.4 Análisis de resultados vulnerabilidad física por movimientos en masa

La vulnerabilidad física para el casco urbano de San Agustín se estableció a partir de la metodología presentada en el capítulo 12.2.1, 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, media o 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. Las tablas con la información compilada por cada tipo de elemento expuesto se presentan en el Anexo 5. Vulnerabilidad Y Riesgo. En el casco urbano de San Agustín la totalidad de los predios existentes correspondientes a 3.361 se encuentran afectados por movimientos en masa principalmente en la categoría de vulnerabilidad física media con el 98,2% (3.301 predios) del total de las construcciones, del restante correspondiente al 1,8%, se categorizó con vulnerabilidad física alta (60 predios), tal como se logra identificar en la Ilustración 212.

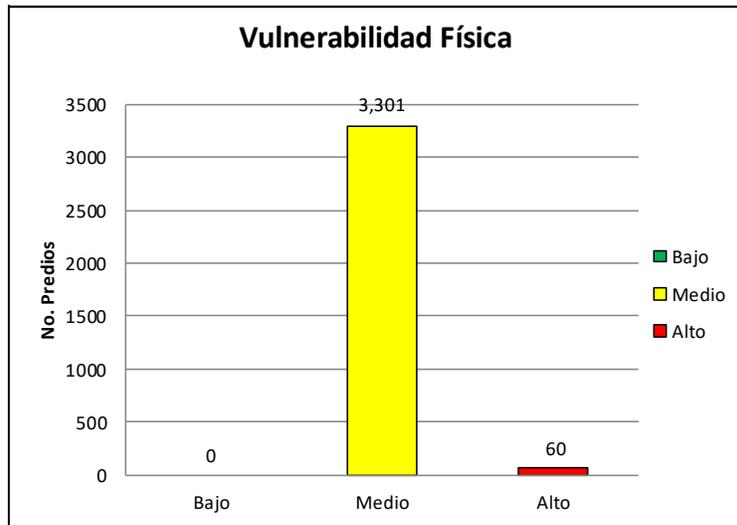


Ilustración 212. Vulnerabilidad Física predios San Agustín - movimientos en masa.
Fuente: Geocing SAS.

La categorización de los predios se debe principalmente a las condiciones en las cuales fueron construidos y presencia de procesos morfodinámicos en el área; así como su longevidad y sistema estructural, el cual no es sismo resistente y no cumple con la NSR-10. La totalidad de las vías se encuentran categorizadas con vulnerabilidad física

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

por movimientos en masa, lo cual representan una longitud de 30,6 Km de los cuales predomina una categoría media con el 78,7% que corresponde a 24,1 Km, del restante 6,5 Km, el 16,9% se encuentra en categoría alta (5,2 Km) y el 4,4% en categoría baja (1,4 Km), como se logra identificar en la Ilustración 213

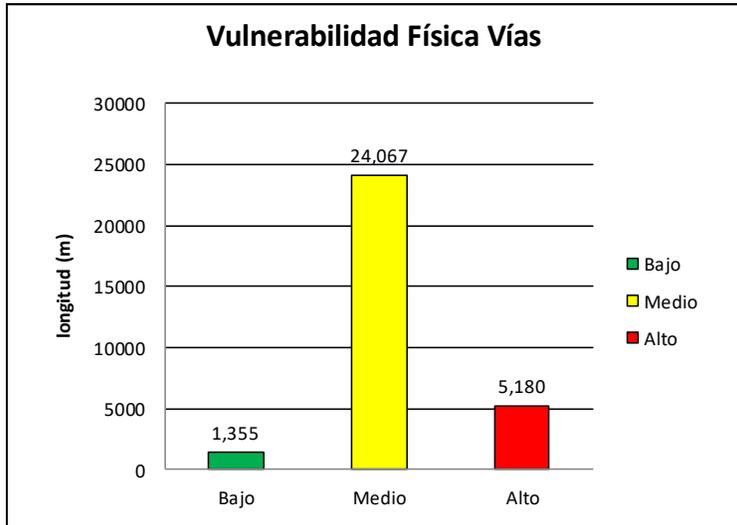


Ilustración 213. Vulnerabilidad Física vías San Agustín- movimientos en masa.
Fuente: Geocing SAS.

En la siguiente ilustración se presenta la vulnerabilidad física por movimientos en masa del casco urbano de San Agustín.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

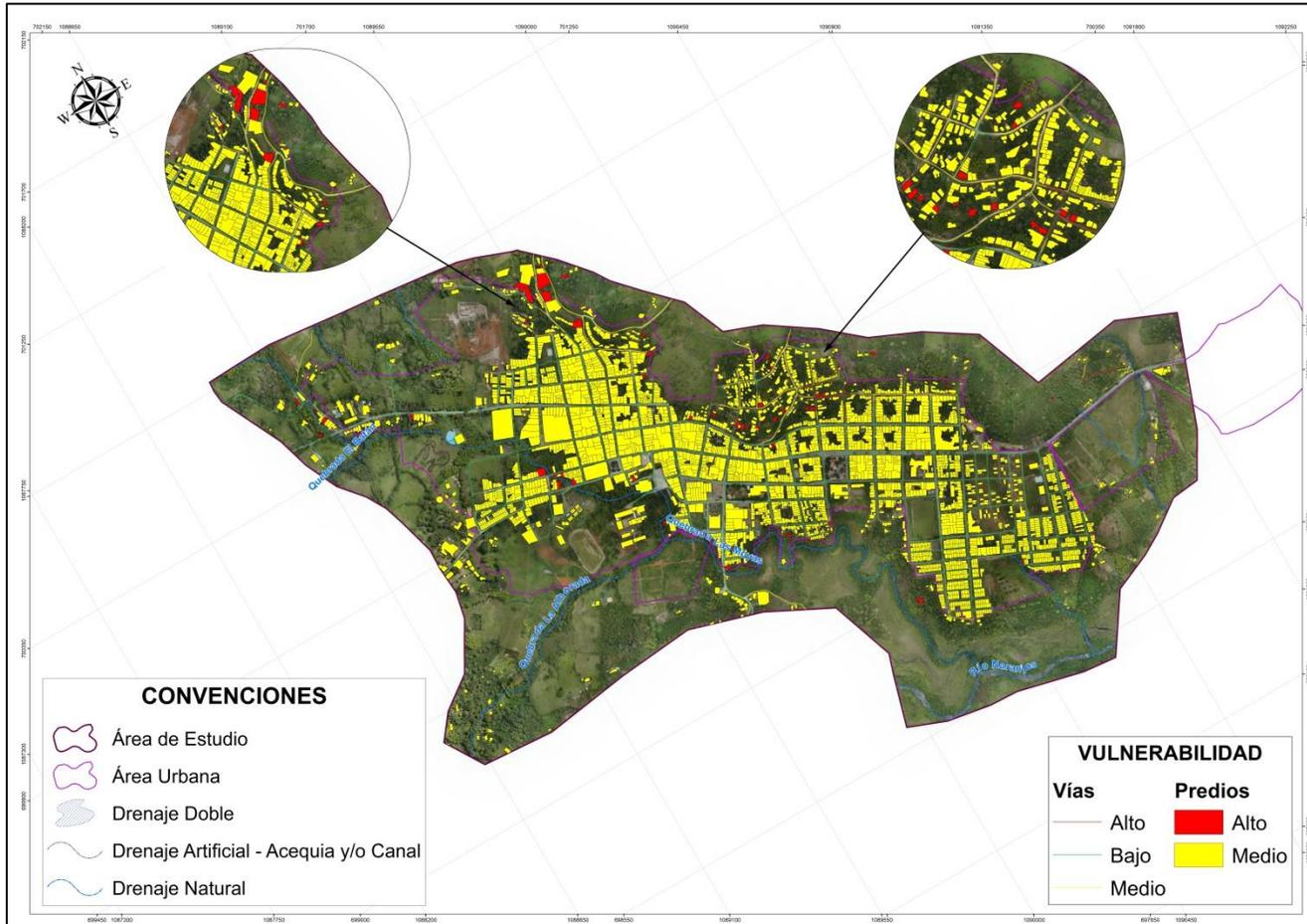


Ilustración 214. Mapa de vulnerabilidad física por movimientos en masa de San Agustín

Fuente: Geocing SAS.

Dirección de correo: Calle 120 No. 49-44
Teléfono (1) 7046969 / (1) 7458541
Bogotá D.C.

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

12.2.5 Análisis de resultados vulnerabilidad física por inundaciones

La vulnerabilidad física por inundaciones se obtuvo a partir de la metodología establecida en el capítulo 12.2.2, 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). (ver Ilustración 215).

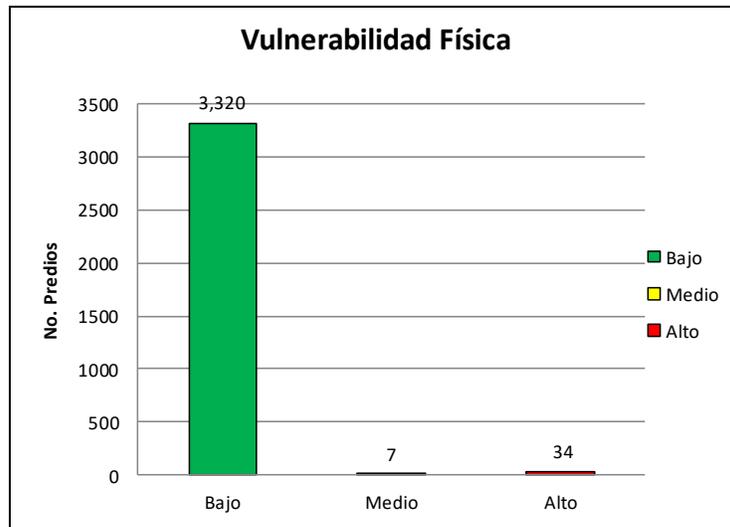


Ilustración 215. Vulnerabilidad Física predios casco urbano de San Agustín- Inundación.
Fuente: Geocing SAS.

Según los resultados correspondientes a la modelación de la inundación se establecieron aquellos elementos expuestos que presentarían afectación, identificando que los 3.361 construcciones ubicados en el casco urbano de San Agustín se verían en algún grado afectados (ver Ilustración 215); 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 3.320 predios se categorizaron con vulnerabilidad física baja debido a que no se encuentran en los primeros 20 metros correspondientes a la ronda de la quebrada Las Moyas, que es la zona que presenta una mayor afectación debido a que corresponde a las zonas inundables establecidas para los periodos de retorno de 100 y 500 años, adicionalmente, el estado de los predios no representaban una condición de mayor vulnerabilidad por inundaciones. Cabe resaltar que 34 predios se encuentran categorizados en vulnerabilidad física alta; los cuales se encuentran ubicados los primeros 15 metros de ronda de la quebrada Las Moyas y finalmente 7 predios se categorizan con vulnerabilidad física media debido a las condiciones actuales (longevidad del predio y estado de su sistema estructural) y al índice de daño producto

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

de la modelación de las variables de altura y velocidad de flujo frente a la tipología de la vivienda.

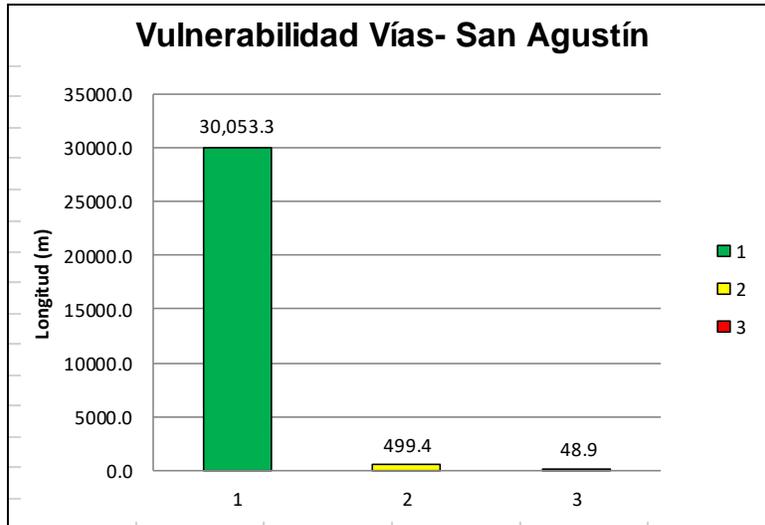


Ilustración 216. Vulnerabilidad Física vías casco urbano de Agustín- Inundación.
Fuente: Geocing SAS.

La totalidad de la malla vial del casco urbano de San Agustín se encuentra expuesta ante una inundación (ver Ilustración 216), identificando que predomina la categorización de vulnerabilidad física baja, debido a la ubicación de las vías respecto a la zona de mayor afectación (20 metros de ronda de las quebrada Las Moyas, que corresponde a la zona delimitada con amenaza para un periodo de retorno menor o igual a 500 años) con una longitud de 30 Km (98,2%), la vulnerabilidad baja se debe principalmente a las condiciones de la vía ya que predominan las vías terciarias, sin pavimentar de carril sencillo. Adicionalmente se identificaron vías en categoría media y alta; la primera se identificó un total de 0,5 Km de infraestructura vial en vulnerabilidad física media (1,6%) y con una longitud de 0,05 Km se identificó infraestructura en categoría alta (0,2%). Las tablas con la información compilada se presentan en el Anexo 5. Vulnerabilidad Y Riesgo y el mapa de vulnerabilidad física por inundaciones del casco urbano de San Agustín se presenta a continuación:



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

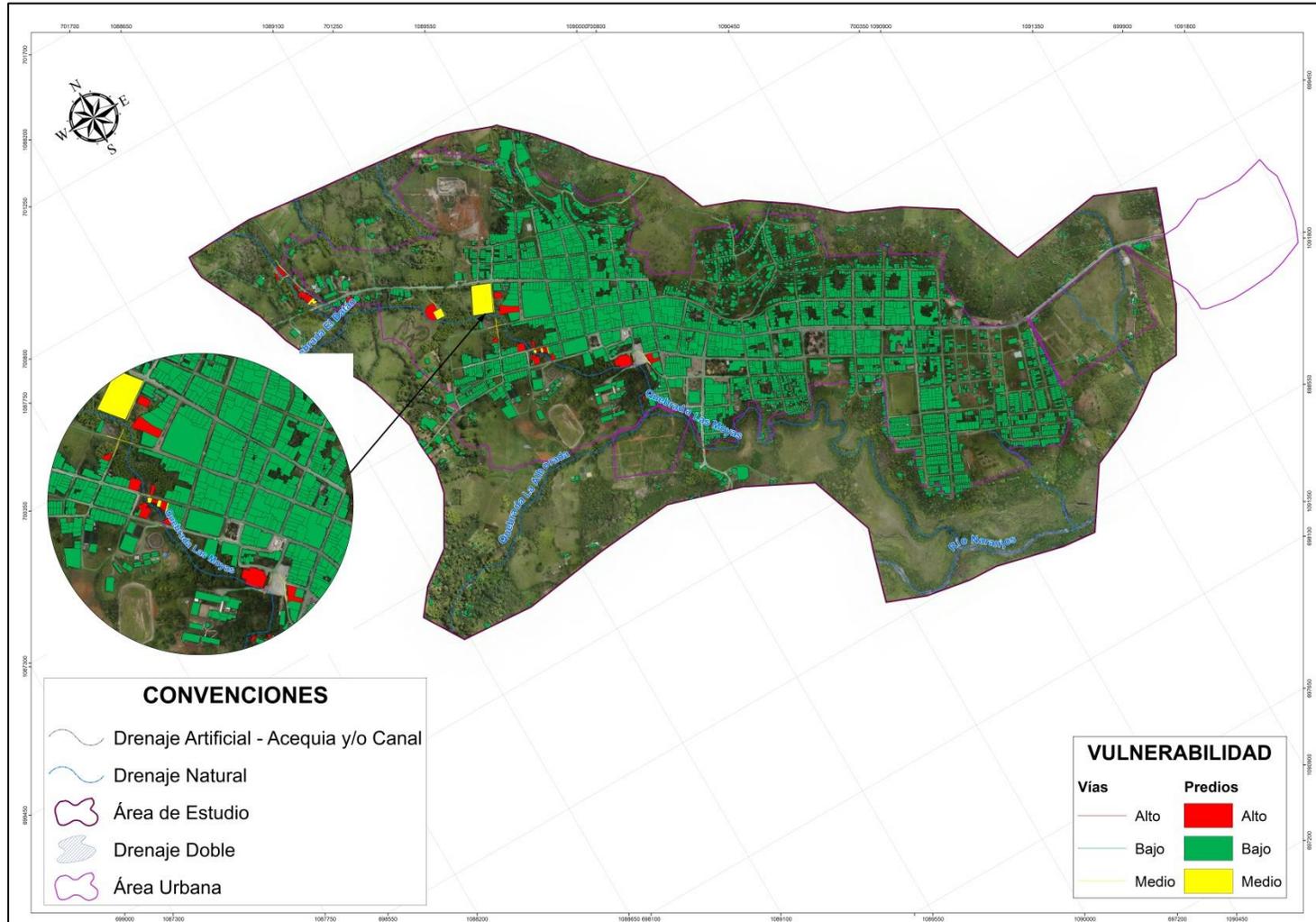


Ilustración 217. Mapa de vulnerabilidad física por inundación casco urbano de San Agustín.

Fuente: Geocing SAS.

Dirección de correo: Calle 120 No. 49-44
Teléfono (1) 7046969 / (1) 7458541
Bogotá D.C.

12.2.6 Análisis de resultados vulnerabilidad física por avenida torrencial

La vulnerabilidad física por avenidas torrenciales para el casco urbano de San Agustín se evaluó a partir de la metodología propuesta en el numeral 12.2.3, 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.

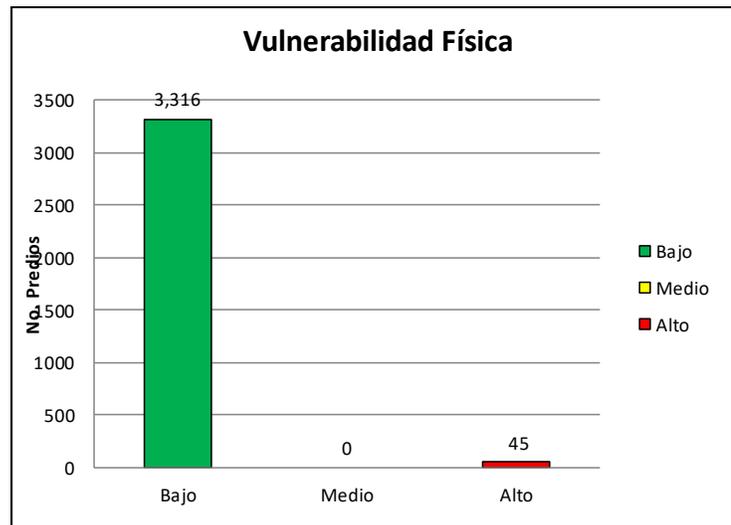


Ilustración 218. Vulnerabilidad Física predios San Agustín- Avenida Torrencial.
Fuente: Geocing S.A.S.

Los 3.361 predios ubicados en el casco urbano presentan vulnerabilidad física por avenidas torrenciales, de los cuales 3.316 predios se encuentran categorizados con vulnerabilidad baja, esto debido a que estos se encuentran en la zona correspondiente a amenaza baja la cual corresponde a la zona con un periodo de retorno mayor o igual a 500 años, y dado que los predios no presentan daños físicos considerables que conlleven que al estar expuestos ante un evento de estos se pueda generar un daño considerable. Los 45 predios restantes se encuentran categorizados con vulnerabilidad física alta; los cuales se ven principalmente afectados por la proximidad que presentan con la quebrada Las Moyas, 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.

Los 30,6 Km de malla vial ubicados en el casco urbano de San Agustín se encuentran categorizados con vulnerabilidad física por avenidas torrenciales, del total el principal tramo se encuentra en la categoría de vulnerabilidad baja con 29,9 Km (98,0 %), vulnerabilidad alta con una longitud de 0,36 Km (1,2%) y 0,25 km se encuentran categorizados en vulnerabilidad física media (0,8%) como se logra identificar en la Ilustración 219, esto debido principalmente al estado y tipo de vía ubicados en el casco urbano, donde predominan vías terciarias, sin pavimentar de un solo carril.

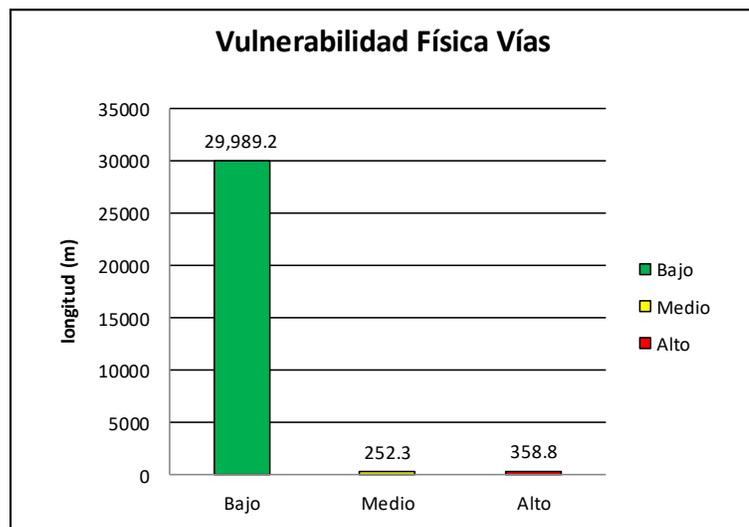


Ilustración 219. Vulnerabilidad Física vías San Agustín- Avenida Torrencial.
Fuente: Geocing S.A.S.

En la siguiente ilustración se presenta la vulnerabilidad física por avenidas torrenciales del casco urbano de San Agustín.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

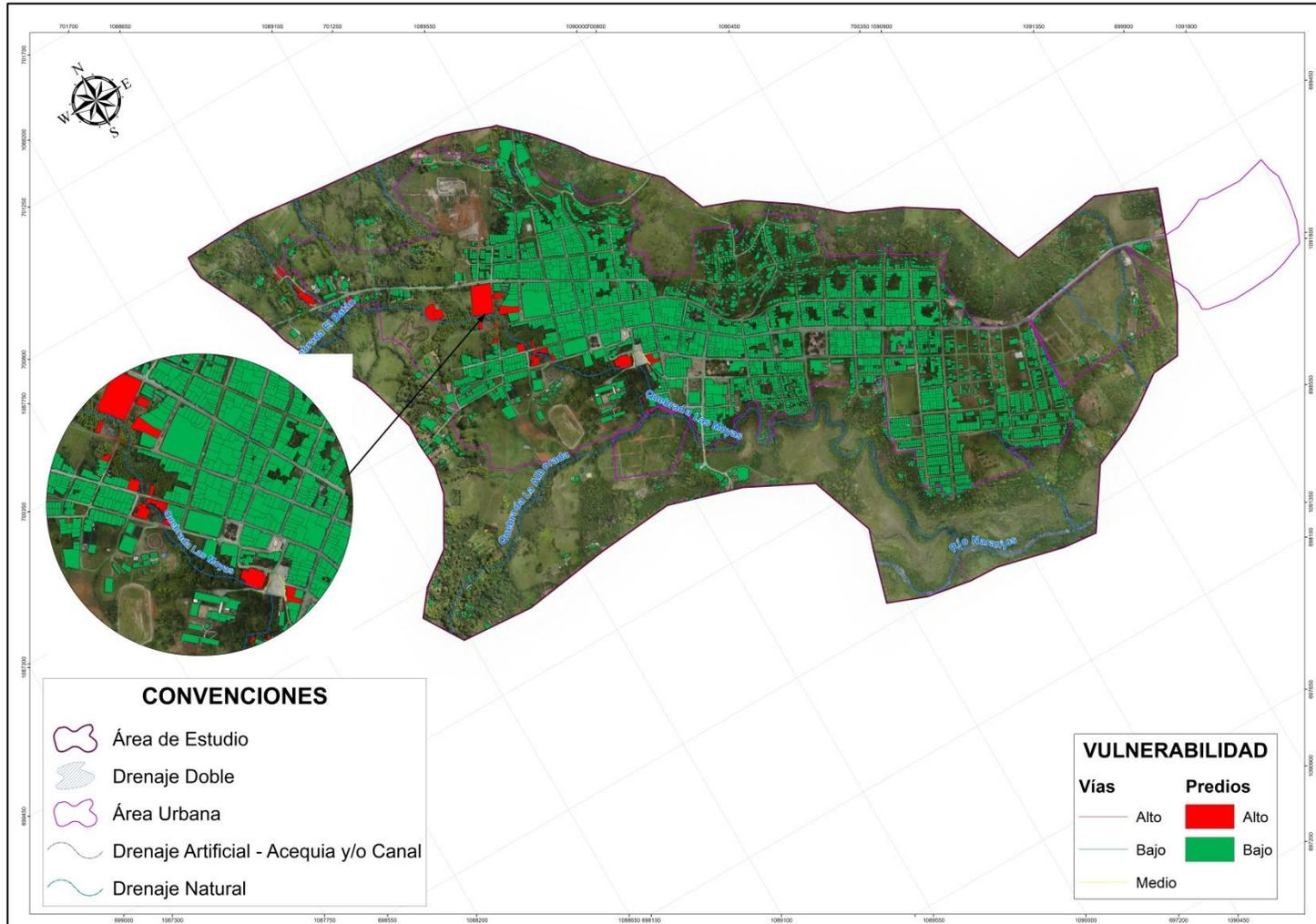


Ilustración 220. Mapa de vulnerabilidad física por avenida torrencial en el casco urbano de San Agustín.

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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

12.3 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 permite 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 viable 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.

• 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 cambios 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.

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

La categorización utilizada durante el estudio de estas variables se presenta a la Tabla 120:

Tabla 120. Categorización de los parámetros para la vulnerabilidad cultural.

GRAVEDAD RELATIVA		IVC ₉₀	DESCRIPCIÓN
I	Insignificante	0,00-0,20	No se encuentran personas en las viviendas de grupos de diversidad cultural
II	Marginal	0,20-0,50	Se encuentran pocas personas en las viviendas de grupos de diversidad cultural
III	Grave	0,50-0,70	Se encuentran algunas personas en las viviendas de grupos de diversidad cultural
IV	Crítica	0,70-0,90	Se encuentran varias personas en las viviendas de grupos de diversidad cultural
V	Catastrófica	0,90-1,00	La mayoría de integrantes de las viviendas pertenecen a grupos de diversidad cultural
		IVC ₉₀	INDICE DE VULNERABILIDAD CULTURAL CONFIANZA DEL 90%

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. (Andes, Refugiados, & Social, 2008). 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 67,7% de la población ha sido desplazada de sus hogares en algún momento de sus vidas, el 97,1% de la población pertenecen a una minoría étnica. En las siguientes ilustraciones se presentan las distribuciones de las variables culturales.

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

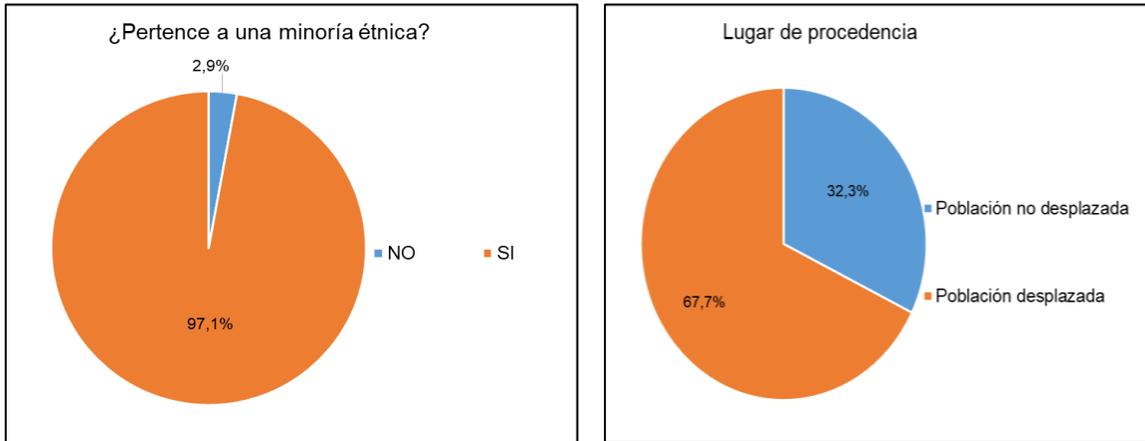


Ilustración 221 Distribución de la población por Lugar de Procedencia y por Pertenencia a una Minoría Étnica.

Fuente: Geocing SAS.

Para su análisis, se le asignó un peso de importancia a cada parámetro por persona (Ver Tabla 121). 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 121. 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 estos las zonas que económicamente son más pobres son más vulnerables. La vulnerabilidad también depende del factor social el cual 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

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

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 122. Categorización de los parámetros para la vulnerabilidad socioeconómica.

Gravedad Relativa		IVSE ₉₀	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 ₉₀	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 una amenaza 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 43,81% constituyendo la mayoría en el sector, seguido por una población en edades de

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

25 a 40 años equivalente al 20,7%, en edades de 41 a 60 años comprendiendo el 16,0%. Entre tanto habita una minoría de la población comprendida entre 18 y 24 años de la cual hace parte el 10,7% de la población y los adultos mayores en edades superiores a los 60 años, corresponden al 8,8% de la población. En la Ilustración 222 muestra la distribución de la población por rangos de edad.

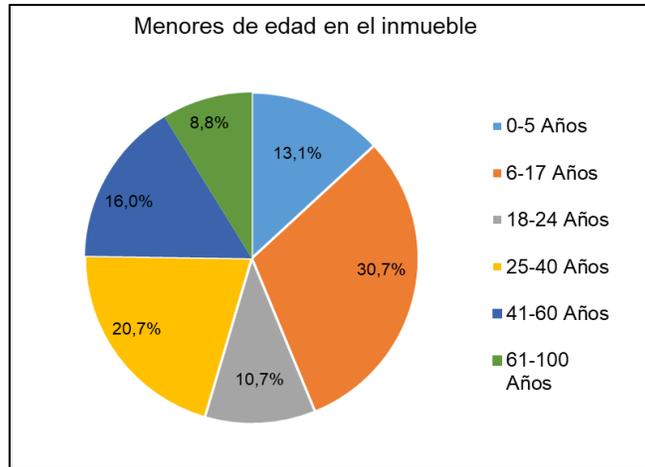


Ilustración 222. Distribución de las edificaciones encuestadas según la cantidad de menores de edad que viven en el inmueble.
Fuente: Geocing SAS.

Para su análisis, se le asignó un peso de importancia a cada parámetro por persona (ver Tabla 123). Después se realizó una suma ponderada de estos valores por predio.

Tabla 123. 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 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.

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

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 movimientos 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 124. Nuevamente, se realizó la suma ponderada de este parámetro por predio y se categorizo según la Tabla 122.

Tabla 124. Valoración del parámetro educación.

Nivel Educativo Alcanzado	
No sabe leer ni escribir	1
Jardín o preescolar	0,9
Primaria completa	0,6
Primaria incompleta	0,7
Bachillerato completo	0,5
Bachillerato incompleto	0,6
Técnico	0,3
Tecnológico	0,2
Universitario	0,1
Postgrado	0

Fuente: Geocing SAS.

En la distribución del nivel educativo alcanzado se evidenció que una población equivalente a un 44,5% logró completar los estudios de básica primaria, seguido por una población que superó los estudios básica secundaria equivalente al 17,7%, el 14,3% de la población realizó estudios de media (el 12,7% media académica y el 1,5% media técnica). En contraste existe una población que se identificó como no saber leer ni escribir equivalente al 13,2%, y el 4,9% de la población ha realizado sus estudios de postgrado y ha terminado preescolar. Adicionalmente el 0,5% de la población únicamente tomo estudios enfocados para ser normalista. La Ilustración 223, muestra la distribución del nivel educativo en la población.

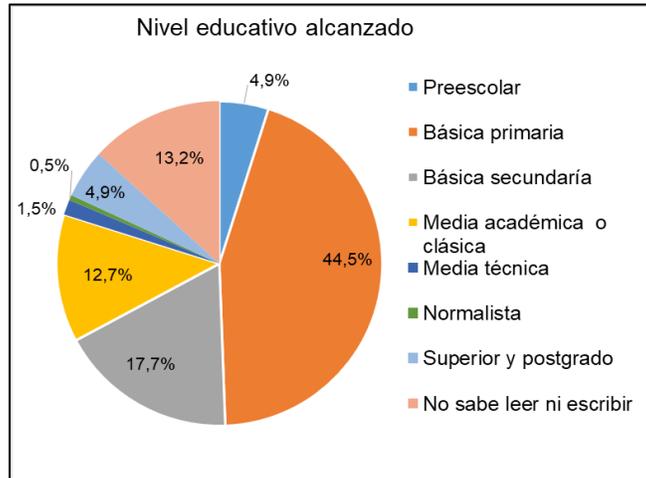


Ilustración 223. Nivel educativo.
Fuente: Geocing SAS.

- **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 realice 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)” (Dane, 2005).

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 99,1% 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 224. 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 125.

Tabla 125. 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 consideró 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 LEA18. El 85,0% de los predios se utilizan como viviendas mientras que el 14,8% restante se les da uso económico y al 0,2% se

¹⁸ Lugar Especial de Alojamiento – L.E.A. Es una institución en la cual viven (duermen) colectivamente un grupo de personas generalmente no parientes

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

les da uso de LEA. La Ilustración 225 muestra la distribución del uso actual de los predios en la población.

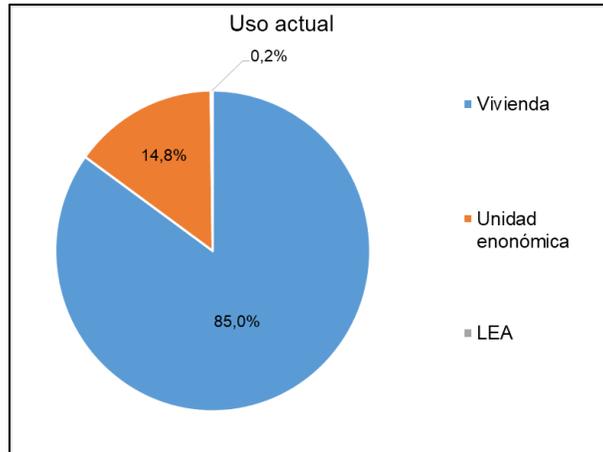


Ilustración 225. Uso Actual de los Predios.
Fuente: Geocing SAS.

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 presenta en la Tabla 126.

Tabla 126. Valoración del parámetro Uso Actual.

Uso Actual	
Vivienda	0,9
Comercial	0,8
LEA	1,0

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 pero no cuentan con servicio de gas natural.

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

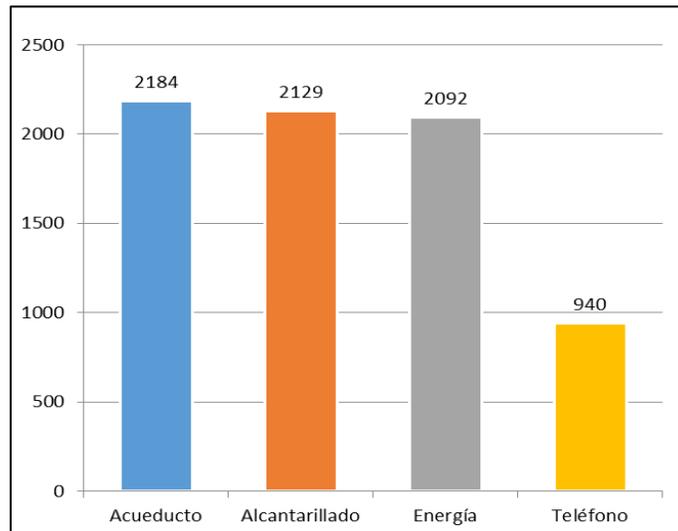


Ilustración 226. Servicios Públicos.
Fuente: Geocing SAS.

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 127, 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.

Tabla 127. 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 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

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

contrario se pueden presentar problemas de salud (PROCURADURIA GENERAL DE LA NACIÓN, 2010).

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 (PROCURADURIA GENERAL DE LA NACIÓN, 2010).

El 97,4% de la población cuenta con servicio de acueducto y el 94,9% con servicio de alcantarillado. La Ilustración 227 indica la distribución de las viviendas que cuentan o no con el servicio de alcantarillado y acueducto en la zona de estudio.

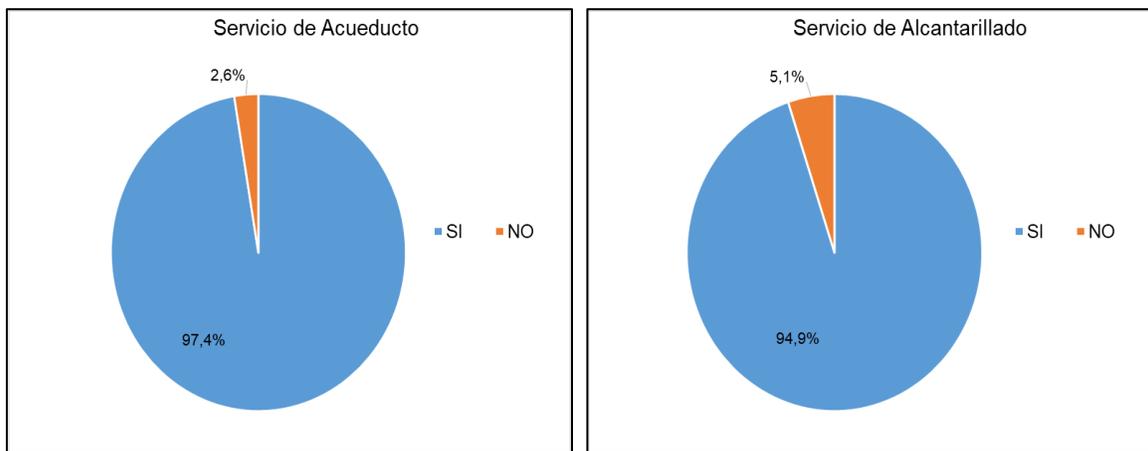


Ilustración 227. Distribución Servicio de Alcantarillado y Acueducto.
Fuente: Geocing SAS.

- **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.

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.

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

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.

A continuación en la Tabla 128 se presenta la matriz de comparaciones entre las variables que se tomaron en consideración.

Tabla 128. 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 siguiente tabla:

Tabla 129. Pesos ponderados de las variables obtenidos por el método AHP para la Vulnerabilidad Socioeconómica.

Variable	Peso
Uso Actual	0,059

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

Variable	Peso
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.

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 (Lee Hua, Mak Chee, & Chin Wen, 2006).

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 130).

 CAM CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL EJE CAFETERINO <i>Cuidar la naturaleza!</i>	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
 GEOCING SAS Geociencias e Ingeniería	INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

Tabla 130. 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		
	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	0,25
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	0,25
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		
	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
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

Dirección de correo: Calle 120 No. 49-44
 Teléfono (1) 7046969 / (1) 7458541
 Bogotá D.C.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

variable	Minoría Étnica			Desplazados			Limitación Física			Mujeres en Embarazo			Simulacros			Capacitaciones		
	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 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

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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</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 131.

Tabla 131. Vector de pesos difusos para las variables evaluadas en la Vulnerabilidad Socioeconómica.

Variable	W_{i_l}	W_{i_m}	W_{i_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

Tabla 132. Intervalos izquierdo y derecho ($P_{\alpha\text{-left}}$ y $P_{\alpha\text{-right}}$ 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

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

Variable	Pal	Par
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 133. 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.

• Categorización Vulnerabilidad Social Total

Los rangos que se utilizaron para la categorización del índice de vulnerabilidad social se muestran en la Tabla 134:

Tabla 134. Categorización de los parámetros para la vulnerabilidad social.

GRAVEDAD RELATIVA	IVS ₉₀	DESCRIPCIÓN
-------------------	-------------------	-------------

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

GRAVEDAD RELATIVA		IVS ₉₀	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 ₉₀	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 185 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 90% y en error del 7% 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 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.

12.3.1 Análisis de resultados vulnerabilidad social

Se categorizaron los predios de San Agustín por su vulnerabilidad social; donde de los 3.361 predios ubicados en San Agustín, el 66,9% de los predios presentan vulnerabilidad media lo que representa 2.250 predios, el 17,1% con vulnerabilidad baja que corresponde a 574 predios y 534 predios se encuentran categorizados en vulnerabilidad social alta (15,9%), como se logra identificar en la Ilustración 228.

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

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.

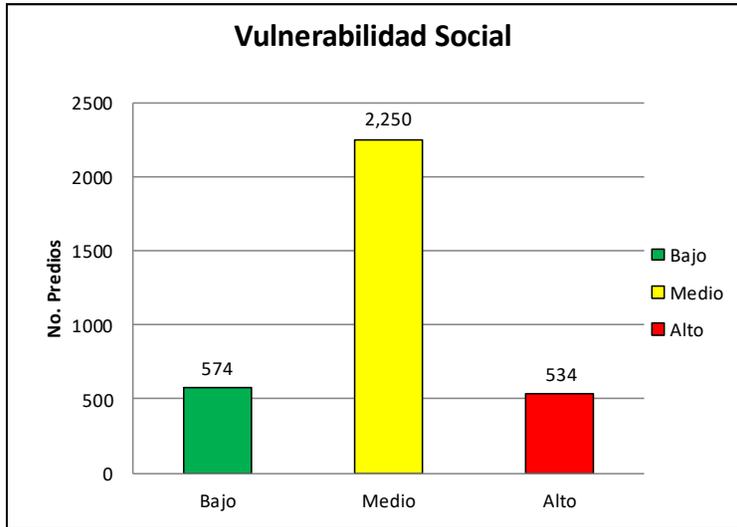


Ilustración 228. Vulnerabilidad Social por movimientos en masa predios San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

Los resultados correspondientes a vulnerabilidad social se encuentran de manera detallada en el Anexo 5. Vulnerabilidad Y Riesgo, donde se presentan los valores y la categorización de la vulnerabilidad social del casco urbano de San Agustín según los predios se presenta en la siguiente ilustración.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

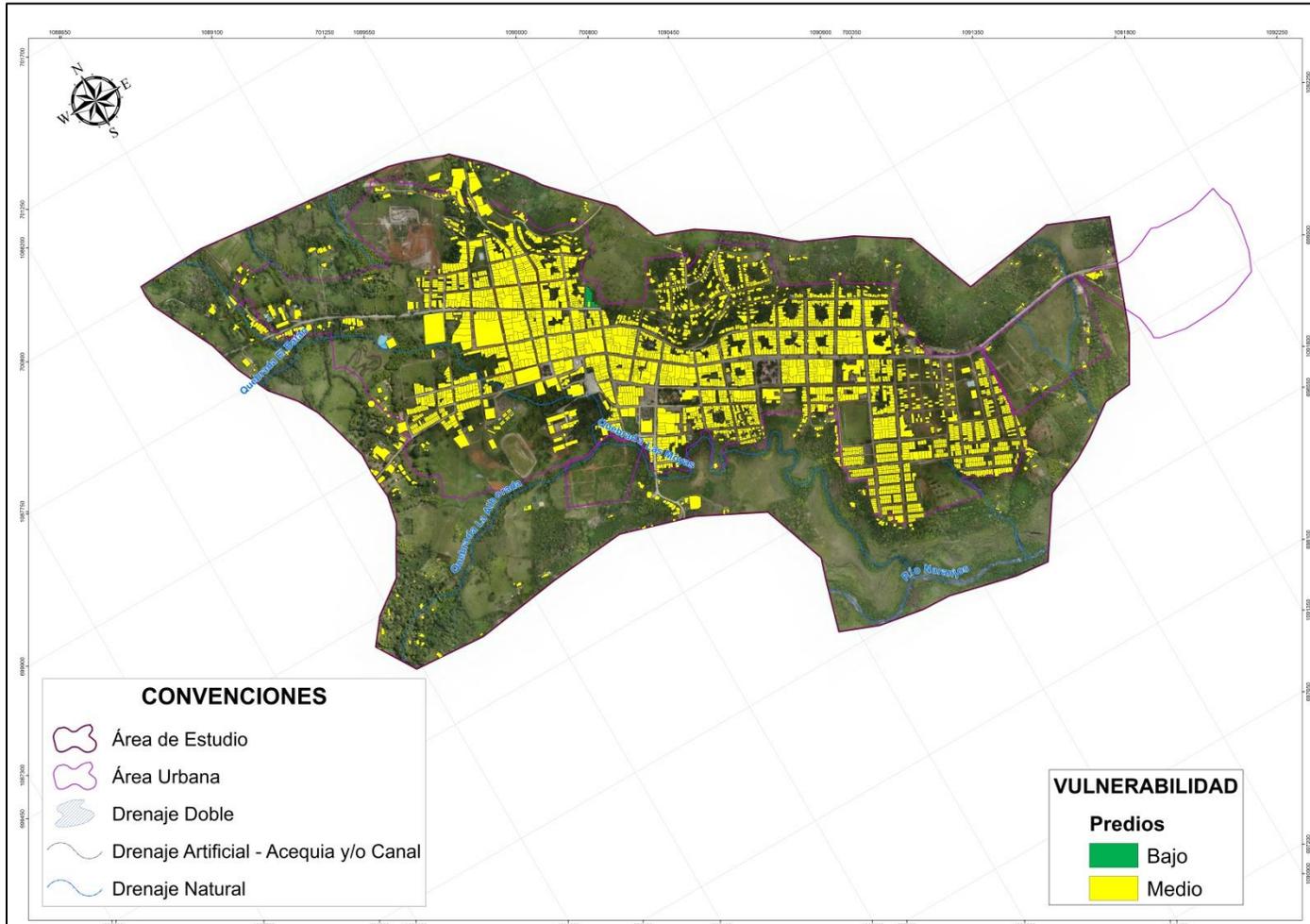


Ilustración 229. Mapa de vulnerabilidad social de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

Dirección de correo: Calle 120 No. 49-44
Teléfono (1) 7046969 / (1) 7458541
Bogotá D.C.

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

12.4 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 una de las variables que se involucraron en el estudio de vulnerabilidad (física y social).

A continuación en la Ilustración 230, 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.

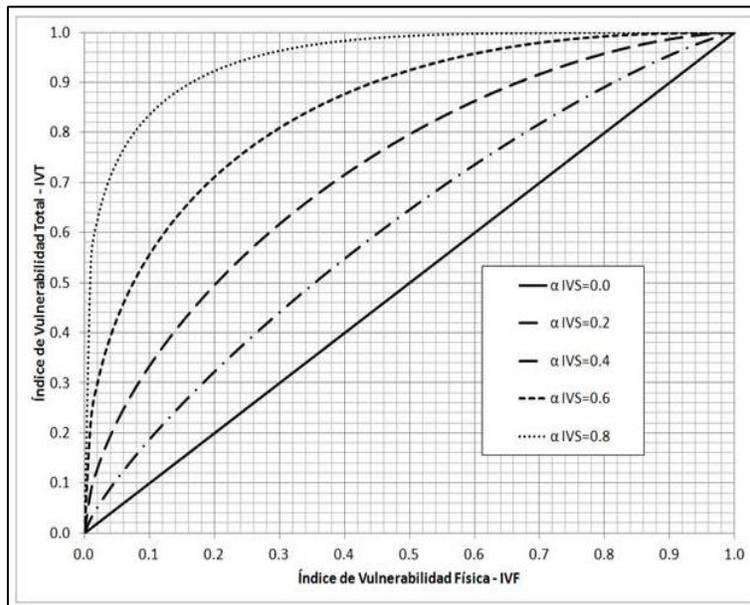


Ilustración 230. Relación entre el índice de vulnerabilidad total con los índices de vulnerabilidad física y social.

Fuente: Geocing SAS.

La gráfica muestra que cuando el valor del coeficiente de importancia de la vulnerabilidad social (α) es cero, la vulnerabilidad total será igual a la vulnerabilidad física (línea continua en la Ilustración 230). Por otro lado, a medida en que el valor del α aumenta, el comportamiento entre la vulnerabilidad total y la vulnerabilidad física deja de ser lineal y empieza a describir una curva cada vez con mayor pendiente.

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

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.

12.4.1 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% (IVT₉₀), tal como se puede ver en la Tabla 135. 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 135 se colocó el símbolo de $A=0.4$.

Tabla 135. Categorización de la vulnerabilidad Total.

GRAVEDAD RELATIVA		IVT ₉₀	DESCRIPCIÓN
I	Bajo	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
II	Medio	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
III	Alto	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
		IVT $A=0,4_{90}$	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD GLOBAL ALFA = 0.4 CONFIANZA DEL 90%

Fuente: Geocing SAS.

12.4.2 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 mientras 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.

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

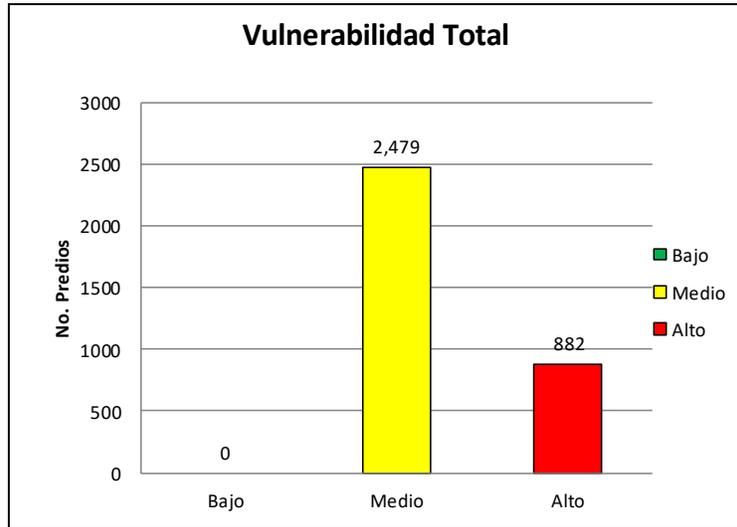


Ilustración 231. Vulnerabilidad Total predios San Agustín- movimiento en masa.
Fuente: Geocing SAS.

Para el casco urbano de San Agustín el total de los predios existentes correspondientes a 3.361 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 73,8% de las construcciones presentan vulnerabilidad total media (2.479 predios) y el restante 26,2% se categoriza con vulnerabilidad total alta (882 predios), como se logra identificar en la Ilustración 231.

Los resultados correspondientes a vulnerabilidad total se encuentran de manera detallada en el Anexo 5. Vulnerabilidad Y Riesgo donde se presentan los valores y la categorización de la vulnerabilidad para cada uno de los predios expuestos ante un movimiento masa y en la siguiente ilustración se presenta el mapa de vulnerabilidad total por movimientos en masa del casco urbano de San Agustín



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

GEOCING SAS
Geociencias e Ingeniería

INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

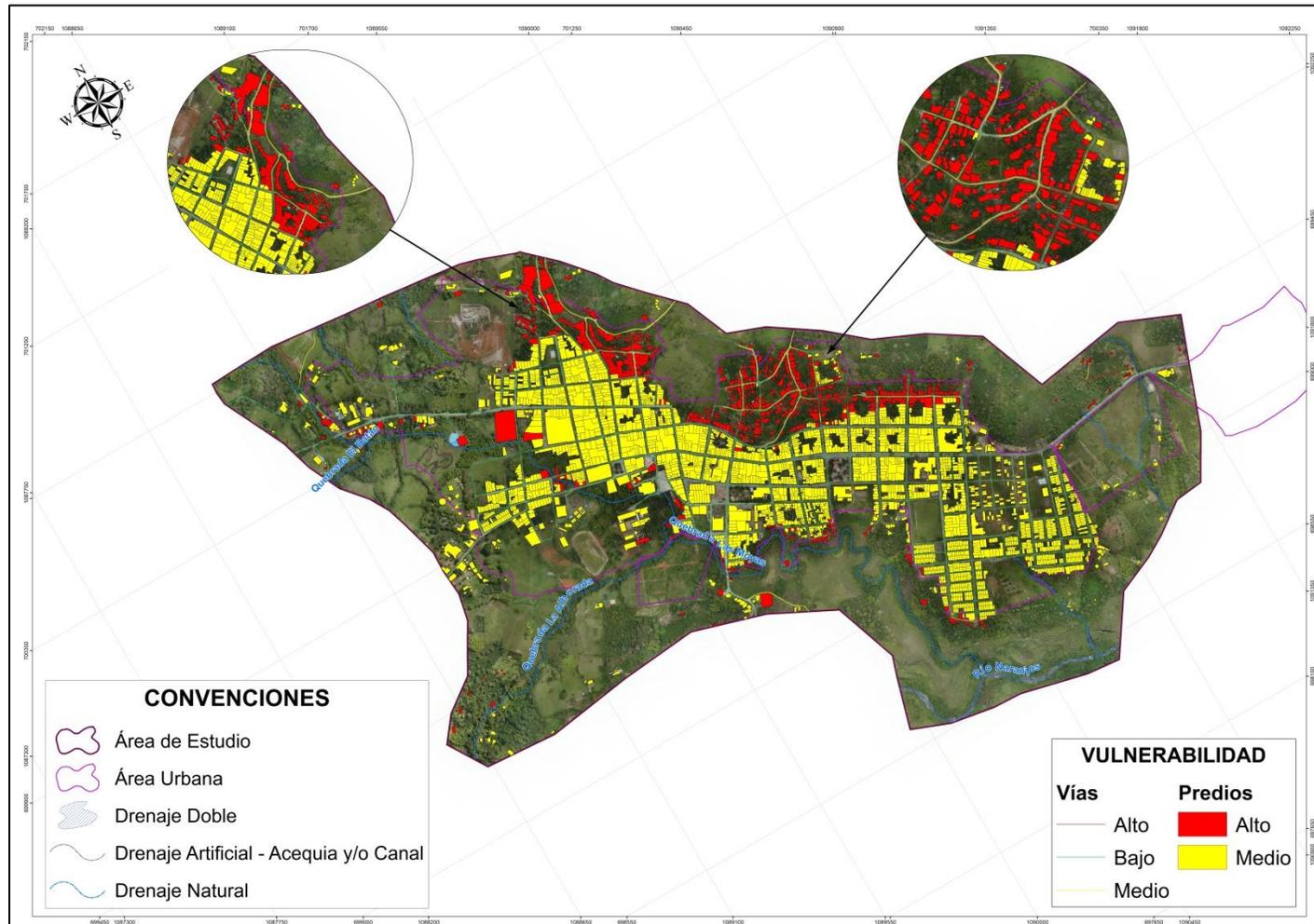


Ilustración 232. Mapa de vulnerabilidad total por movimientos en masa en el casco urbano de San Agustín.
Fuente: Geocing SAS.

Dirección de correo: Calle 120 No. 49-44
Teléfono (1) 7046969 / (1) 7458541
Bogotá D.C.

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

12.4.3 Análisis de resultados vulnerabilidad total por inundación

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 mientras 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. (ver Ilustración 233).

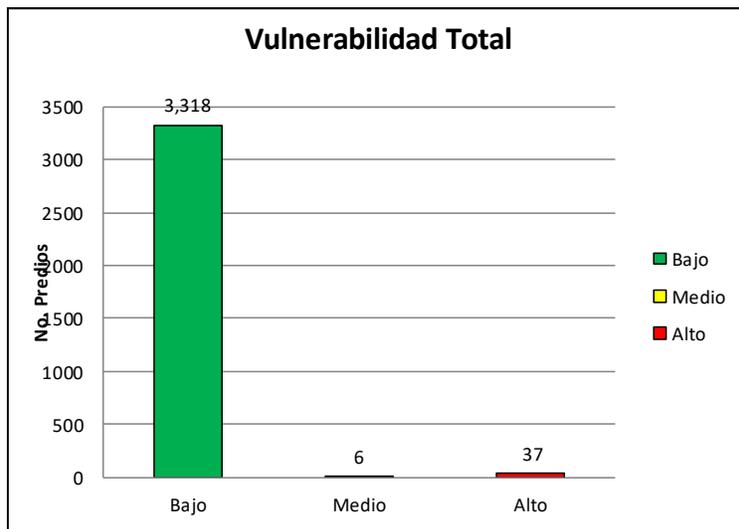


Ilustración 233. Vulnerabilidad Total predios San Agustín- inundación.
Fuente: Geocing SAS.

Para el casco urbano de San Agustín el total de las 3.361 construcciones se encuentran categorizadas con vulnerabilidad total ante una inundación, estableciendo que el 98,7% de las construcciones presentan vulnerabilidad total baja (3.320 predios) y el restante 1,3% se categoriza con vulnerabilidad total alta y media, con el 1,1% en vulnerabilidad alta y con el 0,2% con vulnerabilidad media como se logra identificar en la Ilustración 233.

Los resultados correspondientes a vulnerabilidad total se encuentran de manera detallada en el Anexo 5. Vulnerabilidad Y Riesgo donde se presentan los valores y la categorización de la vulnerabilidad para cada uno de los predios expuestos ante una inundación y en la siguiente ilustración se presenta el mapa de vulnerabilidad total por inundaciones del casco urbano de San Agustín



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

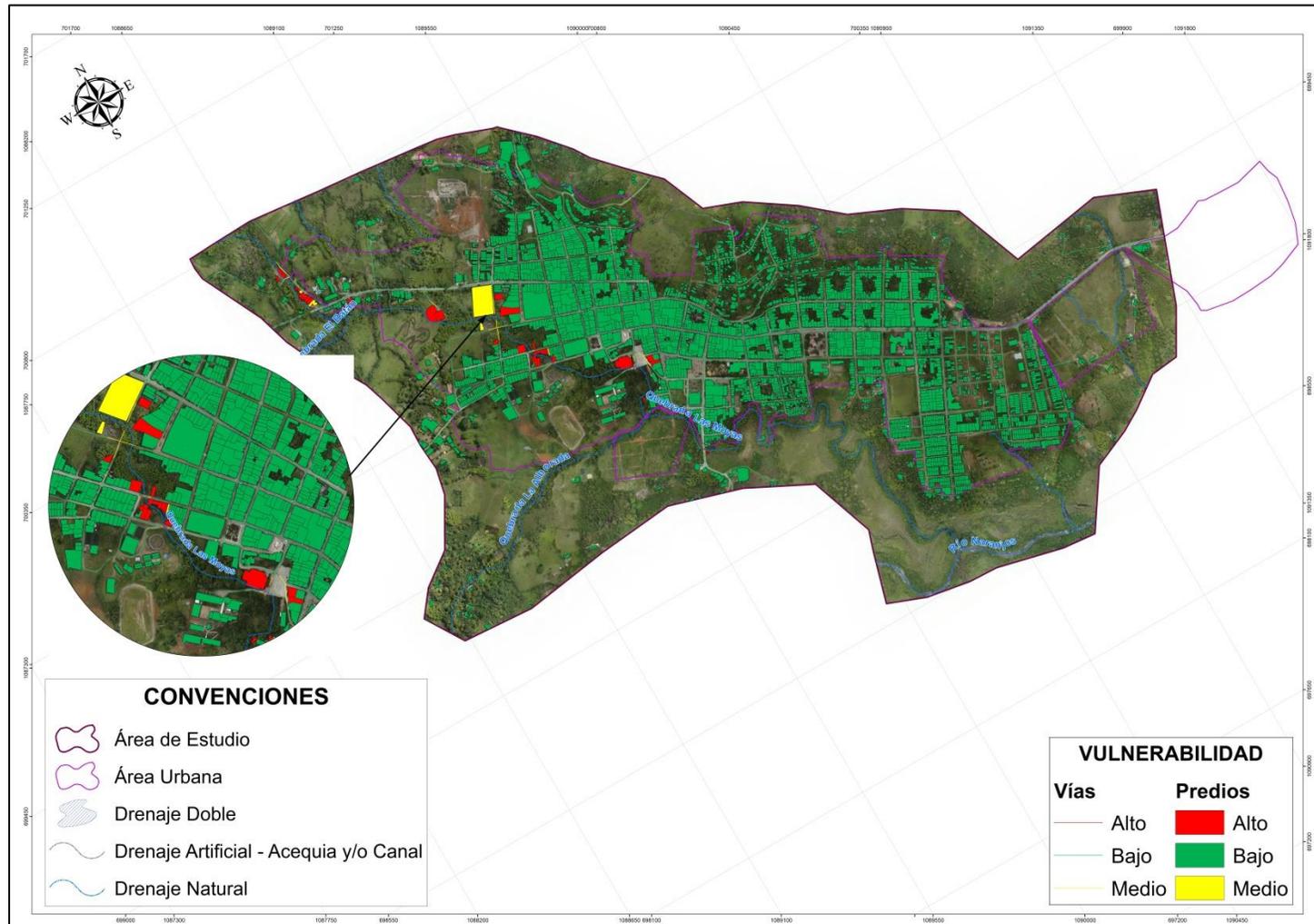


Ilustración 234. Mapa de vulnerabilidad total por inundación en el casco urbano de San Agustín.

Fuente: Geocing SAS.

Dirección de correo: Calle 120 No. 49-44
Teléfono (1) 7046969 / (1) 7458541
Bogotá D.C.

12.4.4 Análisis de resultados vulnerabilidad total por avenida torrencial

Según los resultados de vulnerabilidad física y social se establece el valor correspondiente a la vulnerabilidad total.

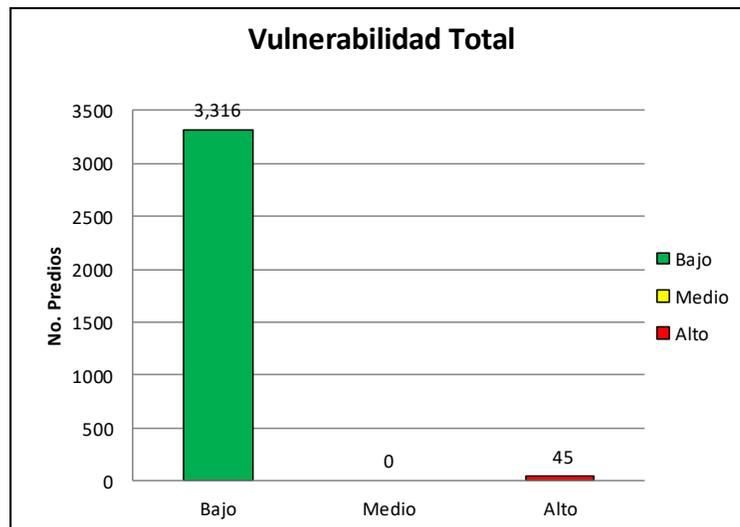


Ilustración 235. Vulnerabilidad Total predios San Agustín- Avenida Torrencial.
Fuente: Geocing S.A.S.

Como se logra identificar en la Ilustración 235 predominan los predios con vulnerabilidad total baja con el 99,0% (3.316 predios) del total ubicado en el casco urbano, esto debido a los resultados correspondientes a vulnerabilidad física donde predominó esta categorización dada la ubicación de los predios respecto a la quebrada Las Moyas, ya que dentro de la categorización de vulnerabilidad social no se presentan cambios representativos, el restante correspondiente al 1% se identificaron 45 predios que se ubican aledaños a este drenaje y dadas las condiciones estructurales de la construcción son vulnerables a verse afectados ante una avenida torrencial.

En este orden de ideas, en la siguiente ilustración se presenta el mapa de vulnerabilidad total por avenidas torrenciales de casco urbano de San Agustín.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

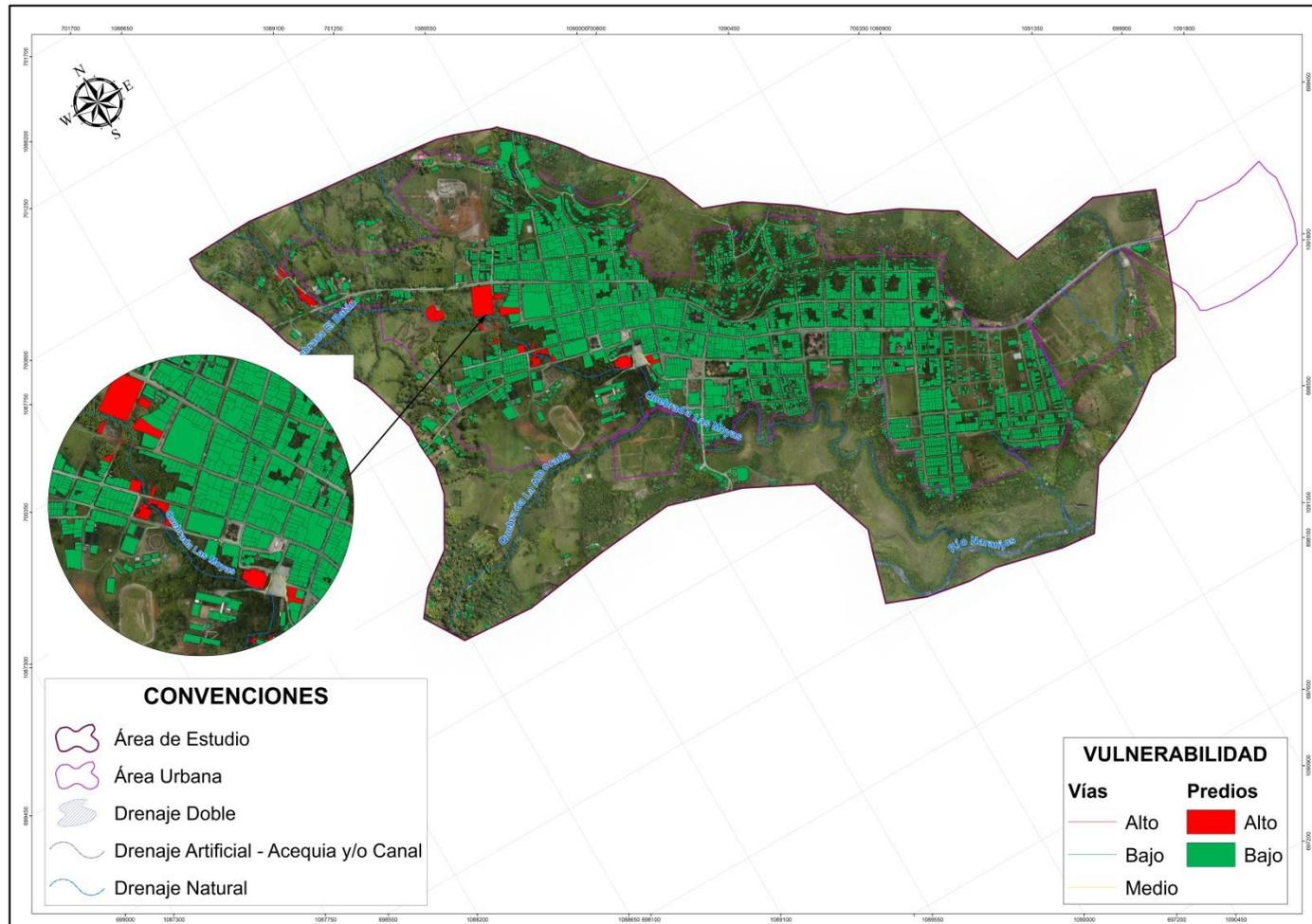


Ilustración 236. Mapa de vulnerabilidad total por avenida torrencial en el casco urbano de San Agustín.
Fuente: Geocing S.A.S.

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

13 RIESGO

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 (Chardon & González, 2002). 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”.

13.1 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.

• 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:

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

$$\text{Costo Construcción} = x * A * \text{pisos}$$

Donde

x = precio del metro cuadrado (pesos/ m²)

A = área de la construcción (m²)

Pisos = número de pisos que tiene la construcción

• 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 casco urbano, 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.

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

VÍA URBANA DE SEGUNDO ORDEN (VU-2): Penetra en los diferentes sectores urbanos y los límites de comunidades.

- ✓ Ancho total: 10 metros mínimos.
- ✓ 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

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

vías. En la Tabla 136 se presentan los costos estimados por metro para cada tipo de vía identificado en la zona de estudio.

Tabla 136. 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
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 136 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.

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

$P_{(E, S, A)}$	<p>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).</p>
-----------------	---

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 evento 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 237.

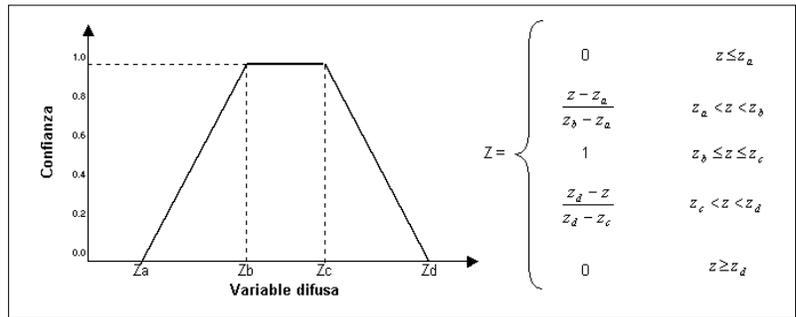


Ilustración 237. Conjuntos difusos trapezoidales.

Los números difusos trapezoidales (Ver Ilustración 237) 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; es decir,

- 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:

$$\mu = z_a + \frac{1}{A} \left[\frac{4 A_1^2}{3} + A_2 \left(\frac{A_2}{2} + 2 A_1 \right) + A_3 \left(A_2 + 2 A_1 + \frac{2 A_3}{3} \right) \right]$$

Donde,

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

$$A_1 = \frac{z_b - z_a}{2}$$

$$A_2 = z_c - z_b$$

$$A_3 = \frac{z_d - z_c}{2}$$

$$A = A_1 + A_2 + A_3$$

• 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 función de distribución de probabilidad (se debe a la de mejor ajuste, ya bien sea normal, log-normal, beta, etc).

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

13.3 CALCULO DEL RIESGO GLOBAL POR ZONA

Para poder realizar el análisis es necesario el cálculo del índice de riesgo (IRZ) 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 (IVTZ) se halla de manera similar que el IRZ. 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 IVTZ e IRZ 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.

$$P(Dz)_{50Z} = \frac{IR_Z}{IVT_Z}$$

13.4 CRITERIOS APLICADOS

Para la categorización del IR se utiliza la Ilustración 238. Esta gráfica enseña de forma visual el criterio de decisión adoptado para asignar el nivel de riesgo. Asimismo, la Tabla 137 muestra el nivel de riesgo, su descripción y los rangos que encierran cada criterio de decisión.

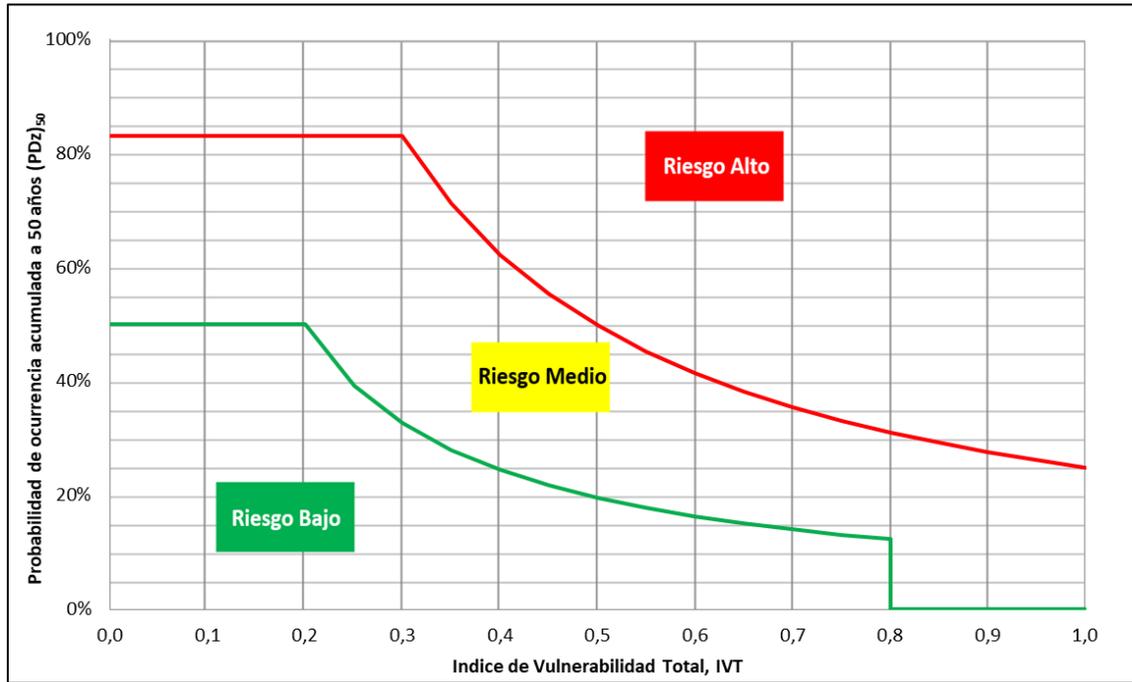


Ilustración 238. Categorización del nivel de riesgo el cual depende del índice de vulnerabilidad total en el eje x y la probabilidad de ocurrencia acumulada a 50 años en el eje y.
Fuente: Geocing SAS.

Como se observa en la Ilustración 238, 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 137. Categorización del riesgo.

NIVEL DE RIESGO	DESCRIPCIÓN	CRITERIO
Alto	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>$Si IVF < 0.30 \text{ y } P(DZ)_{50} \geq 83\%$</p> <p>$Si IRT \geq 0.25, \text{ para } IVF \geq 0.30$</p>
Medio	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 evento.	<p>$Si 50\% \leq P(Dz)_{50} < 80\% \text{ y } IVF < 0.20$</p> <p>$Si 0.10 \leq IRT < 0.25, \text{ para } 0.125 \leq IVF < 0.85$</p> <p>$Si IRT \leq 0.25, \text{ para } IVF \geq 0.85$</p>

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

NIVEL DE RIESGO	DESCRIPCIÓN	CRITERIO
Bajo	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>$Si P(Dz)_{50} < 50\%$ y $IVF < 0.20$</p> <p>$Si IRT < 0.10$, para $0.20 \leq IVF < 0.80$</p> <p><i>N. A.</i>, para $IVF \geq 0.80$</p>

Fuente: Geocing SAS.

13.5 RESULTADOS OBTENIDOS DEL RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA

De acuerdo a la distribución de los índices de riesgo de los elementos expuestos presentados en la Ilustración 239 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. Vulnerabilidad Y Riesgo.

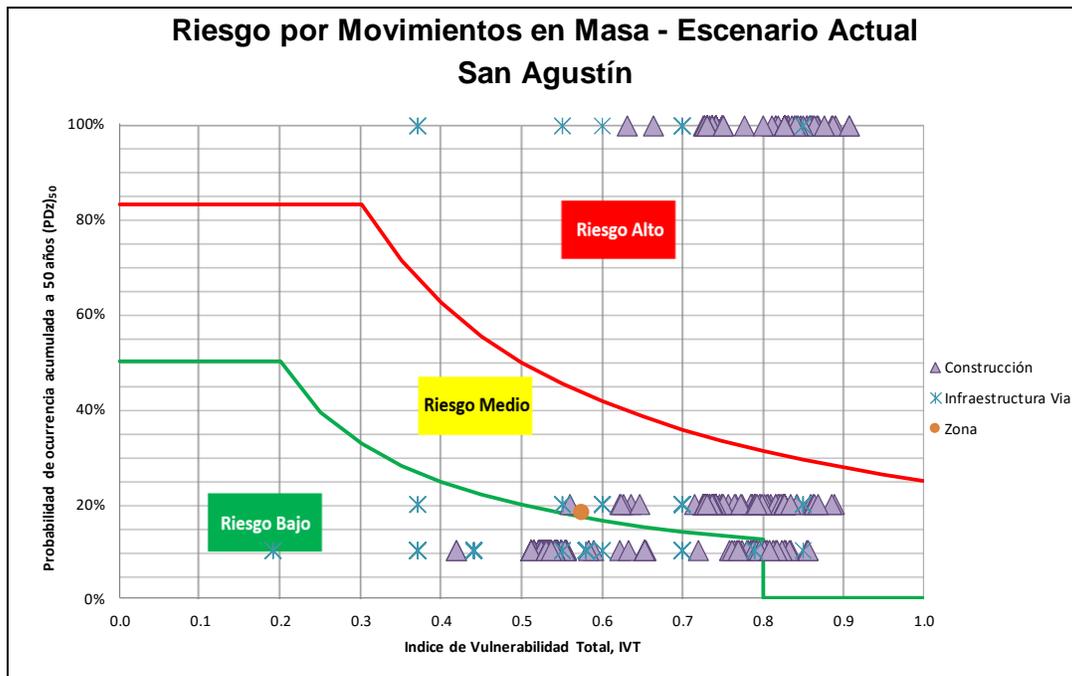


Ilustración 239. Categorización del nivel de riesgo por movimientos en masa de los elementos expuestos para el escenario actual.

Fuente: Geocing SAS.

Dirección de correo: Calle 120 No. 49-44
 Teléfono (1) 7046969 / (1) 7458541
 Bogotá D.C.

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

A partir de los resultados correspondientes a amenaza, vulnerabilidad y riesgo obtenidos para los elementos expuestos ubicados en el casco urbano de San Agustín fueron calculados los valores de IVT_z , $(P(D_z)_{50})_z$ e IR_z , los cuales representan el valor total para el casco urbano y permiten estimar el riesgo total del mismo, como se logra identificar en la Tabla 138.

Tabla 138. Valores de los índices de vulnerabilidad, amenaza y riesgo por movimientos en masa del casco urbano de San Agustín.

Zona de Estudio	IVT_z	$(P(D_z)_{50})_z$	IR_z
Casco urbano de San Agustín	0,58	0,18	0,10

Fuente: Geocing SAS.

Según la Ilustración 239 y la Tabla 138, se establece que el casco urbano de San Agustín se encuentra categorizado con riesgo medio por movimientos en masa. El nivel de riesgo medio implica que el casco urbano se encuentra en una situación que requiere que se desarrollen actividades para la gestión sobre el riesgo con una prioridad de segundo nivel. Pueden encaminarse a medidas no estructurales (disminución de vulnerabilidad), sin descartar las 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. Sin embargo, que la situación sea prioritaria de segundo nivel no significa que no sea necesario evaluar el nivel de riesgo de cada uno de los elementos en riesgo y sus posibles pérdidas económicas, puesto que resulta indispensable la inversión inmediata en acciones específicas para la gestión sobre las edificaciones que presentan un riesgo alto.

Respecto al riesgo económico que representan las construcciones categorizadas con riesgo por movimientos en masa, se establecen unas posibles pérdidas de \$73,078,028,800, como se logra identificar en la Ilustración 240. Cabe resaltar que a pesar que los predios en riesgo alto representan el 5,7% (\$ 29,588,645,664) del total de predios en riesgo, estos representan el 40,5% del riesgo económico directo en el casco urbano de San Agustín, esto debido a que en medida que el riesgo es mayor se esperan pérdidas superiores ya que las construcciones presentaran una mayor afectación; el restante correspondiente al 59,5% del riesgo económico se encuentra distribuido un 43,3% en riesgo bajo con unas pérdidas económicas esperadas de \$31,677,134,090 y el 16,2% del total de los predios en riesgo medio con \$11,812,249,046 pesos.

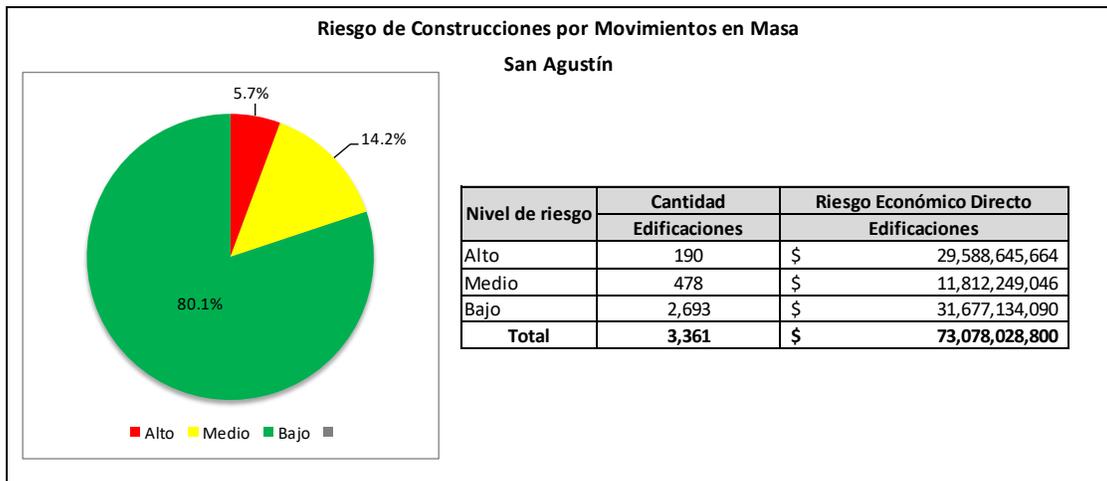


Ilustración 240. Distribución del número de construcciones y pérdidas económicas esperadas para las categorías de riesgo por movimientos en masa.

Fuente: Geocing SAS.

El total de las vías del casco urbano de San Agustín se encuentra categorizado con riesgo ante movimientos en masa, lo cual corresponde a un tramo vial de 30,6 Km y un riesgo económico directo de \$1.355'311.710, de los cuales el 12,1% de las pérdidas están asociadas al riesgo alto a pesar de ser un tramo vial de 0,47 Km, esto debido a que la afectación esperada en las vías es mayor en comparación con las otras categorías. El restante tramo vial correspondiente a 30,1 Km esta categorizado con riesgo medio y bajo; donde el 85,1% (26,0 Km) se identificó en categoría baja y con el 13,4% correspondiente a 4,10 Km se identificó en categoría media.

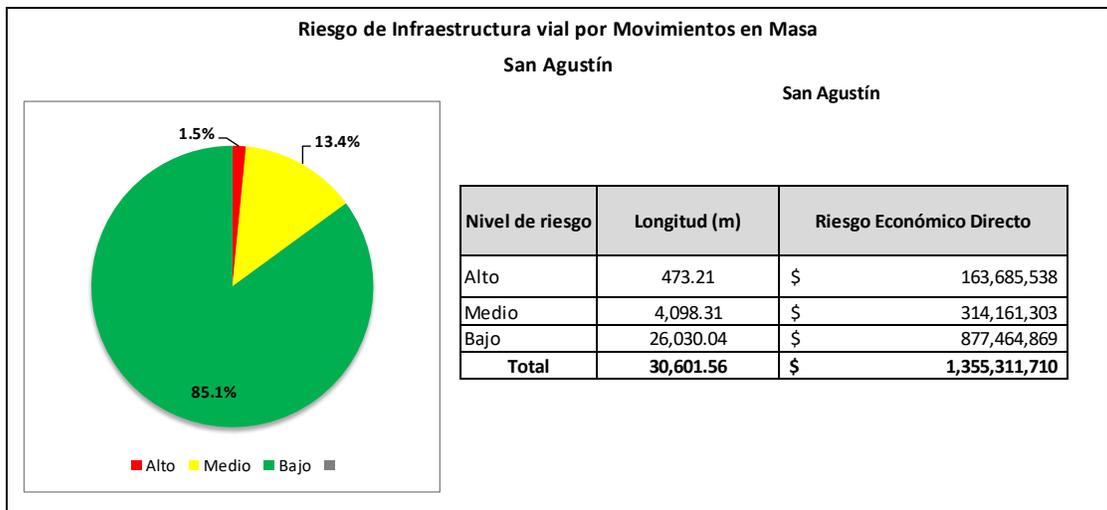


Ilustración 241. Distribución de las pérdidas económicas esperadas de la infraestructura vial que se encuentra dentro de las categorías de riesgo por movimientos en masa.

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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

En la siguiente ilustración se presenta el mapa de riesgo por movimientos en masa del casco urbano de San Agustín.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

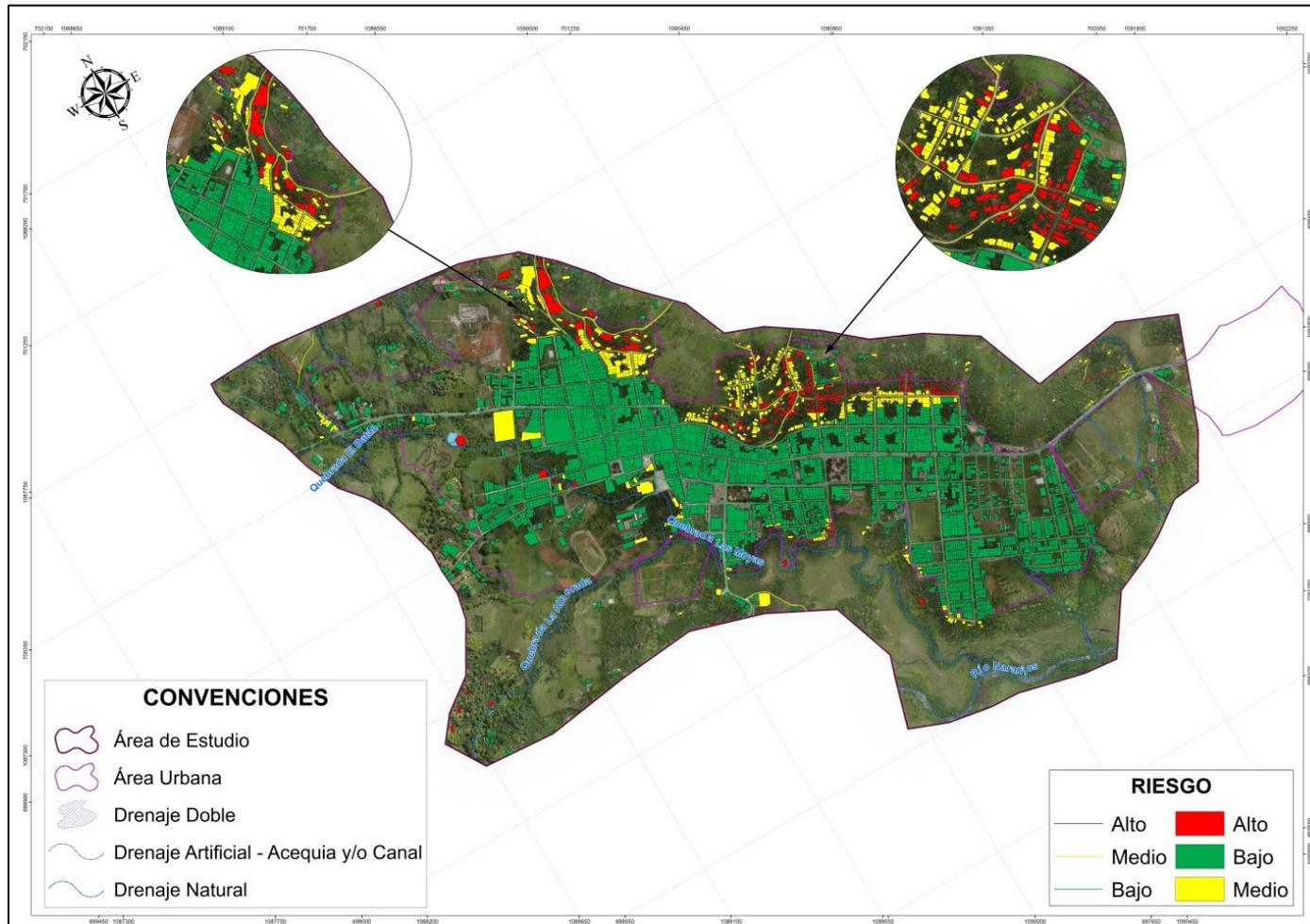


Ilustración 242. Mapa de riesgo por movimientos en masa casco urbano de San Agustín.

Fuente: Geocing SAS.

Dirección de correo: Calle 120 No. 49-44
Teléfono (1) 7046969 / (1) 7458541
Bogotá D.C.

13.6 RESULTADOS OBTENIDOS DEL RIESGO POR INUNDACIÓN

Como se logra identificar en la Ilustración 243 se presenta la distribución de los predios y vías ubicados en el casco urbano de San Agustín 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. De manera detallada se pueden observar la categorización del riesgo para cada elemento expuesto en el Anexo 5. Vulnerabilidad Y Riesgo.

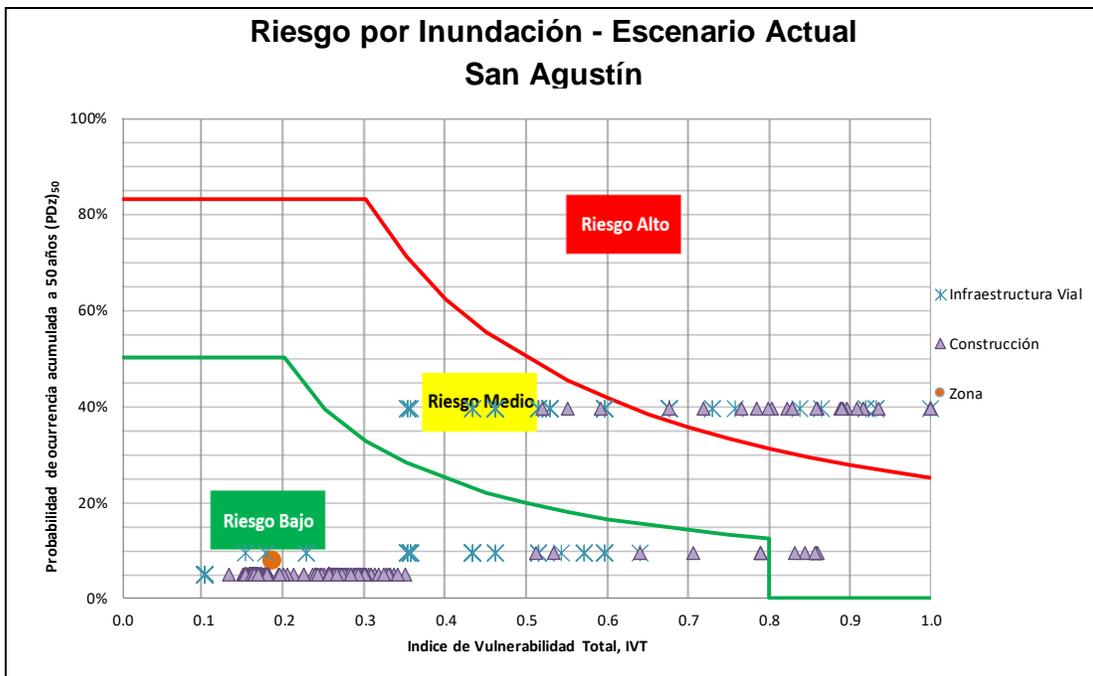


Ilustración 243. Categorización del nivel de riesgo por inundación de los elementos expuestos para el escenario actual.
Fuente: Geocing SAS.

A partir de los resultados obtenidos para los elementos expuestos se categoriza el riesgo para el casco urbano de San Agustín según los resultados correspondientes a IVT y $(P(D_z)_{50})_z$, obteniendo un índice de riesgo igual a 0,02 lo que categoriza al casco urbano con un riesgo bajo, tal como se presenta en la Tabla 139, y de manera gráfica en la Ilustración 243 como zona.

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

Tabla 139. Valores de los índices de vulnerabilidad, amenaza y riesgo por inundación del casco urbano de San Agustín.

Zona de Estudio	IVT _z	(P(Dz) ₅₀) _z	IR _z
Casco urbano de San Agustín	0,18	0,1	0,01

Fuente: Geocing SAS.



Ilustración 244. Distribución del número de construcciones y pérdidas económicas esperadas para las categorías de riesgo por Inundación.

Fuente: Geocing SAS.

En la Ilustración 244 se presentan las pérdidas económicas y cantidad de predios correspondiente a cada categoría de riesgo por inundación, estableciendo que en riesgo por inundación las pérdidas económicas serían de \$ 10,232,552,437, como se logra identificar en la Ilustración 244. Cabe resaltar que aunque los predios en riesgo alto representan el 0,77% (26 predios) del total de predios en riesgo que representan el 38,3% del riesgo económico directo en el casco urbano de San Agustín, esto debido a que se presentarían mayores afectaciones en medida que el riesgo es mayor y por lo tanto las pérdidas aumentan; el restante correspondiente al 61,7% del riesgo económico se encuentra categorizado en el riesgo bajo y medio. Con el 98,9% se identificaron en riesgo bajo (3.325 predios) y con el 0,30% se encuentran 10 predios en riesgo medio.

El total de las vías del casco urbano de San Agustín se encuentra categorizado con riesgo ante movimientos en masa; se identificó que la totalidad de las vías correspondiente a 30,60 Km se encuentran asociadas al riesgo con unas pérdidas económicas esperadas de \$ 167,586,765. La mayoría de las vías están asociadas a riesgo bajo correspondiente a 30,3 Km (99,1%) con unas pérdidas esperadas de \$120,763,402. El restante de infraestructura vial corresponde a 0,26 Km que se encuentran distribuidos en categoría de riesgo medio y alto. Para el riesgo medio se

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

identificó 0,22 Km de tramo vial las cuales representan unas pérdidas económicas de \$ 30,964,977 (0,7%) y finalmente, un tramo de vía de 0,05 Km (0,01%) se encuentran en riesgo alto y tiene unas pérdidas económicas directas de \$ 15,858,386 (Ver Ilustración 245).

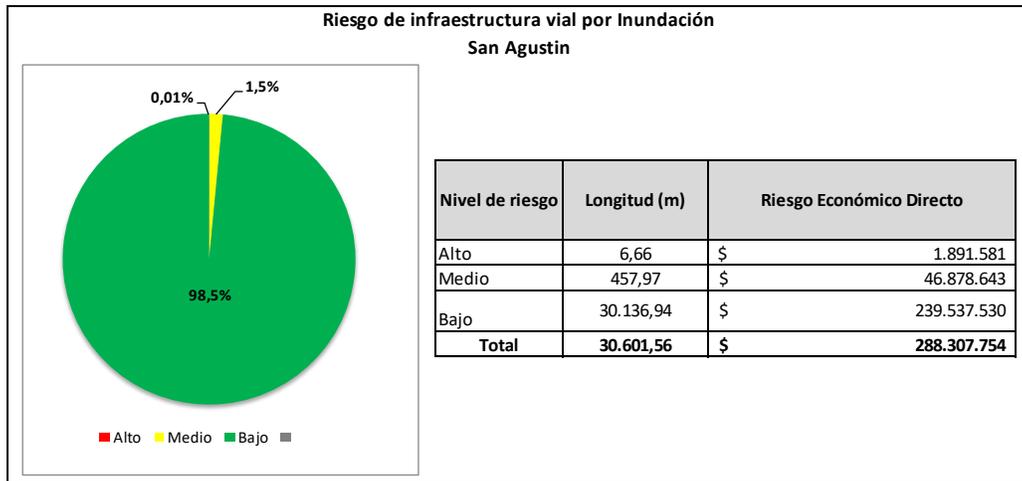


Ilustración 245. Distribución de las pérdidas económicas esperadas de la infraestructura vial que se encuentra dentro de las categorías de riesgo por Inundación.
Fuente: Geocing SAS.

En la siguiente ilustración se presenta el mapa de riesgo por inundaciones del casco urbano de San Agustín.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

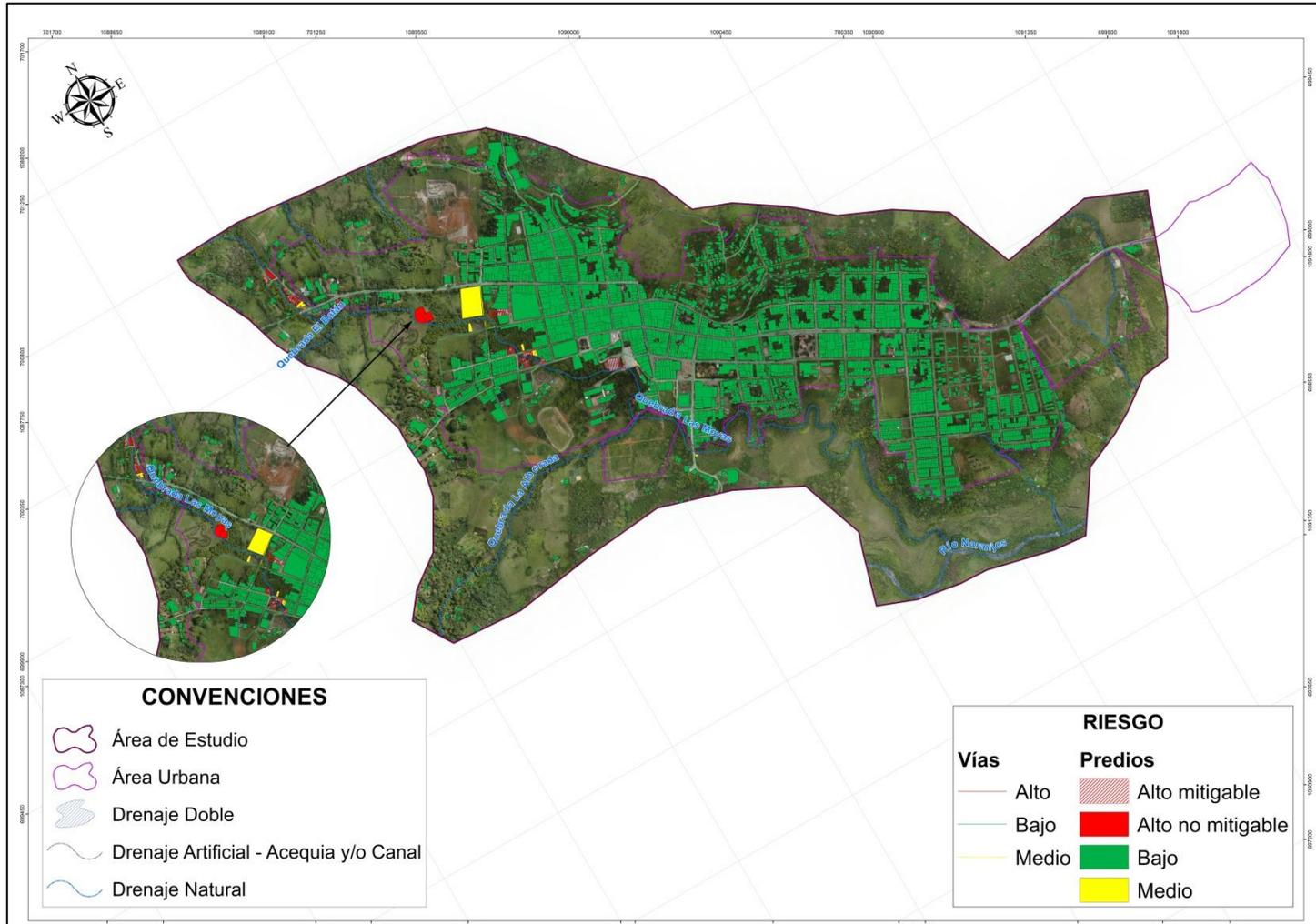


Ilustración 246. Mapa de riesgo por inundación casco urbano de San Agustín.

Fuente: Geocing SAS.

Dirección de correo: Calle 120 No. 49-44
Teléfono (1) 7046969 / (1) 7458541
Bogotá D.C.

13.7 RESULTADOS OBTENIDOS DEL RIESGO POR AVENIDA TORRENCIAL

En la Ilustración 247 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.

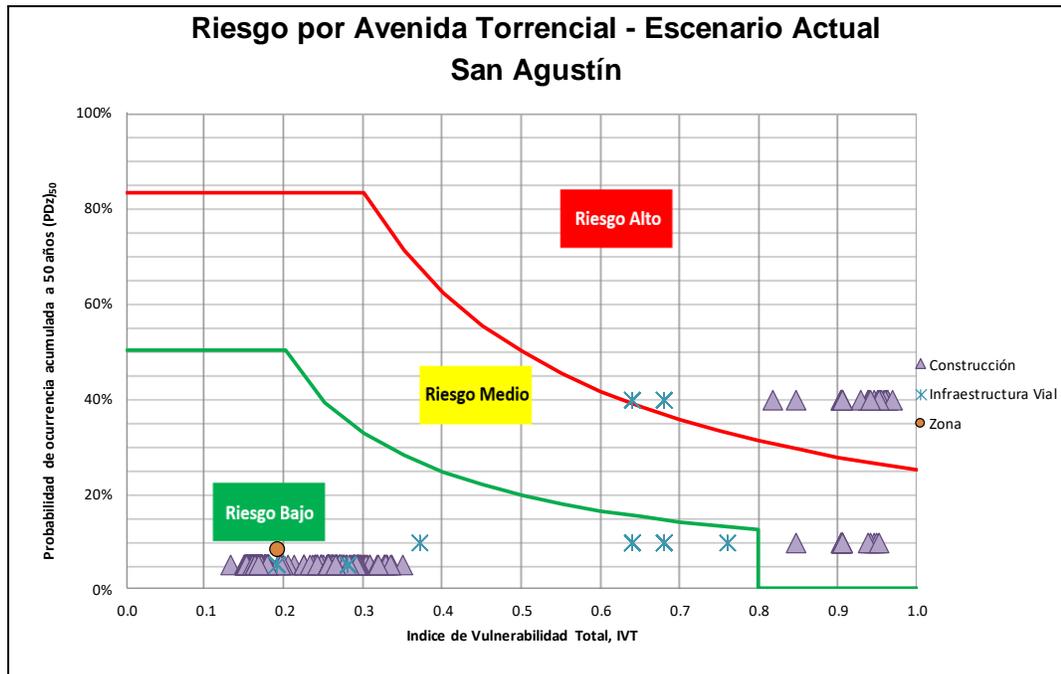


Ilustración 247. Categorización del nivel de riesgo por avenida torrencial de los elementos expuestos para el escenario actual.

Fuente: Geocing S.A.S.

A partir de los resultados correspondientes a amenaza, vulnerabilidad y riesgo obtenidos para los elementos expuestos ubicados en el casco urbano de San Agustín fueron calculados los valores de IVT_z , $(P(D_z)_{50})_z$ e IR_z , los cuales representan el valor total para el casco urbano y permiten estimar el riesgo total del mismo, como se logra identificar en la siguiente tabla:

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

Tabla 140. Valores de los índices de vulnerabilidad, amenaza y riesgo por avenida torrencial del casco urbano de San Agustín.

Zona de Estudio	IVT _Z	(P(Dz) ₅₀) _Z	IR _Z
Casco urbano de San Agustín	0,19	0,08	0,02

Fuente: Geocing S.A.S.

En la Ilustración 247 se representan el valor correspondiente al riesgo del casco urbano de San Agustín el cual se encuentra en la Tabla 140, según los cuales San Agustín se encuentra categorizado con riesgo bajo, esto debido a que esta categorización se presenta en el 98,6% de los predios y el 98,9% de las vías.

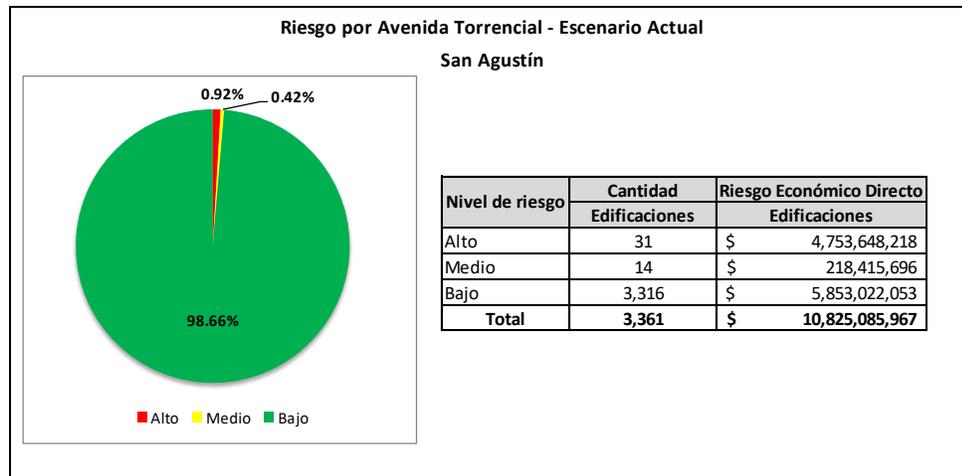


Ilustración 248. Distribución del número de construcciones y pérdidas económicas esperadas para las categorías de riesgo por Avenida Torrencial.

Fuente: Geocing S.A.S.

Las pérdidas económicas esperadas para los predios son de \$ 10,825,085,967 como se logra identificar en la Ilustración 248 estableciendo que las pérdidas económicas que presentan los predios con riesgo bajo corresponde a \$ 5,853,022,053 lo cual representa el 54,1% de las pérdidas; en riesgo alto se identificaron 31 predios se presentan un riesgo económico de \$ 4,753,648,218 lo cual corresponde al 43,9% de las pérdidas esperadas en las construcciones y el 42,6% del total de las pérdidas totales esperadas en el casco urbano de San Agustín; esto se debe a que en esta categoría se presentarían mayores afectaciones a la infraestructura lo que implica una pérdida mayor a comparación del riesgo bajo, donde se afectan más predios de forma no considerable. Para el riesgo medio se identificaron 14 construcciones con unas pérdidas esperadas de consolidarse el riesgo correspondientes a \$ 218,415,696.

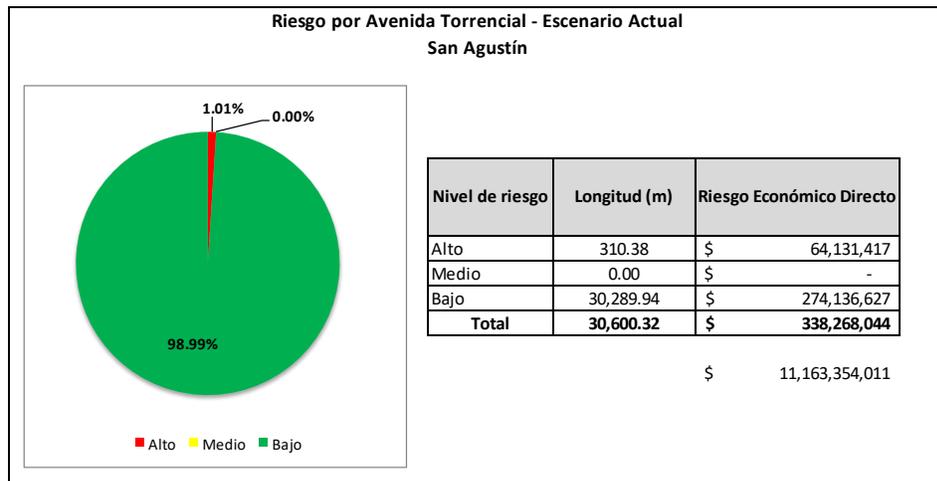


Ilustración 249. Distribución de las pérdidas económicas esperadas de la infraestructura vial que se encuentra dentro de las categorías de riesgo por Avenida Torrencial.
Fuente: Geocing S.A.S.

El riesgo económico para las vías en el casco urbano de San Agustín, en el cual se identificó que los 30,6 Km correspondientes a la malla vial del casco urbano se encuentra categorizado en nivel de riesgo (bajo y alto) y las pérdidas esperadas corresponden a \$ 338,268,044 los cuales se distribuyen en las categorías de riesgo bajo y alto con pérdidas de \$ 274,136,627 y \$ 64,131,417 respectivamente. Las vías en riesgo bajo corresponden a un tramo de 30,2 Km los cuales representan el 98,9% del total de las vías y el restante 1,1% de la malla vial, corresponde a riesgo alto un tramo de 0,3 Km. Es importante resaltar que no se identificaron tramos viales en categoría de riesgo medio.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

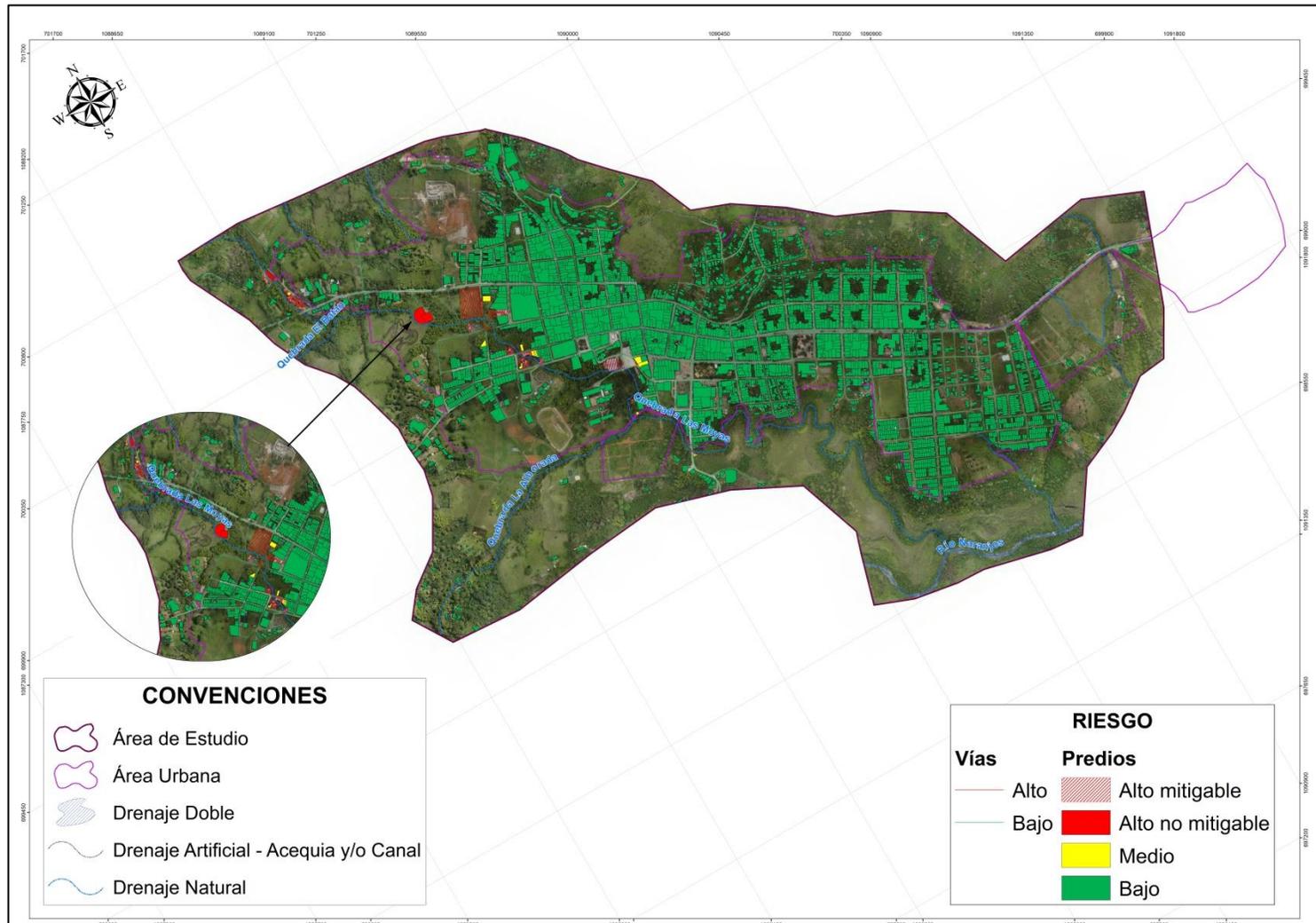


Ilustración 250. Mapa de riesgo por avenida torrencial casco urbano de San Agustín.

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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

14 RONDA HÍDRICA Y ZONIFICACIÓN AMBIENTAL

14.1 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 capitulo contiene los resultados de la Zonificación de Manejo Ambiental y ronda de protección de drenajes.

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.

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

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.

14.1.1 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” (Figura 3-1). 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.

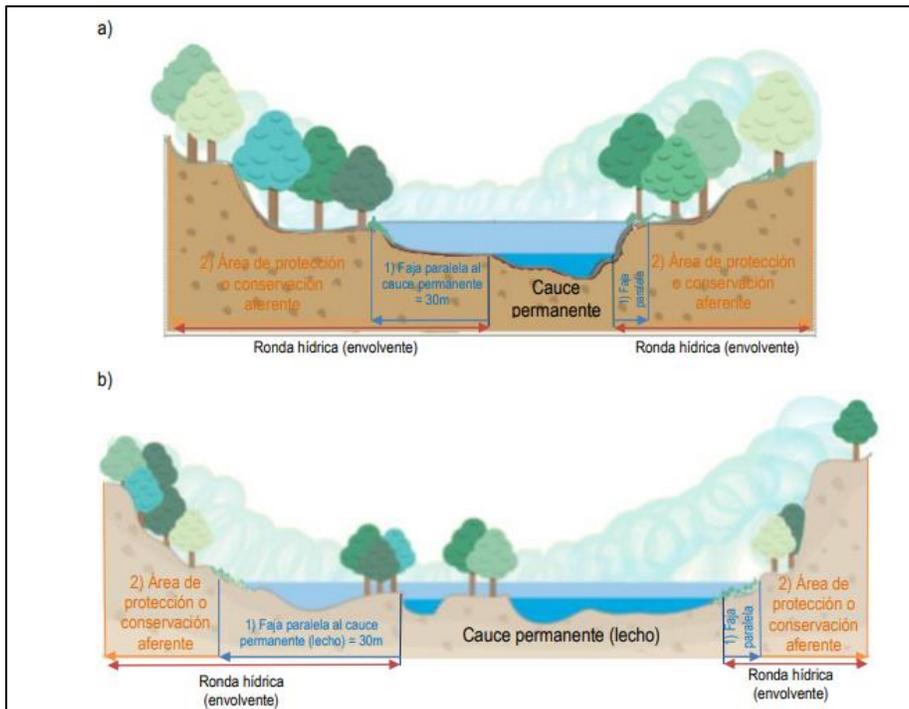


Ilustración 251 Identificación de los elementos constituyentes de la ronda hídrica.

(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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN



Ilustración 252 Delimitación de la ronda hídrica para los drenajes presentes en el casco urbano de San Agustín.
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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

14.1.2 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).

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

14.1 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.

14.1.3 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. Ilustración 208.

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

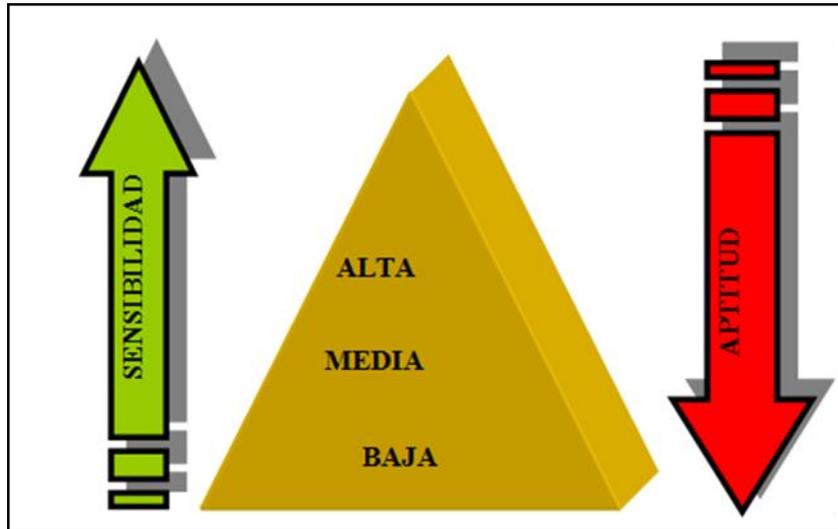


Ilustración 253. Relación Entre Sensibilidad y Aptitud Frente a proyectos
Fuente: Geocing SAS.

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 141 se identifican los diferentes sectores estudiados para la representación final del mapa de zonificación Ambiental.

Tabla 141. 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 y Movimientos en masa
		Zonas que forman parte de corredores ecológicos.

Fuente: Geocing SAS.

Por otra parte, se incluyen dentro de estas áreas de exclusión aquellas con intenso desarrollo de erosión y/o movimientos en masa incluyen las zonas de laderas natural con pendientes superiores a 45°, zonas intervenidas inestables y zonas de 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

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

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

Drenaje	Período de retorno de 100 años	Zona de protección (m)	Protección desde la corona del talud (m)
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.

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

- **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 casco urbano de San Agustín.

Tabla 142 Área de protección para cauces secundarios

Drenaje	Período de retorno de 100 años	Cauce promedio (m ³ /seg)	Zona de protección (m)
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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</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 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 casco urbano. 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.

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

- **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 137. 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 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.

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.

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

Tabla 143 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 casco urbano 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. 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
- Previo permisos de aprovechamiento forestal

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

- 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.

- **Área de Mediana restricción (AMR) Sensibilidad Media**

Esta zona de amenaza media se encuentra dada por inundación 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**

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.

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

Con base en el análisis de la información de los mapas temáticos de las componentes geo ambientales 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 casco urbano de San Agustín 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 144.

Tabla 144. 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 d 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.
	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. Previas obras de control y mitigación para las amenazas presentes. Previo 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 presente importancia ambiental	Áreas susceptibles de intervención sin restricciones especiales, en donde en presente compatibilidad con el desarrollo de proyectos urbanísticos.

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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

En la Ilustración 254 representa la Zonificación Ambiental final del casco urbano de San Agustín 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 145 Resumen de área de la zonificación ambiental

CATEGORÍA RONDA	Área(Ha)	Área (%)
Área de Protección Alta	15.714226	4.55%
Área de Protección Baja	203.76847	59.01%
Área de Protección Media	85.450262	24.75%
Área de Restricción	36.740674	10.64%
Cauce	3.634398	1.05%
TOTAL	345.30803	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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

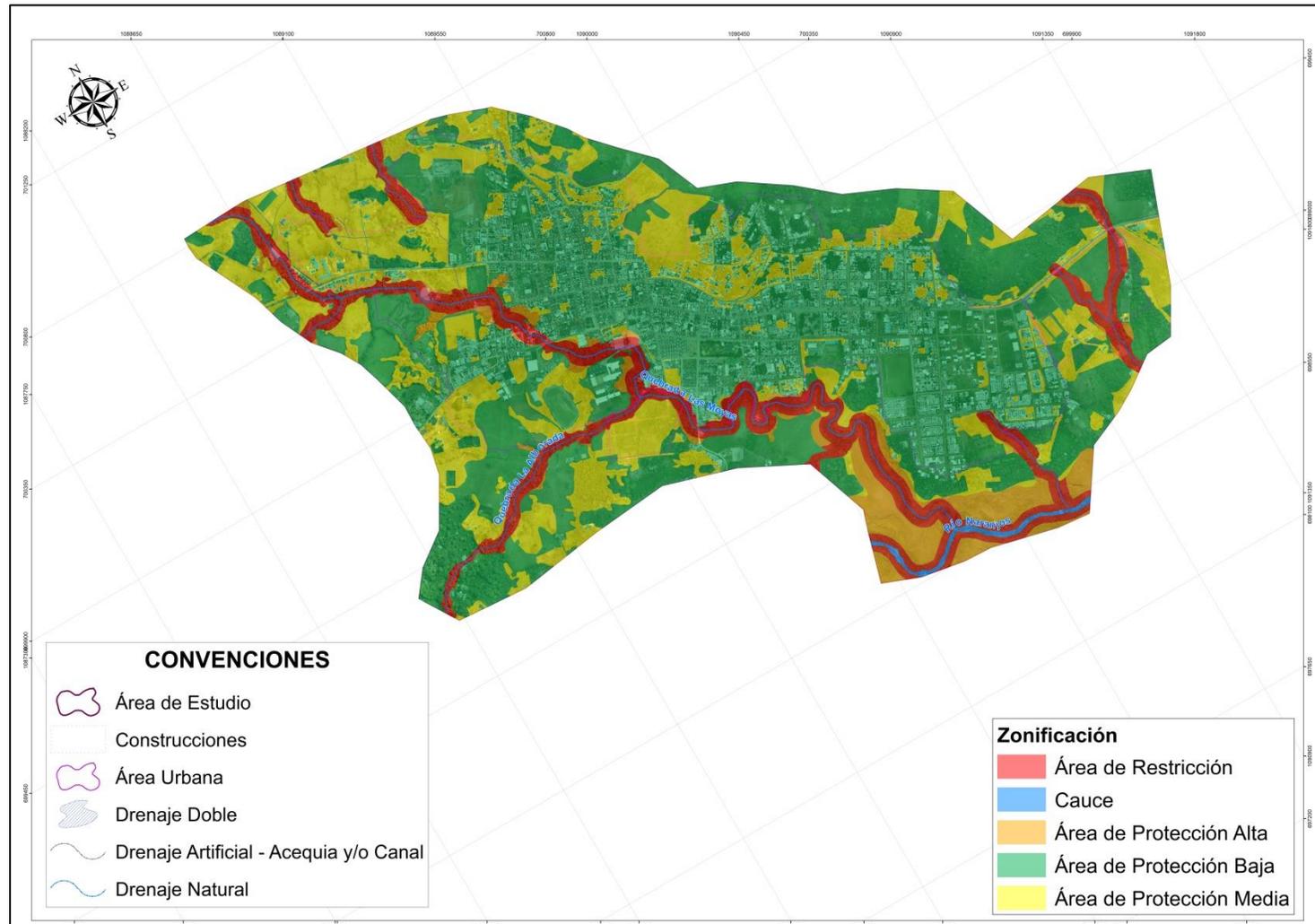


Ilustración 254. Mapa de zonificación Ambiental, Casco urbano de San Agustín

Fuente: Geocing 2019

Dirección de correo: Calle 120 No. 49-44
Teléfono (1) 7046969 / (1) 7458541
Bogotá D.C.

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

15 MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO

15.1 MOVIMIENTOS EN MASA

15.1.1 Medidas estructurales

De acuerdo a las zonas identificadas en los resultados del análisis por amenaza por movimientos en masa detallada, a continuación se presentan las medidas de mitigación para cada una de estas zonas:

15.1.2 Barrio Siloé

Está localizado en la parte norte del casco urbano en zona de ladera; geológicamente ubicado en Suelo residual de la Formación Vulcanitas básicas, sobre el cual por el avance de la población y la necesidad social de construcción de viviendas se han realizado cortes con un inadecuado manejo de estabilidad de los mismo, dejando los taludes de corte expuestos a intemperismo y la infiltración de aguas lluvias y sub superficial, situación que ha ocasionado la inestabilidad localizada en algunas zonas del barrio como se logra evidenciar en el Barrio Siloé en la Ver ilustración 101.



Ilustración 255 Vista local de la categorización de Amenaza por movimiento en masa en el Barrio Siloé

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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

A continuación se describen las medidas de mitigación para cada una de las zonas críticas:

• **Zona Crítica 1**

En esta zona se localiza, en un talud margen de un antiguo drenaje sobre el cual se localizan viviendas 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 talud, que además se encuentra invadido con cultivos, 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 servidas y un adecuado descole al sistema de alcantarillado; a alternativa debe contar con un manejo adecuado de las aguas de infiltración y de esorrentía.
- No se debe continuar con la urbanización en esta zona.
- En razón que, actualmente el talud marginal se utiliza para fines agrícola, el sistema de captación de los residuos líquidos así como de riego debe garantizar que no haya infiltración en el talud que aumente la inestabilidad.
- Como medida definitiva se *DEBEN* reubicar las siguientes construcciones, dado su estado vulnerable que ante la ocurrencia de un movimiento en masa como deslizamiento el cual está siendo afectado por factores como el inadecuado manejo de aguas:

Tabla 146 Construcciones que deben ser reubicadas de la Zona 1- Barrio Siloé

ID_SIG	Reubicación
C3014	SI
C3015	SI
C3016	SI
C3017	SI
C3018	SI
C3019	SI
C3020	SI
C3072	SI

Fuente: Geocing SAS.

- Se proponen muros en voladizo para aquellos taludes, para reconfiguración de la vía o aquello que lo cuales existan construcciones sobre ellos que sobre pasan esta altura se deben de 2.5 m, 3.0 m, 3.5 m, 4.0 m y 5.0 m de altura, según

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

corresponda con los perfiles longitudinales y transversales del tramo de vía de la zona 1, se proponen muro en gravedad así como muro en voladizo en simultánea con la implantación de una cuneta de 80.0 m. Se presenta a continuación el compilado del presupuesto estimado para las obras propuestas en la Zona Crítica 1 del Barrio Siloé, se indica que los soportes de los mismos se encuentran en el Anexo 8. Presupuesto.

Tabla 147 Presupuesto estimado para las obras en la Zona 1- Barrio Siloé

SAN AGUSTÍN		ALTURA (m)	LONGITUD (m)	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
				Muro de Gravedad	Muro en Concreto
BARRIO SILOÉ					
ZONA 1	Muro 1	3	80	\$ 182,000,000	\$ 274,000,000
	Muro 2	2	10	\$ 28,000,000	\$ 56,000,000
	Muro 3	2.5	20	\$ 65,000,000	\$ 101,000,000
	Muro 4	2	20	\$ 39,000,000	\$ 85,000,000
	Muro 5	3	30	\$ 88,000,000	\$ 127,000,000
	Cunetas			\$ 99,000,000	\$ 99,000,000
	Total Muros			\$ 501,000,000	\$ 742,000,000
	Reubicación	8 Viviendas			\$ 1,040,000,000
TOTAL				\$ 1,541,000,000	\$ 1,782,000,000

Fuente: Geocing SAS.

• **Zona Crítica 2**

En esta zona se evidencia que existen 16 viviendas, así como la vía veredal que se encuentran en riesgo alto, dado que estas se localizan en la cresta de talud natural, en el cual debido a las construcción de las viviendas se han realizado cortes a media ladera que han ocasionado al inestabilidad local, como se puede ver a continuación en la ilustración 255; Dada la problemática que se presenta en esta zona, se presentan a continuación las medidas de mitigación estructural:

- En esta parte del casco urbano no se cuenta con una adecuado sistema de captación de aguas servidas e infiltración, por lo que se debe implementar un sistema de captación asociado a la red vial secundaria que permita mitigar el volumen de aguas de infiltración en los taludes de corte; esta medida debe ir de igual forma asociada a un óptimo descole al sistema de alcantarillado.

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

- En los taludes naturales donde la altura sea mayor a 1.0 m se deben perfilar con un ángulo de inclinación de 45 grados 1 V: 1 H pero, para aquellos que sobre pasan esta altura se deben construir Muros de gravedad de 2.0 m y 3.0 m de altura localizados en la base de los cortes, esta como alternativa 1.
- Como alternativa 2, se proponen muros en voladizo para aquellos taludes, para reconformación de la vía o aquello que lo cuales existan construcciones sobre ellos que sobre pasan esta altura se deben de 2.5 m, 3.0 m, 3.5 m, 4.0 m y 5.0 m de altura.
- 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.



Ilustración 256 Vista de la zona 2, como parte del barrio Siloé
Fuente: Geocing SAS.

En razón a la mala ejecución de cada una de las viviendas. Existen algunas de ellas que actualmente evidencian un daño estructural causado por esta situación, razón por la cual en la Zona 2 se DEBE reubicar 3 predios **C2943, C2944 y C2942**. Se presenta a continuación el compilado del presupuesto estimado para las obras propuestas en la Zona Critica 2 del Barrio Siloé, se indica que los soportes de los mismos se encuentran en el Anexo 8. Presupuesto.

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

Tabla 148 Presupuesto estimado para las obras en la Zona 2- Barrio Siloé

SAN AGUSTÍN		ALTURA (m)	LONGITUD (m)	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
				Muro de Gravedad	Muro en Concreto
BARRIO SILOÉ					
ZONA 2	Muro 1	2	20	\$ 37,000,000	\$ 83,000,000
	Muro 2	2.5	25	\$ 48,000,000	\$ 124,000,000
	Muro 3	2.5	30	\$ 68,000,000	\$ 141,000,000
	Cunetas			\$ 55,000,000	\$ 55,000,000
	Total Muros			\$ 208,000,000	\$ 403,000,000
	Reubicación	3 Viviendas			\$ 624,000,000
TOTAL				\$ 832,000,000	\$ 1,027,000,000

Fuente: Geocing SAS.

- **Zona Crítica 3**

En esta zona se evidencia que existen viviendas en riesgo alto, dado que estas se localizan en la cresta de talud natural, en el cual debido a la construcción de las viviendas se han realizado cortes a media ladera, potencializado por un inadecuado manejo de aguas de infiltración y subsuperficial que han ocasionado al inestabilidad local afectando el área expuesta en esta zona como se identificar en la ilustración a continuación:



Ilustración 257 Vista de la zona 5, evidencias construcción de viviendas cortes a media ladera, sin algún tipo de diseño de implantación

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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

Dada la problemática que se presenta en esta zona, se presentan a continuación las medidas de mitigación estructural generales:

- En esta parte del casco urbano no se cuenta con un adecuado sistema de captación de aguas servidas e infiltración, por lo que se debe implementar un sistema de captación asociado a la red vial secundaria que permita mitigar el volumen de aguas de infiltración en los taludes de corte; esta medida debe ir de igual forma asociada a un óptimo descole al sistema de alcantarillado.
- En los taludes naturales donde la altura sea mayor a 1.0 m se deben perfilar con un ángulo de inclinación de 45 grados 1 V: 1 H pero, para aquellos que sobre pasan esta altura se deben construir Muros de gravedad de 2.0 m y 3.0 m de altura localizados en la base de los cortes, planteados de acuerdo a la alternativa 1.
- Como alternativa 2, se proponen muros en voladizo para aquellos taludes, para reconfiguración de la vía o aquellos que lo cuales existan construcciones sobre ellos que sobre pasan esta altura se deben de 2.5 m, 3.0 m, 3.5 m, 4.0 m y 5.0 m de altura.

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.

- Dada la evidente y confirmada inestabilidad den gran parte del barrio, en esta zona 3, como medida definitiva se *DEBEN* reubicar las siguientes construcciones, dado su estado vulnerable que ante la ocurrencia de un movimiento en masa como deslizamiento el cual está siendo afectado por factores como el inadecuado manejo de aguas:

Tabla 149 Construcciones que deben ser reubicadas de la Zona 3- Barrio Siloé

ID_SIG	Reubicación
C2293	SI
C2294	SI
C2296	SI
C2673	SI
C3346	SI
C3347	SI
C2676	SI
C2677	SI

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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

Se presenta a continuación el compilado del presupuesto estimado para las obras propuestas en la Zona Crítica 3 del Barrio Siloé, se indica que los soportes de los mismos se encuentran en el Anexo 8. Presupuesto.

Tabla 150 Presupuesto estimado para las obras en la Zona 3- Barrio Siloé

SAN AGUSTÍN		ALTURA (m)	LONGITUD (m)	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
				Muro de Gravedad	Muro en Concreto
BARRIO SILOÉ					
ZONA 3	Muro 1	3	80	\$ 166,000,000	\$ 287,000,000
	Muro 2	3	15	\$ 31,000,000	\$ 58,000,000
	Muro 3	2	30	\$ 72,000,000	\$ 130,000,000
	Cunetas			\$ 96,000,000	\$ 96,000,000
	Total Muros			\$ 365,000,000	\$ 571,000,000
	Reubicación	8 Viviendas			\$ 1,500,000,000
TOTAL				\$ 1,865,000,000	\$ 2,071,000,000

Fuente: Geocing SAS.

- **Zona Crítica 4**

Esta zona se ubica en inmediaciones a la vía de acceso al barrio Siloé, Calle 3 con carrera 5, lugar en el cual se encuentra el afloramiento del macizo rocoso de la formación Vulcanitas Básicas, las cuales están constituidas por una serie de rocas efusivas de composición basáltica, con presencia de material piroclástico y lavas, como se puede evidenciar en las ilustraciones a continuación, esta formación no evidenciar alteraciones en su estructura tipo discontinuidades (falla, fractura, cizalla), siendo clasificado según Bienawski –RMR y Hoek and Brown con Calidad “Muy Buena.

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



Ilustración 258. Sector de la calle 3 con carrera 5
Fuente: Geocing SAS.

De acuerdo a lo anterior, en esta Zona no se requieren medidas de mitigación estructurales, sin embargo a continuación se presentan indicaciones que se debe tener en cuenta:

- Se debe realizar cortes en una pendiente máxima de 1V: 0.3 H (72°)
- Se deben implementar zonas de aislamiento de taludes naturales con inclinación de la cara mayor a 45°
- Para su correspondiente ocupación y urbanización deberán tener un manejo diferenciado en su regulación urbanística, en comparación con otras áreas del territorio con amenaza baja o sin amenazas. Razón por la cual, se recomienda que para el desarrollo de nuevas actividades e infraestructuras se deberá contar con estudios técnicos que le permitan al casco urbano definir el costo de las inversiones requeridas para habilitar dicho suelo.
- Se debe manejar un aislamiento tanto en la corona como en el pie del talud, ya que esta zona generalmente corresponde a la franja mínima de terreno medida horizontalmente desde el pie o corona del talud hasta el sitio donde no se permiten construcciones. En todos los casos el aislamiento mínimo de la corona y el pie del talud debe ser superior a 15 metros.

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

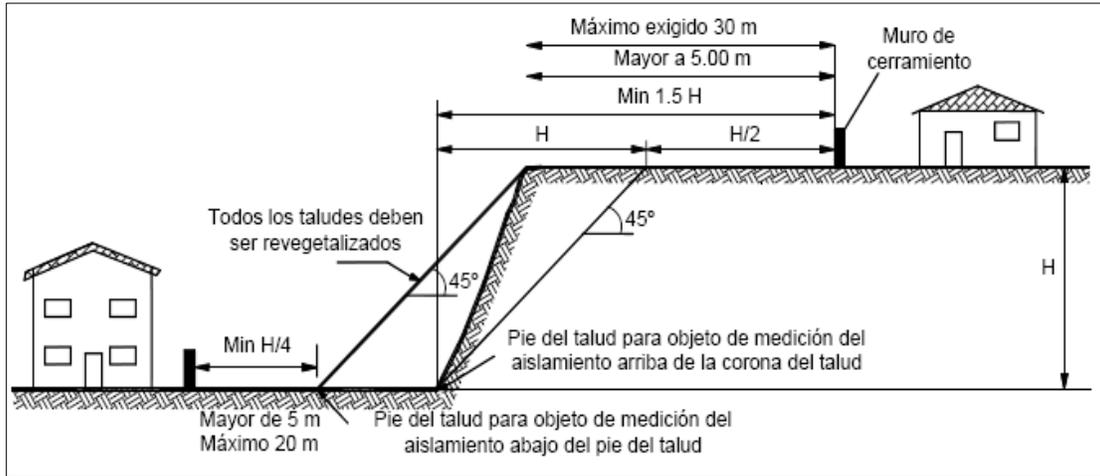


Ilustración 259. Aislamientos mínimos para el pie de taludes con pendiente superior a 45°.
Fuente: Geocing SAS.

- Las nuevas construcciones que se proyecten y se encuentran en zonas categorizadas con amenaza media, deben presentar estudios de suelos con base a la norma sismo resistente NSR-10. Además en los estudios 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. Sin embargo, dado que el afloramiento de la roca intermedia de la For. Vulcanitas Básicas se presenta a lo largo de la calle 4ª entre carreras 6 y 9, se presentan desprendimientos del material residual expuesto por los cortes para las viviendas, además del inadecuado manejo de aguas servidas y de infiltración, tal como se evidencia a continuación:



Ilustración 260 Vista del suelo residual movilizado con el nivel de roca intermedia de las Vulcanitas Básicas.
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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

En el análisis de estabilidad se verifica el estado de la ladera teniendo en cuenta las construcciones actuales y de manera inicial se recomienda No construir proyectos de urbanización en esta zona del casco urbano. Por otra lado, en la parte inferior de la ladera se identifica desprendimiento de material sobre el sustrato rocoso, razón por lo cual se propone la instalación de una Malla para el control de la erosión / revegetación TECCO® GREEN G45/3 La malla TECCO® GREEN G45/3 para el control de la erosión / re-vegetación es un compuesto integrado por la bien conocida malla de acero de alta resistencia tipo TECCO® G45/3 y una capa tridimensional de monofilamentos de polipropileno. La combinación de estas dos mallas ofrece resultados de estabilización y control de erosión superficial óptima para la revegetación.

En la zona intermedia entre la creta del talud y la vivienda existente se propone, para garantizar la estabilidad, realizar un perfilaje conformado por una terraza con una inclinación de cara de talud de ángulo de inclinación de la cara del talud de 1V: 2H (26°). Se aclara que Ningún corte realizado en terreno natural debe estar expuesto a intemperismo y con el fin de garantizar la estabilidad de las construcciones se debe conformar una estructura de contención flexible tipo Gavión de altura 4.0 m. A continuación se presenta el diseño y especificaciones técnicas del muro tipo gavión y malla TECCO.

El sistema TECCO® resulta adecuado para estabilizar taludes de suelos, sedimentos y rocas. La razón principal es que después de limpiar, nivelar y perfilar la superficie, la malla de alambre de acero TECCO® se puede pretensar sobre el mismo talud con una fuerza definida mediante la instalación de anclajes para suelo o para roca junto con placas de fijación. En pocas palabras, la malla se adapta a la topografía y de esa forma evita los deslizamientos y las deformaciones. La malla TECCO® de alambre de acero se fija mediante anclajes para suelo o para roca sujetos en la zona estable del talud. Debido a que la malla se adapta perfectamente a la superficie del talud como resultado del pretensado, se evita el movimiento de masas de suelo y de fragmentos de roca.

Los anclajes principales sujetan firmemente la malla de alambre de acero. Sólo se necesitarán anclajes adicionales cortos donde la malla deba ser adosada tanto como sea posible sobre superficies irregulares o cerca de los extremos. Para satisfacer condiciones topográficas o estáticas especiales se pueden colocar cables perimetrales tensados sujetos a anclajes laterales.

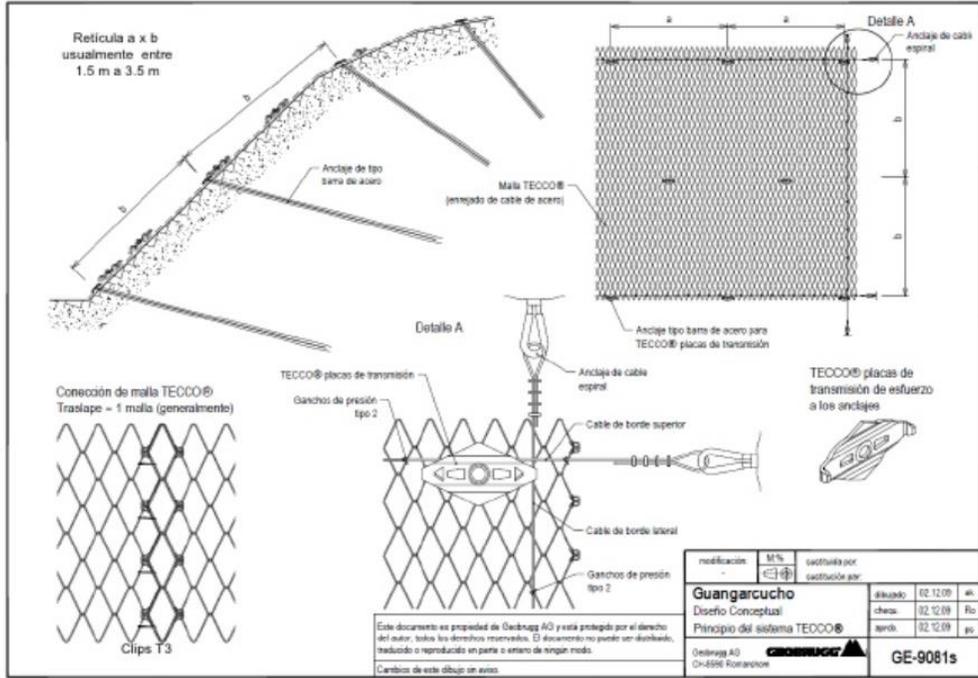


Ilustración 261 Vista de los detalles de la implementación de la malla TECCO.
Fuente: Geobrigg.

Se presenta a continuación el compilado del presupuesto estimado para las obras propuestas en la Zona Crítica 4 del Barrio Siloé, se indica que los soportes de los mismos se encuentran en el Anexo 8. Presupuesto.

Tabla 151 Presupuesto estimado para las obras en la Zona 4- Barrio Siloé

SAN AGUSTÍN		ALTURA (m)	LONGITUD (m)	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
				Muro de Gravedad	Muro en Concreto
BARRIO SILOÉ					
ZONA 4	Muro 1	3	10		\$ 53,000,000
	Muro 2	3	20		\$ 110,000,000
	Muro 3	2.5	10		\$ 49,000,000
	Cunetas			\$ 35,000,000	\$ 35,000,000
	Malla TECCO				\$ 210,000,000
	Muro Gavion				\$ 47,000,000
TOTAL					\$ 504,000,000

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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

- **Zona Crítica 5**

Como parte de las viviendas categorizadas con riesgo alto, está la vivienda de la señora Ana María Santacruz, cerca de la carrera 4, entre calles 4 y 3, barrio Siloé Bajo, donde se presenta un proceso de tipo deslizamiento traslacional retrogresivo, muy lento, que ha afectado gran parte de la vivienda, y que al parecer ha afectado en los últimos 18 años; además en este sector se identificó el contacto entre los suelos residuales y roca intermedia de la formación Vulcanitas Básicas lo cual es el condicionante para la inestabilidad de estas viviendas, como se puede ver Ilustración 262 a Ilustración 263.

Dada la condición crítica de esta vivienda y la adyacente, una medida definitiva para mitigar el riesgo para estos predios es la reubicación de las construcciones y reasentamiento de las familias.



Ilustración 262. Vista en planta de la localización de la Vivienda afectada.
Fuente: Geocing SAS.



Ilustración 263. Se observa corte en ladera para la construcción de la vivienda del costado sur. La vivienda afecta en la parte superior del corte.
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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p align="center">INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

Se presenta a continuación el compilado del presupuesto estimado para las obras propuestas en la Zona Crítica 5 del Barrio Siloé, se indica que los soportes de los mismos se encuentran en el Anexo 8. Presupuesto.

Tabla 152 Presupuesto estimado para las obras en la Zona 5- Barrio Siloé

SAN AGUSTÍN		ALTURA (m)	LONGITUD (m)	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
				Muro de Gravedad	Muro en Concreto
BARRIO SILOÉ					
ZONA 5	Reubicación	5 Viviendas			\$ 1,400,000,001
ZONA 6	Muro 1	3	65		\$ 240,000,000
	Cunetas				\$ 54,000,000
TOTAL					\$ 1,694,000,001

Fuente: Geocing SAS

A continuación se presenta el compilado de las viviendas y sectores dentro del barrio Siloé que se encuentran identificados como riesgo alto y requieren medidas de mitigación de manera prioritaria, estas viviendas están ubicadas en Topografía con pendiente alta, hay deficiencia de redes de acueducto, no hay red de alcantarillado independiente, zona con baja densidad de viviendas, las cuales han sido construidas mediante terrazas, y en la gran mayoría de viviendas no tienen muros de contención ni manejo de aguas subsuperficiales generando pequeños deslizamientos.

Tabla 153 Identificación de viviendas en el Barrio Siloé categorizadas en riesgo alto

Localización	Registro fotográfico	Recomendación
<p>Viviendas construidas en la carrera 6 (peatonal) entre las calles 4 y 5 Bis.</p> <p>Viviendas margen derecha Barrio Siloé.</p>		<p>-Realizar obras para estabilización de taludes y manejo de aguas de infiltración y superficiales.</p> <p>-Prohibir la construcción de nuevas Viviendas.</p>



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

Localización	Registro fotográfico	Recomendación
<p>Viviendas construidas en el costado norte de la calle 4 entre carreras 5 y 7.</p> <p>Barrio Siloé</p>		<p>-Realizar obras para estabilización de taludes y manejo de aguas de infiltración y superficiales.</p> <p>-No permitir la construcción de Viviendas de más de un piso.</p>
<p>Viviendas construidas en el costado norte de la calle 5 entre carreras quinta y sexta.</p> <p>Barrio Siloé.</p>		<p>-Realizar obras para estabilización de taludes y manejo de aguas de infiltración y superficiales.</p> <p>-Prohibir la construcción de nuevas Viviendas.</p>
<p>Viviendas construidas en el costado sur de la calle 5 bis entre carreras quinta y sexta.</p> <p>Barrio Siloé.</p>		<p>-Realizar obras para estabilización de taludes y manejo de aguas de infiltración y superficiales.</p> <p>-Prohibir la construcción de Viviendas.</p>
<p>Viviendas construidas en la manzana conformada por la calle 6 Bis y la carrera 6 con el límite de la zona urbana con la vereda Timanco.</p> <p>Barrio Siloé.</p>		<p>-Realizar obras para estabilización de taludes y manejo de aguas de infiltración y superficiales.</p>



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

Localización	Registro fotográfico	Recomendación
<p>Viviendas construidas en el costado occidental de la carrera 6 entre la calle 5 Bis y el límite urbano con la vereda Timanco.</p> <p>Barrio Siloé.</p>		<ul style="list-style-type: none"> -Realizar obras para estabilización de taludes y manejo de aguas de infiltración y superficiales. -No permitir la construcción en alturas superiores a un piso. -Prohibir la construcción de nuevas Viviendas.
<p>Viviendas construidas en el costado occidental de la carrera 6 entre la calle 5 Bis y el límite urbano con la vereda Timanco.</p> <p>Barrio Siloé.</p>		<ul style="list-style-type: none"> -Realizar obras para estabilización de taludes y manejo de aguas de infiltración y superficiales. -No permitir la construcción en alturas superiores a un piso. -Prohibir la construcción de nuevas Viviendas.
<p>Viviendas localizadas en los dos costados de la calle 5 Bis entre la carrera 6 y 7.</p> <p>Barrio Siloé.</p>		<ul style="list-style-type: none"> -Realizar obras para estabilización de taludes y manejo de aguas de infiltración y superficiales. -No permitir a construcción en alturas superiores a un piso. -Prohibir la construcción de nuevas Viviendas.
<p>Viviendas ubicadas en el costado norte de la calle 6 entre las carreras 8 y 8 bis.</p> <p>Barrio Siloé.</p>		<ul style="list-style-type: none"> -Realizar obras para estabilización de taludes y manejo de aguas de infiltración y superficiales. -Prohibir la construcción de nuevas Viviendas.

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

Localización	Registro fotográfico	Recomendación
<p>Viviendas ubicadas en el costado sur de la calle 6 entre carreras 8 y 10.</p> <p>Barrio Siloé.</p>		<p>-Realizar obras para estabilización de taludes y manejo de aguas de infiltración y superficiales.</p> <p>-Prohibir la construcción de nuevas Viviendas.</p>
<p>Viviendas ubicadas en el costado sur de la calle 6 entre las carrera 8 y 8 Bis.</p> <p>Barrio Siloé.</p>		<p>-Realizar obras para estabilización de taludes y manejo de aguas de infiltración y superficiales.</p> <p>-Prohibir la construcción de nuevas Viviendas.</p>
<p>Corresponde al área donde se localizan las Viviendas entre la carrera 8 y 8 bis y entre las calles 5 7 el costado sur de la zona 18.</p> <p>Barrio Siloé.</p>		<p>-Realizar obras para estabilización de taludes y manejo de aguas de infiltración y superficiales.</p> <p>-Prohibir la construcción de nuevas Viviendas.</p>
<p>Corresponde a la zona donde se localizan las Viviendas aledañas a la vía de acceso a Siloé, entre la calle 4 y la 5 Bis.</p> <p>Barrio Siloé.</p>		<p>-Realizar obras para estabilización de taludes y manejo de aguas de infiltración y superficiales.</p> <p>-Prohibir la construcción de Viviendas.</p> <p>-Declarar zona de protección la zona reubicada</p>

Fuente: Geocing SAS.

De acuerdo a las recomendaciones de estabilización propuestas, a continuación se presentan los diseños de las obras tipificadas, la proyección de las obras de estabilización debe hacerse adecuándose a la topografía ascendente o descendente

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

escalonada por terrazas del terreno, y una altura variable 2.0 m, 2.5 m, 3.0 m y altura máxima de 3.5 m, con un nivel de suelo de fundación de 0.5 m. Para el diseño de los muros de contención típicos, se utilizaron los siguientes parámetros para la construcción del Diagrama de empujes lateral:

1. Diagrama de empujes triangular utilizando la metodología de Coulomb, con:

$$K_a = (1 - \text{Sen } \emptyset) / (1 + \text{Sen } \emptyset),$$

$$K_p = (1 + \text{Sen } \emptyset) / (1 - \text{Sen } \emptyset).$$

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:

$$K_a = (1 - \text{Sen } 32^\circ) / (1 + \text{Sen } 32^\circ) = 0.31$$

$$K_p = (1 + \text{Sen } 32^\circ) / (1 - \text{Sen } 32^\circ) = 3.25$$

$$K_o = (1 - \text{Sen } 32^\circ) = 0.47$$

$$K_{ae} = 0.44$$

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 presentan a continuación. Con el fin de presentar las memorias de cálculo se adjuntan para el muro con altura de 3.5 m.

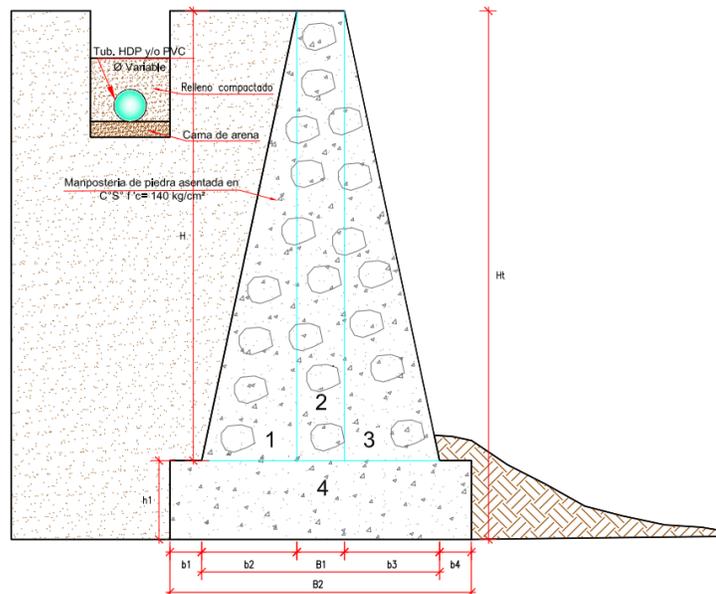


Ilustración 264 Predimensionamiento estructura rígida
Fuente: Geocing SAS.

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

Tabla 154 Factores de seguridad mínimos exigidos en la NSR-10.

Condición	Construcción	Estático	Sismo	Seudo estático
Deslizamiento	1.60	1.60	Diseño	1.05
Volcamiento: el que resulte más crítico de Momento Resistente/ Momento Actuante Excentricidad en el sentido del momento (e/B)	≥ 3.00 $\leq 1/6$	≥ 3.00 $\leq 1/6$	Diseño Diseño	≥ 2.00 $\leq 1/4$
Capacidad portante	Iguales a los de la Tabla H.4.1			
Estabilidad Intrínseca materiales térreos (reforzados o no)	Iguales a los de la Tabla H.2.1			
Estabilidad Intrínseca materiales manufacturados	Según material (Concreto-Título C; Madera-Título G; etc.)			
Estabilidad general del sistema:				
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
Laderas adyacentes (Zona de influencia > 2.5H)	1.20	1.50	Diseño	1.05

Fuente: AIS (2010)

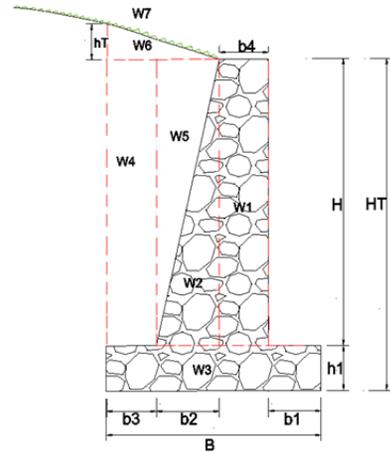
H: 3.5 m	MEMORIA DE CÁLCULO DE GRAVEDAD																																																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">DATOS GENERALES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Q (kN/m²) =</td><td>0.0 Sobrecarga</td></tr> <tr><td>γ_r (kN/m³) =</td><td>19.0 Peso Unitario del suelo de relleno</td></tr> <tr><td>ϕ_u =</td><td>32.0 Angulo de fricción interna del suelo de relleno</td></tr> <tr><td>γ (kN/m³) =</td><td>19.00 Peso Unitario del estrato de fundación</td></tr> <tr><td>ϕ =</td><td>28.00 Angulo de fricción interna del estrato de fundación</td></tr> <tr><td>C (kN/m²) =</td><td>7.00 Cohesión del estrato de fundación</td></tr> <tr><td>α (°) =</td><td>0 Angulo del terreno delante del muro</td></tr> <tr><td>β (°) =</td><td>0 Angulo del terreno detrás del muro</td></tr> <tr><td>Ka_1 =</td><td>0.36 Ka_2 = 0.36</td></tr> <tr><td>Kp_1 =</td><td>2.77 Kp_2 = 2.77</td></tr> <tr><td>σ_{adm} (kN/m²) =</td><td>212.78 Capacidad portante última</td></tr> <tr><td>A, K_{ST} =</td><td>0.25 Aceleración pico efectiva</td></tr> <tr><td>δ_1 (°)</td><td>21.33 ángulo interacción suelo(relleno) - muro</td></tr> <tr><td>δ_2 (°)</td><td>18.67 ángulo interacción suelo (fundación)- muro</td></tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">PREDIMENSIONAMIENTO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>H_T (m)</td><td>3.50 Altura Total del Muro</td></tr> <tr><td>h_1 (m)</td><td>0.55 Espesor de zarpa</td></tr> <tr><td>H (m)</td><td>2.95 Altura del vástago del Muro</td></tr> <tr><td>B (m)</td><td>2.00 Ancho total de zarpa</td></tr> <tr><td>b_1 (m)</td><td>0.00 Punta del Muro</td></tr> <tr><td>b_2 (m)</td><td>1.00 Ancho del vástago del muro.</td></tr> <tr><td>b_3 (m)</td><td>1.00 Talón del muro</td></tr> <tr><td>b_4 (m)</td><td>0.40 Corona del muro</td></tr> <tr><td>P_a (KN/m)</td><td>43.12 Empuje activo</td></tr> <tr><td>P_{av}(KN/m)</td><td>15.69 Componente Vertical del empuje activo</td></tr> <tr><td>P_{ah}(KN/m)</td><td>40.17 Componente horizontal del empuje</td></tr> <tr><td>h'_1 (m)</td><td>0.00 Altura talud inclinado</td></tr> <tr><td>h' (m)</td><td>0.00 Altura equivalente por sobrecarga aplicada</td></tr> </tbody> </table>	DATOS GENERALES		Q (kN/m ²) =	0.0 Sobrecarga	γ_r (kN/m ³) =	19.0 Peso Unitario del suelo de relleno	ϕ_u =	32.0 Angulo de fricción interna del suelo de relleno	γ (kN/m ³) =	19.00 Peso Unitario del estrato de fundación	ϕ =	28.00 Angulo de fricción interna del estrato de fundación	C (kN/m ²) =	7.00 Cohesión del estrato de fundación	α (°) =	0 Angulo del terreno delante del muro	β (°) =	0 Angulo del terreno detrás del muro	Ka_1 =	0.36 Ka_2 = 0.36	Kp_1 =	2.77 Kp_2 = 2.77	σ_{adm} (kN/m ²) =	212.78 Capacidad portante última	A, K_{ST} =	0.25 Aceleración pico efectiva	δ_1 (°)	21.33 ángulo interacción suelo(relleno) - muro	δ_2 (°)	18.67 ángulo interacción suelo (fundación)- muro	PREDIMENSIONAMIENTO		H_T (m)	3.50 Altura Total del Muro	h_1 (m)	0.55 Espesor de zarpa	H (m)	2.95 Altura del vástago del Muro	B (m)	2.00 Ancho total de zarpa	b_1 (m)	0.00 Punta del Muro	b_2 (m)	1.00 Ancho del vástago del muro.	b_3 (m)	1.00 Talón del muro	b_4 (m)	0.40 Corona del muro	P_a (KN/m)	43.12 Empuje activo	P_{av} (KN/m)	15.69 Componente Vertical del empuje activo	P_{ah} (KN/m)	40.17 Componente horizontal del empuje	h'_1 (m)	0.00 Altura talud inclinado	h' (m)	0.00 Altura equivalente por sobrecarga aplicada		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>NSR-10</th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>FS Capacidad Portante (Mínimo)</td> <td>3.00</td> <td>4.98</td> <td>Cumple</td> </tr> <tr> <td>FS_d Deslizamiento (Mínimo)</td> <td>1.60</td> <td>1.62</td> <td>Cumple</td> </tr> <tr> <td>FS_{de} Deslizamiento (Mínimo)</td> <td>1.05</td> <td>1.59</td> <td>Cumple</td> </tr> <tr> <td>FS_v Volcamiento (Mínimo)</td> <td>3.00</td> <td>3.86</td> <td>Cumple</td> </tr> <tr> <td>FS_{de} Volcamiento (Mínimo)</td> <td>2.00</td> <td>3.75</td> <td>Cumple</td> </tr> </tbody> </table>		NSR-10			FS Capacidad Portante (Mínimo)	3.00	4.98	Cumple	FS _d Deslizamiento (Mínimo)	1.60	1.62	Cumple	FS _{de} Deslizamiento (Mínimo)	1.05	1.59	Cumple	FS _v Volcamiento (Mínimo)	3.00	3.86	Cumple	FS _{de} Volcamiento (Mínimo)	2.00	3.75	Cumple
DATOS GENERALES																																																																																				
Q (kN/m ²) =	0.0 Sobrecarga																																																																																			
γ_r (kN/m ³) =	19.0 Peso Unitario del suelo de relleno																																																																																			
ϕ_u =	32.0 Angulo de fricción interna del suelo de relleno																																																																																			
γ (kN/m ³) =	19.00 Peso Unitario del estrato de fundación																																																																																			
ϕ =	28.00 Angulo de fricción interna del estrato de fundación																																																																																			
C (kN/m ²) =	7.00 Cohesión del estrato de fundación																																																																																			
α (°) =	0 Angulo del terreno delante del muro																																																																																			
β (°) =	0 Angulo del terreno detrás del muro																																																																																			
Ka_1 =	0.36 Ka_2 = 0.36																																																																																			
Kp_1 =	2.77 Kp_2 = 2.77																																																																																			
σ_{adm} (kN/m ²) =	212.78 Capacidad portante última																																																																																			
A, K_{ST} =	0.25 Aceleración pico efectiva																																																																																			
δ_1 (°)	21.33 ángulo interacción suelo(relleno) - muro																																																																																			
δ_2 (°)	18.67 ángulo interacción suelo (fundación)- muro																																																																																			
PREDIMENSIONAMIENTO																																																																																				
H_T (m)	3.50 Altura Total del Muro																																																																																			
h_1 (m)	0.55 Espesor de zarpa																																																																																			
H (m)	2.95 Altura del vástago del Muro																																																																																			
B (m)	2.00 Ancho total de zarpa																																																																																			
b_1 (m)	0.00 Punta del Muro																																																																																			
b_2 (m)	1.00 Ancho del vástago del muro.																																																																																			
b_3 (m)	1.00 Talón del muro																																																																																			
b_4 (m)	0.40 Corona del muro																																																																																			
P_a (KN/m)	43.12 Empuje activo																																																																																			
P_{av} (KN/m)	15.69 Componente Vertical del empuje activo																																																																																			
P_{ah} (KN/m)	40.17 Componente horizontal del empuje																																																																																			
h'_1 (m)	0.00 Altura talud inclinado																																																																																			
h' (m)	0.00 Altura equivalente por sobrecarga aplicada																																																																																			
	NSR-10																																																																																			
FS Capacidad Portante (Mínimo)	3.00	4.98	Cumple																																																																																	
FS _d Deslizamiento (Mínimo)	1.60	1.62	Cumple																																																																																	
FS _{de} Deslizamiento (Mínimo)	1.05	1.59	Cumple																																																																																	
FS _v Volcamiento (Mínimo)	3.00	3.86	Cumple																																																																																	
FS _{de} Volcamiento (Mínimo)	2.00	3.75	Cumple																																																																																	

Ilustración 265 Dimensionamiento del Muro de gravedad H: 3.5 m.

Fuente: Geocing SAS.

No.	ALTURA (m)	BASE (m)	AREA (m ²)	γ (kN/m ³)	PESO (KN/m)	Brazo (m)	M estabilizante KN-m	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD (Volcamiento)				
W1	2.95	0.40	1.18	24.00	28.32	0.20	5.7	Σ-Momento Estabilizante	180.8			
W2	2.95	0.60	0.89	24.00	21.24	0.93	19.8					
W3	0.55	2.00	1.10	24.00	26.40	1.00	26.4					
W4	2.95	1.00	2.95	19.00	56.05	1.50	84.1					
W5	2.95	0.60	0.89	19.00	16.82	0.80	13.5					
W6	0.00	1.60	0.00	19.00	0.00	1.47	0.0					
W7	0.00	1.60	0.00	19.00	0.00	1.20	0.0					
Pav							15.69	2.00	31.4	FS Volcamiento	3.86	
Σ Momentos estabilizantes								180.8			Cumple	
				Pah	40.17	1.17		46.86				
				Pvh	0.00	1.75		0.00				
Σ Momentos inestabilizantes								46.86				
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD (Deslizamiento)				Cálculo de Capacidad Portante				VERIFICACIÓN ESTABILIDAD INTERNA				
K1=	0.39	ΣFv	164.51	γ ₂ (KN/m ³)	19.0	ΣM _{rot} (KN-m)	133.93	Esfuerzo Reacción (KN/m ²)				
K2=	0.34	ΣFh	40.17	C ₂ (KN/m ²)	7.0	ΣF _{verticales}	164.51	Max (punta)	128.13	Min (tañón)	36.38	
FS al Deslizamiento			1.62	φ ₂ (°) Estrato de fundación	28.0	B/2 (m)	1	Capacidad Portante				
			Cumple	DF (m)	0.50	Excentricidad (m)	0.19	FS Capacidad Portante			4.98	
				β (°)	0.0	B/6 (m)	0.33	FS Excentricidad			Cumple	
Hllave +zarpa + Desplante			No requiere llave	qL	9.50	FS Excentricidad		Cumple				
Hllave			0.00	NaL	14.72							
				quilt (KN/m ²)	638.33							
				oadm (KN/m ²)	212.78							

Ilustración 266 Dimensionamiento del Muro de gravedad H: 3.5 m. Evidencia de Cumplimiento de los Factores de seguridad estáticos Capacidad Portante, Deslizamiento, Volcamiento.
Fuente: Geocing SAS.

FORMULAS PARA EL CALCULO DE Ka

COULOMB:

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}$$

MAYNIE:

$$K_a = \frac{\cos^2 \phi'}{\cos \delta' \left(1 + \frac{\sin(\phi' + \delta') \sin(\phi - \beta)}{\cos \delta'} \right)^2}$$

MULLER-BRESLAU:

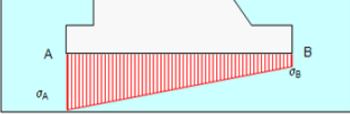
$$K_a = \frac{\sin^2(\alpha + \phi')}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta') \left(1 + \frac{\sin(\phi' + \delta') \sin(\phi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta') \sin(\alpha + \beta)} \right)^2}$$

MONONOBE - OKABE:

$$K_a = \frac{(1 - \alpha) \sin(\alpha + \phi - \psi)}{\cos \psi \sin \alpha \sin(\alpha - \delta - \psi) \left(1 + \frac{\sin(\phi + \beta) \sin(\phi - \beta - \psi)}{\sin(\alpha - \beta) \sin(\alpha + \beta)} \right)^2}$$

$\psi = \tan^{-1} \left(\frac{\alpha}{1 - \alpha} \right)$

DIAGRAMA DE PRESIONES EN LA BASE

$$\sigma_{max/min} = \frac{\sum F_v}{B} \left(1 \pm \frac{\sigma e}{B} \right)$$


Paes: 43.89
Paeh: 40.88
Paev: 15.97
Apaeh: 0.72
Z: 1.18

Verificación al Deslizamiento - Seudoestático

FS Deslizamiento SE	1.59
Altura llave	No Requiere Llave

Verificación al Volcamiento - Seudoestático

FS Volcamiento SE	3.75	Cumple
-------------------	------	--------

Cheque al deslizamiento - situación Seudoestática

Mononobe - Okabe

VALORES DE Ka			
φ'	α	β	δ'
32.0	90	0	18.67

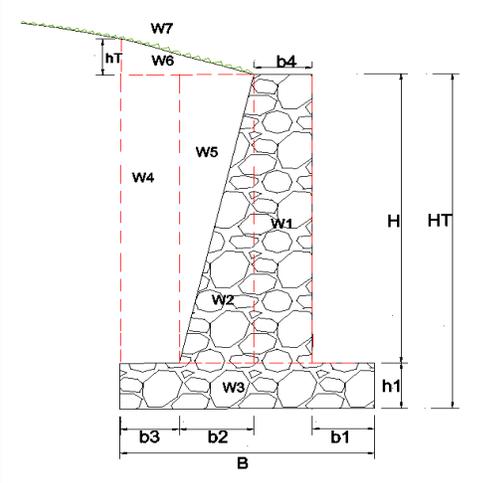
Coulomb:	Ka =	0.307
Mononobe - Okabe:	Da =	2.251
Mononobe - Okabe:	Kae =	0.441

a _h (g)=	0.25	a _v (g)=	0.17
		ψ =	16.699

Ilustración 267 Dimensionamiento del Muro de gravedad H: 3.5 m. Evidencia de Cumplimiento de los Factores de seguridad dinámicos Deslizamiento y Volcamiento.
Fuente: Geocing SAS.

En la siguiente tabla se presentan las dimensiones de los muros típicos

Tabla 155 Dimensiones muros típicos

	H_T (m)	2	2.5	3	3.5
	h_1 (m)	0.3	0.3	0.35	0.4
	H (m)	1.7	2.2	2.65	3.1
	B (m)	1	1.35	2.1	2.5
	b_1 (m)	0	0	0.6	0.5
	b_2 (m)	0.5	0.7	0.7	1
	b_3 (m)	0.5	0.65	0.8	1
	b_4 (m)	0.3	0.3	0.4	0.4

Fuente: Geocing SAS.

Como parte de las alternativas propuestas para estabilización, a continuación se presentan los diseños de las obras tipificadas como alternativa 2, la proyección de las obras de estabilización debe hacerse adecuándose a la topografía ascendente o descendente escalonada por terrazas del terreno, y una altura variable 2.5 m, 3.0 m y altura máxima de 5.0 m, con un nivel de suelo de fundación de 0.5 m. Para el diseño de los muros de contención típicos, se utilizaron los siguientes parámetros para la construcción del Diagrama de empujes lateral:

3. Diagrama de empujes triangular utilizando la metodología de Coulomb, con: $K_a = (1 - \text{Sen } \emptyset) / (1 + \text{Sen } \emptyset)$,

$$K_p = (1 + \text{Sen } \emptyset) / (1 - \text{Sen } \emptyset).$$

Peso unitario efectivo de $\gamma's = 1.90 \text{ Ton/m}^3$ (Relleno de material Seleccionado Art. 620 Invias compactado $\emptyset = 32^\circ$).

4. Con los siguientes valores de diseño geotécnico:

$$K_a = (1 - \text{Sen } 32^\circ) / (1 + \text{Sen } 32^\circ) = 0.31$$

$$K_p = (1 + \text{Sen } 32^\circ) / (1 - \text{Sen } 32^\circ) = 3.25$$

$$K_o = (1 - \text{Sen } 32^\circ) = 0.47$$

$$K_{ae} = 0.44$$

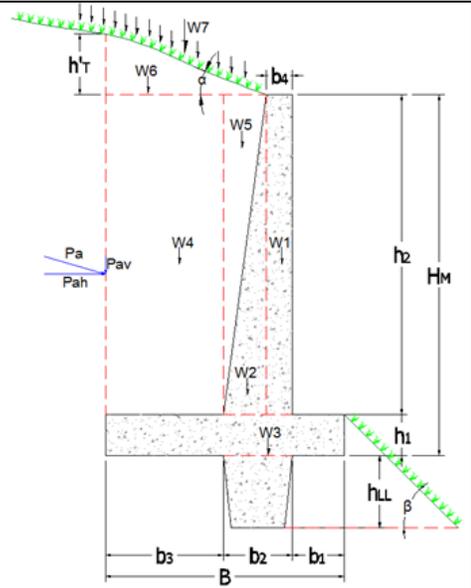
El pre dimensionamiento de la estructura rígida que cumple con los Factores de Seguridad de acuerdo con el NSR- 10, Los factores de seguridad exigidos en la Tabla

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

H. 6.9-1 se presentan a continuación. Con el fin de presentar las memorias de cálculo se adjuntan para el muro con altura de 3.5 m.

DATOS GENERALES			
Q (kN/m ²) =	10.0	Sobrecarga	
γ_R (kN/m ³) =	19.0	Peso Unitario del suelo de relleno	
ϕ_R =	32.0	Ángulo de fricción interna del suelo de relleno	
γ_1 (kN/m ³) =	19.0	Peso Unitario del material a contener	
ϕ_1 =	32.0	Ángulo de fricción interna del material a contener	
γ (kN/m ³) =	18.00	Peso Unitario del estrato de fundación	
ϕ =	28.00	Ángulo de fricción interna del estrato de fundación	
C (kN/m ²) =	7.00	Cohesión del estrato de fundación	
α (°) =	15	Ángulo del terreno delante del muro	
β (°) =	0	Ángulo del terreno detrás del muro	
Ka_1 =	0.31	Ka_2 =	0.36
Kp_1 =	3.25	Kp_2 =	2.77
σ_{adm} (kN/m ²) =	290.76	Capacidad portante última	
A, K_{ST} =	0.24	Aceleración pico efectiva	
δ_1 (°) =	21.33	ángulo interacción suelo (relleno) - muro	
δ_2 (°) =	18.67	ángulo interacción suelo (fundación) - muro	

PREDIMENSIONAMIENTO		
H_T (m)	3.00	Altura Total del Muro
H_M (m)	2.60	Altura Efectiva Muro
h_1 (m)	0.40	Espesor de zarpa
h_2 (m)	2.60	Altura del vástago del Muro
B (m)	2.80	Ancho total de zarpa
b_1 (m)	1.00	Punta del Muro
b_2 (m)	0.30	Ancho del vástago del muro.
b_3 (m)	1.50	Talón del muro
b_4 (m)	0.30	Corona del muro
Pa (KN/m)	26.30	Empuje activo
Pav (KN/m)	9.57	Componente Vertical del empuje activo
Pah (KN/m)	24.50	Componente horizontal del empuje
h'_T (m)	0.40	Altura talud inclinado
h'' (m)	0.53	Altura equivalente por sobrecarga aplicada



	NSR-10
FS Capacidad Portante (Mínimo)	3.00
FS _E Deslizamiento (Mínimo)	1.60
FS _{SE} Deslizamiento (Mínimo)	1.05
FS _E Volcamiento (Mínimo)	3.00
FS _{SE} Volcamiento (Mínimo)	2.00

Ilustración 268 Dimensionamiento del Muro en voladizo H: 3.0 m.
Fuente: Geocing SAS.

No.	ALTURA (m)	BASE (m)	AREA (m ²)	γ (kN/m ³)	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	1.15	21.5		Σ=Momento Estabilizante	281.8	
W2	2.60	0.00	0.00	24.00	0.00	1.80	0.0				
W3	0.40	2.80	1.12	24.00	26.88	1.40	37.6		Σ=Momento Inestabilizante	34.9	
W4	2.60	1.50	3.90	19.00	74.10	2.05	151.9				
W5	2.60	0.00	0.00	19.00	0.00	1.30	0.0		FS Volcamiento	8.07	
W6	0.40	1.50	0.30	19.00	5.73	2.30	13.2				
W7	0.53	1.50	0.79	19.00	15.00	2.05	30.8		Cumple		
				Pav	9.57	2.80	26.8				
Σ Momentos estabilizantes								281.8			
							Pah	24.50	1.00	24.52	
							Pvh	7.99	1.30	10.39	
Σ Momentos inestabilizantes									34.90		
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD (Deslizamiento)				Cálculo de Capacidad Portante				VERIFICACIÓN ESTABILIDAD INTERNA			
K ₁	0.39	ΣFv	150.00	γ ₂ (KN/m ³)		18.0	Σ=M _{Norte} KN-m	246.88	Esfuerzo Reacción (KN/m ²)		
K ₂	0.34	ΣFh	24.50	C ₂ (KN/m ²)		7.0	Σ=Fverticales	150.00	Max (punta)	Min (talón)	
FS al Deslizamiento			2.60	φ ₂ (°) Estrato de fundación		28.0	Xa (m)	1.65	25.34	81.80	
			Cumple	Df (m)		1.00	B/2 (m)	1.4	Capacidad Portante		
				β (°)		0.0	Excentricidad (m)	-0.25	FS Capacidad Portante		
				qL		18.00	B/6 (m)	0.47	Cumple		
Hlave +zarpa + Desplante			No requiere llave	NqL		14.72					
Hlave			0.00	oult (KN/m ²)		872.29					
				σadm (KN/m ²)		290.76					

Ilustración 269 Dimensionamiento del Muro en voladizo H: 3.0 m. Evidencia de Cumplimiento de los Factores de seguridad estáticos Capacidad Portante, Deslizamiento, Volcamiento.
Fuente: Geocing SAS.

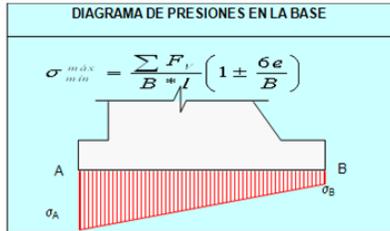
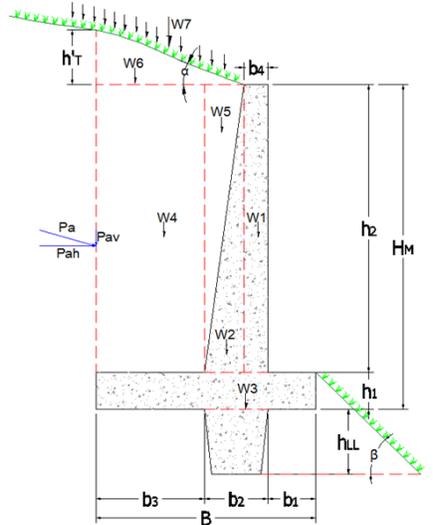
<p>FORMULAS PARA EL CALCULO DE Ka</p> <p>COULOMB:</p> $K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}$ <p>MAYNIE:</p> $K_a = \frac{\cos^2 \phi'}{\cos \delta' \left(1 + \frac{\sin(\phi' + \delta') \sin(\phi' - \beta)}{\cos \delta' \cos \beta} \right)^2}$ <p>MULLER - BRESLAU:</p> $K_a = \frac{\sin^2(\alpha + \phi')}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta') \left(1 + \frac{\sin(\phi' + \delta') \sin(\phi' - \beta)}{\sin(\alpha - \delta') \sin(\alpha + \beta)} \right)^2}$ <p>MONONOBE - OKABE:</p> $K_a = \frac{(1 - a) \sin(\alpha + \phi' - \psi)}{\cos \psi \sin \alpha \sin(\alpha - \delta' - \psi) \left(1 + \frac{\sin(\phi' + \delta') \sin(\phi' - \beta - \psi)}{\sin(\alpha - \delta') \sin(\alpha + \beta)} \right)^2}$ $\psi = \tan^{-1} \left(\frac{a}{1 - a} \right)$	<p>DIAGRAMA DE PRESIONES EN LA BASE</p>  <p>Cheque al deslizamiento - situación Seudoestática</p> <p>Mononobe - Okabe</p> <p>VALORES DE Ka</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ψ</th> <th>α</th> <th>β</th> <th>δ'</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>32.0</td> <td>90</td> <td>15</td> <td>18.67</td> </tr> </tbody> </table> <p>Coulomb: Ka = 0.307 Mononobe - Okabe: Da = 1.286 Mononobe - Okabe: Kae = 0.763</p> <table border="1"> <tr> <td>a_n (g)=</td> <td>0.24</td> <td>a_v (g)=</td> <td>0.16</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>ψ' =</td> <td>15.945</td> </tr> </table>	ψ	α	β	δ'	32.0	90	15	18.67	a _n (g)=	0.24	a _v (g)=	0.16			ψ' =	15.945	<table border="1"> <tr> <td>Pae:</td> <td>54.84</td> </tr> <tr> <td>Paeh:</td> <td>51.08</td> </tr> <tr> <td>Paev:</td> <td>19.95</td> </tr> <tr> <td>Δpaeh:</td> <td>26.58</td> </tr> <tr> <td>Z:</td> <td>1.42</td> </tr> </table>	Pae:	54.84	Paeh:	51.08	Paev:	19.95	Δpaeh:	26.58	Z:	1.42
ψ	α	β	δ'																									
32.0	90	15	18.67																									
a _n (g)=	0.24	a _v (g)=	0.16																									
		ψ' =	15.945																									
Pae:	54.84																											
Paeh:	51.08																											
Paev:	19.95																											
Δpaeh:	26.58																											
Z:	1.42																											
<p>Verificación al Deslizamiento - Seudoestático</p> <table border="1"> <tr> <td>FS Deslizamiento SE</td> <td>1.25</td> </tr> <tr> <td>Altura llave</td> <td>No Requiere Llave</td> </tr> </table>		FS Deslizamiento SE	1.25	Altura llave	No Requiere Llave	<p>Verificación al Volcamiento - Seudoestático</p> <table border="1"> <tr> <td>FS Volcamiento SE</td> <td>3.04</td> <td>Cumple</td> </tr> </table>		FS Volcamiento SE	3.04	Cumple																		
FS Deslizamiento SE	1.25																											
Altura llave	No Requiere Llave																											
FS Volcamiento SE	3.04	Cumple																										

Ilustración 270 Dimensionamiento del Muro de gravedad H: 3.0 m. Evidencia de Cumplimiento de los Factores de seguridad dinámicos Deslizamiento y Volcamiento.
Fuente: Geocing SAS.

En la siguiente tabla se presentan las dimensiones de los muros típicos

	<table border="1"> <tr> <td>H_T (m)</td> <td>2.5</td> <td>3</td> <td>3.5</td> <td>4</td> <td>4.5</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>h₁ (m)</td> <td>0.4</td> <td>0.4</td> <td>0.4</td> <td>0.4</td> <td>0.4</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>H (m)</td> <td>2.1</td> <td>2.6</td> <td>3.1</td> <td>3.6</td> <td>4.1</td> <td>4.6</td> </tr> <tr> <td>B (m)</td> <td>1.8</td> <td>2.8</td> <td>1.8</td> <td>2.1</td> <td>2.5</td> <td>2.7</td> </tr> <tr> <td>b₁ (m)</td> <td>0.5</td> <td>1</td> <td>0.5</td> <td>0.5</td> <td>0.7</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>b₂ (m)</td> <td>0.3</td> <td>0.3</td> <td>0.3</td> <td>0.3</td> <td>0.3</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>b₃ (m)</td> <td>1</td> <td>1.5</td> <td>1</td> <td>1.3</td> <td>1.5</td> <td>1.9</td> </tr> <tr> <td>b₄ (m)</td> <td>0.3</td> <td>0.3</td> <td>0.3</td> <td>0.3</td> <td>0.3</td> <td>0.3</td> </tr> </table>	H _T (m)	2.5	3	3.5	4	4.5	5	h ₁ (m)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	H (m)	2.1	2.6	3.1	3.6	4.1	4.6	B (m)	1.8	2.8	1.8	2.1	2.5	2.7	b ₁ (m)	0.5	1	0.5	0.5	0.7	0.5	b ₂ (m)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	b ₃ (m)	1	1.5	1	1.3	1.5	1.9	b ₄ (m)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
H _T (m)	2.5	3	3.5	4	4.5	5																																																			
h ₁ (m)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4																																																			
H (m)	2.1	2.6	3.1	3.6	4.1	4.6																																																			
B (m)	1.8	2.8	1.8	2.1	2.5	2.7																																																			
b ₁ (m)	0.5	1	0.5	0.5	0.7	0.5																																																			
b ₂ (m)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3																																																			
b ₃ (m)	1	1.5	1	1.3	1.5	1.9																																																			
b ₄ (m)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3																																																			

Fuente: Geocing SAS.

Dado que actualmente la vía no tiene un manejo de las aguas de infiltración de sebo Instalar una cuneta perimetral- longitudinal a la vía.

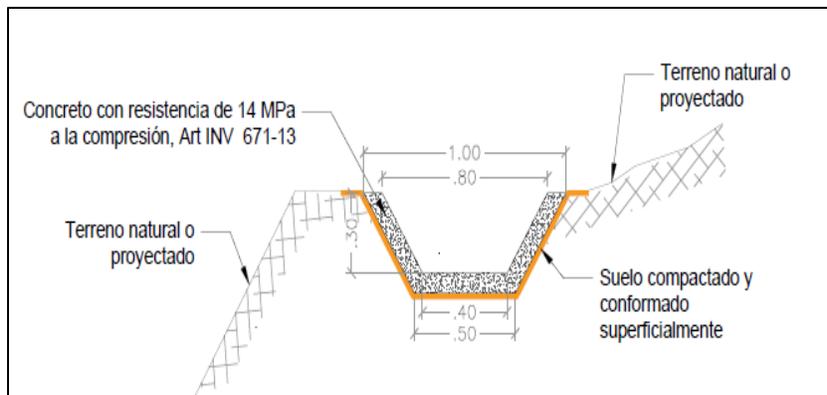


Ilustración 271 Cuneta longitud de la vía.

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.

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

- **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 272 se presenta un esquema de Dren de Penetración Horizontal.

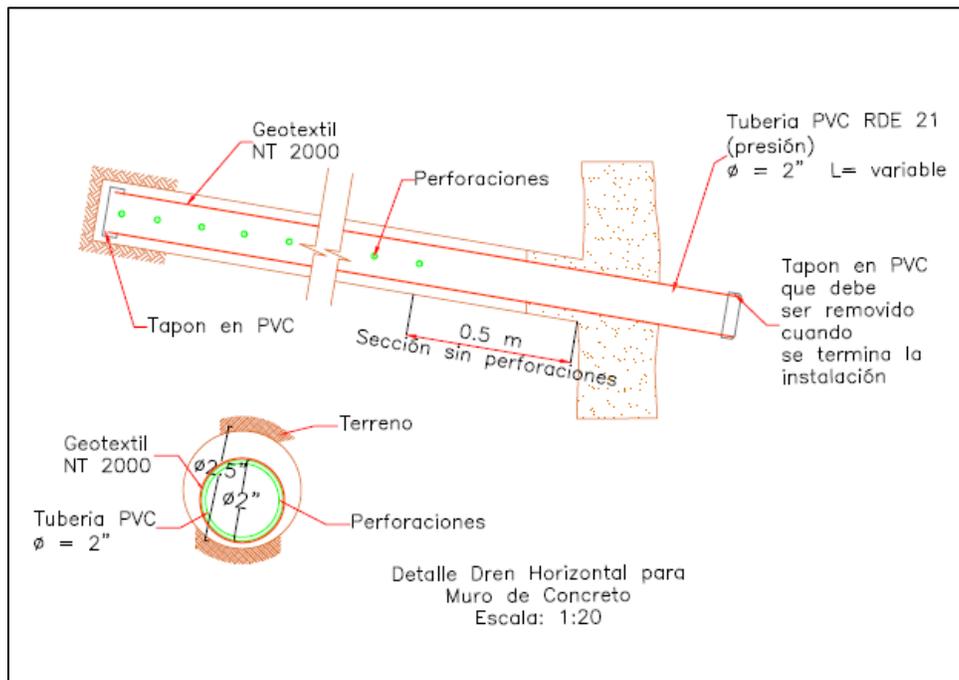


Ilustración 273. Esquema de dren horizontal.
Fuente: Geocing SAS.

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. A continuación se presenta el presupuesto estimado para la mitigación del riesgo por movimientos en masa en 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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

Con el fin de garantizar la estabilidad general del barrio Siloé, a continuación se presentan los perfiles representativos con los cuales se analiza la estabilidad de la ladera con la implantación de las medidas de mitigación.



Ilustración 274 Vista local de los perfiles de ubicados en el barrio Siloé
Fuente: Geocing SAS.

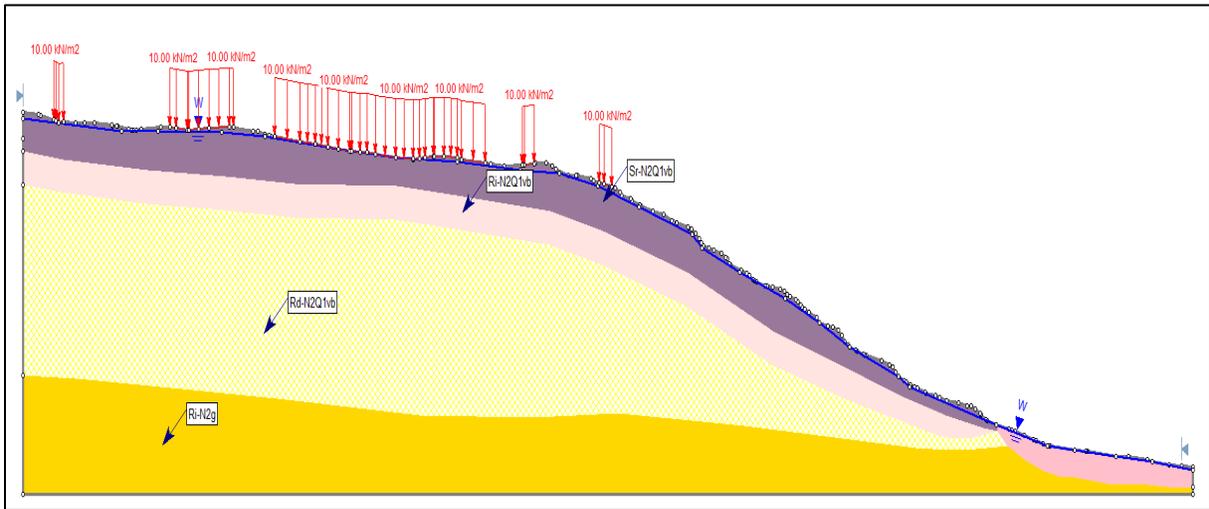


Ilustración 275 Vista del perfil 2b en condición actual.
Fuente: Geocing SAS.

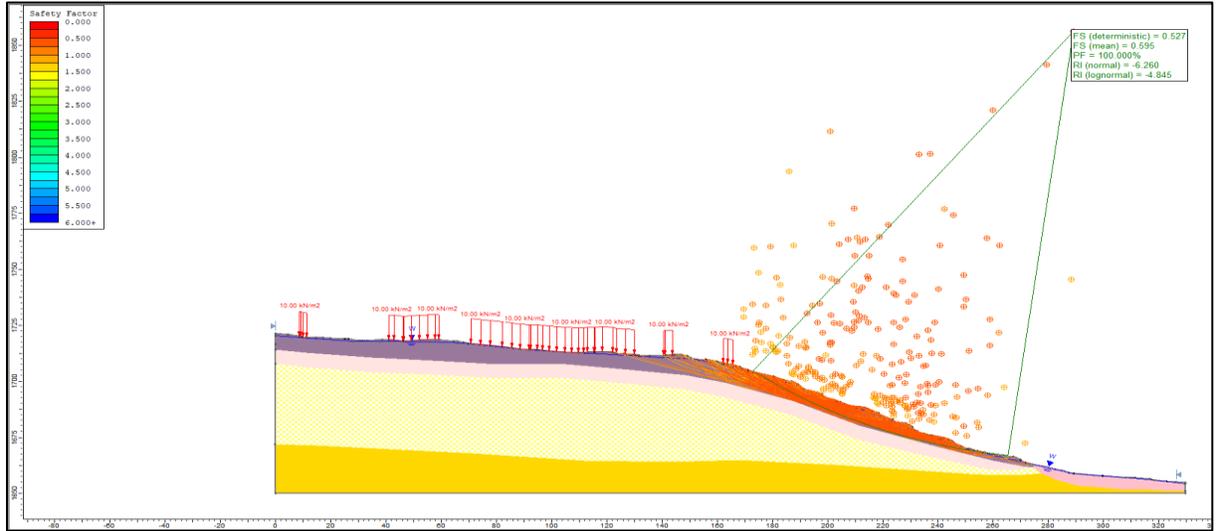


Ilustración 276 Vista del perfil 2b en condición crítica FS 0.52.
Fuente: Geocing SAS.

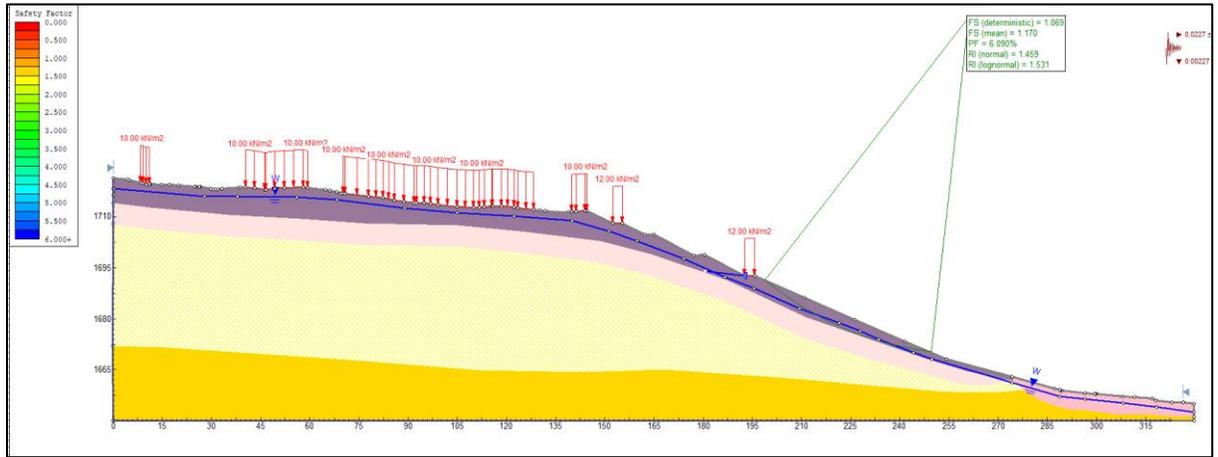


Ilustración 277 Vista del perfil 2b en condición crítica FS 1.069.
Fuente: Geocing SAS.

De acuerdo a los análisis realizados, en esta zona del barrio Silóe, se DEBE adecuar la carrera 4ta hasta la intersección con la Calle 4ta, con una pendiente de ladera de 1V: 2H (26°) garantizando un adecuado sistema de colección y descole de aguas de infiltración y subsuperficiales. A partir de la intersección de la Carrera 4ta y Calle 4ta, se debe establecer la pendiente natural del terreno, una vida peatonal en escalinata adecuada sobre un terracedo dispuesto de 3 terrazas de 6 metros de altura con ángulo de inclinación de la cara del talud de 1V: 2H (26°) y berma de 3.0 m. En la base de la primera terraza se debe instalar un dren horizontal de 12.0 m de longitud y una inclinación de 5°. Se aclara que Ningún corte realizado en terreno natural debe estar expuesto a intemperismo.

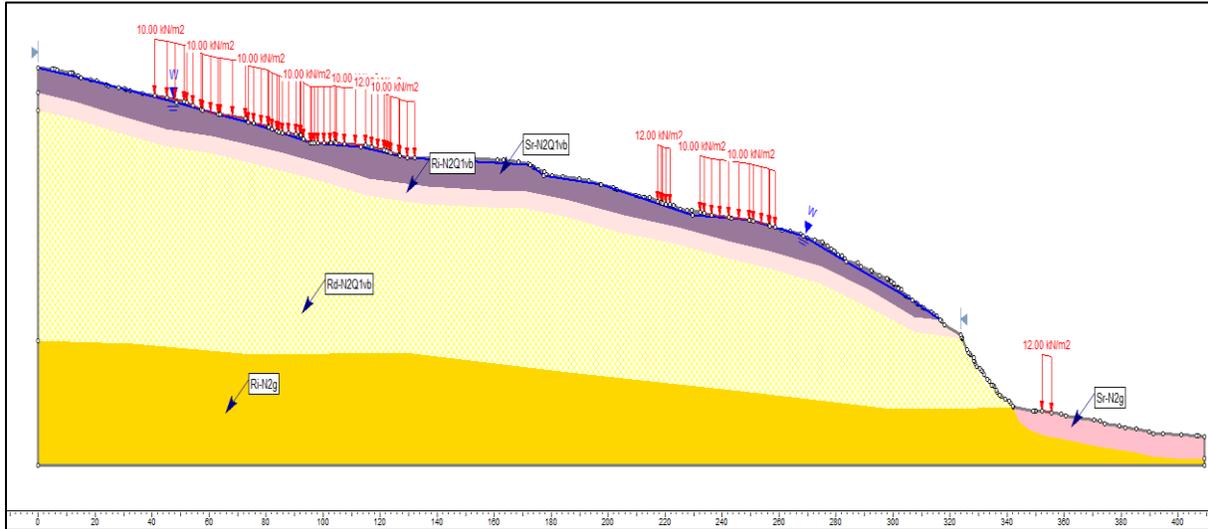


Ilustración 278 Vista del perfil 1b en condición actual
Fuente: Geocing SAS.

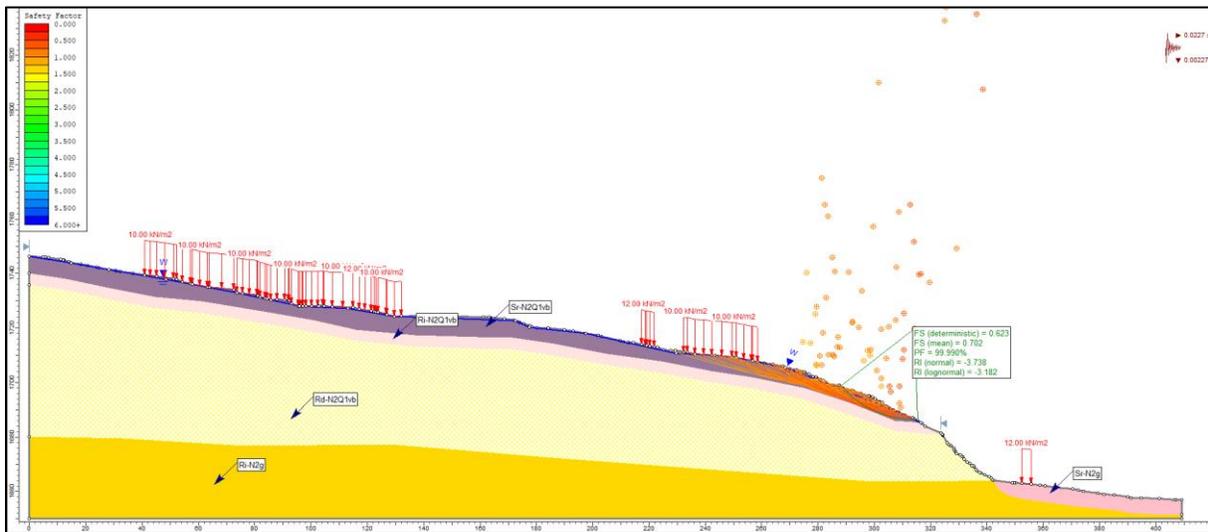


Ilustración 279 Vista del perfil 1b en condición crítica FS 0.62
Fuente: Geocing SAS.

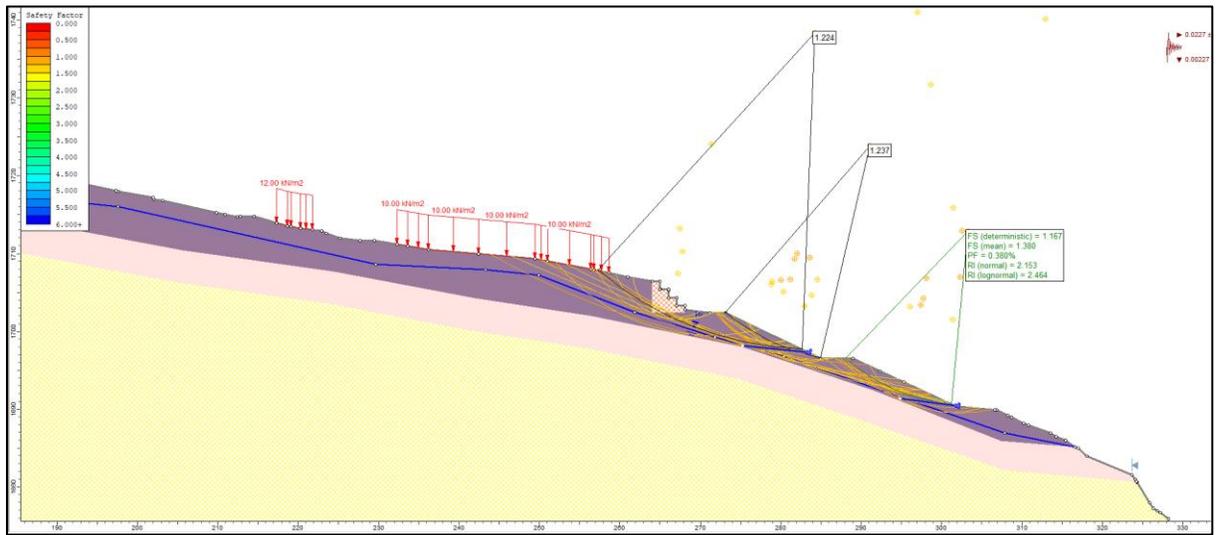


Ilustración 280 Vista del perfil 1b en condición crítica FS 1.167
Fuente: Geocing SAS.

De acuerdo a los análisis realizados, en esta zona del barrio Siloé, se DEBE realizar la reubicación del predio C2944, en razón que este predio se encuentra localizado en la cresta alta del afloramiento rocoso, Posterior a esto, para garantizar la estabilidad de esta zona se debe realizar un perfilaje conformado por dos terrazas con una inclinación de cara de talud de ángulo de inclinación de la cara del talud de 1V: 2H (26°) y berma de 4.0 m. En la base de las terrazas se debe instalar un dren horizontal de 7.0 m de longitud y una inclinación de 5°. Se aclara que Ningún corte realizado en terreno natural debe estar expuesto a intemperismo. Dado que, en la parte superior existen viviendas y para garantizar la estabilidad de las mismas, se debe conformar una estructura de contención flexible tipo Gavión de altura 4.0 m.

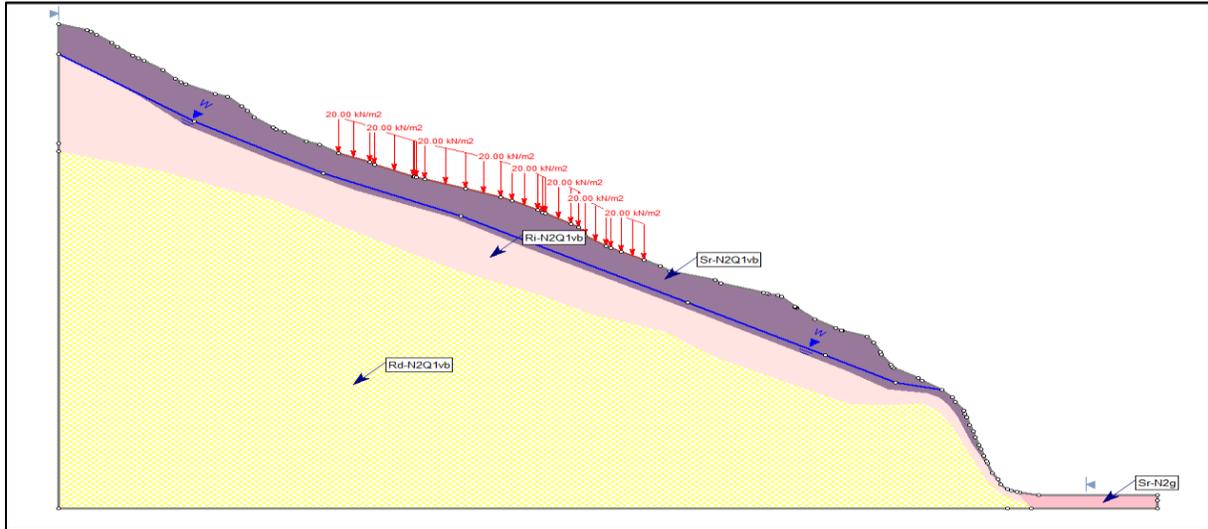


Ilustración 281 Vista del perfil 7A en condición actual
Fuente: Geocing SAS.

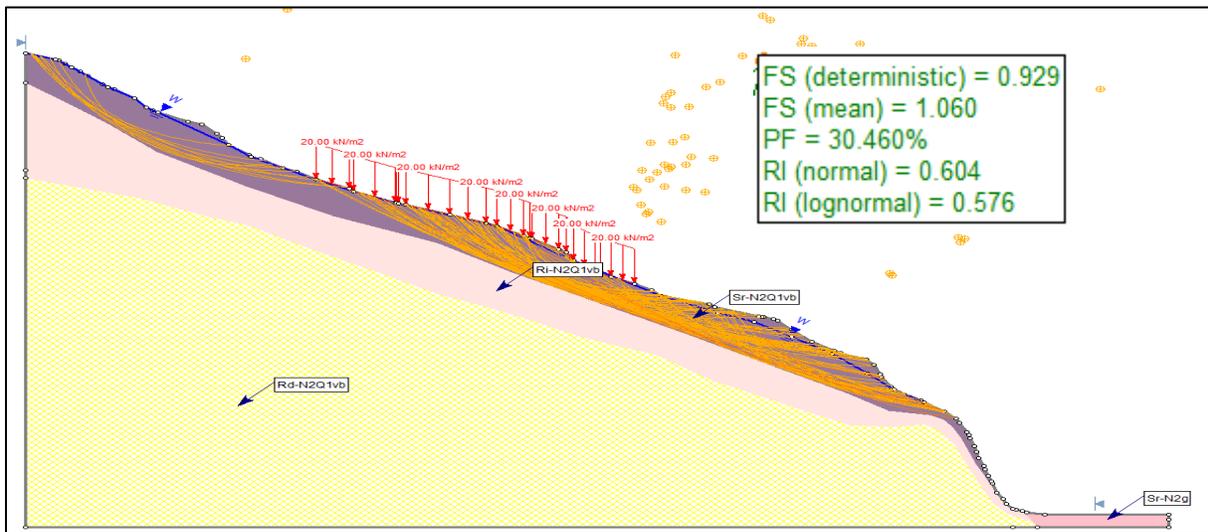


Ilustración 282 Vista del perfil 7A en condición crítica FS 0.929
Fuente: Geocing SAS.

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

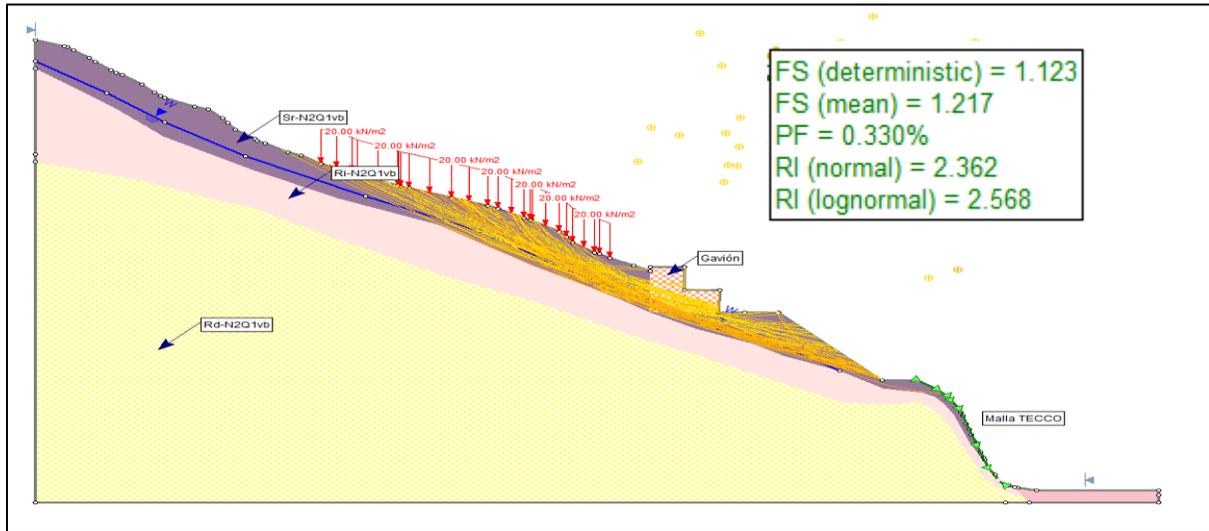


Ilustración 283 Vista del perfil 7A en condición crítica FS 1.123
Fuente: Geocing SAS.

En el análisis de estabilidad se verifica el estado de la ladera teniendo en cuenta las construcciones actuales y de manera inicial se recomienda No construir proyectos de urbanización en esta zona del casco urbano. Por otra lado, en la parte inferior de la ladera se identifica desprendimiento de material sobre el sustrato rocoso, razón por lo cual se propone la instalación de una Malla para el control de la erosión / revegetación TECCO® GREEN G45/3 La malla TECCO® GREEN G45/3 para el control de la erosión / re-vegetación es un compuesto integrado por la bien conocida malla de acero de alta resistencia tipo TECCO® G45/3 y una capa tridimensional de monofilamentos de polipropileno. La combinación de estas dos mallas ofrece resultados de estabilización y control de erosión superficial óptima para la revegetación

En la zona intermedia entre la creta del talud y la vivienda existente se propone, para garantizar la estabilidad, realizar un perfilaje conformado por una terraza con una inclinación de cara de talud de ángulo de inclinación de la cara del talud de 1V: 2H (26°). Se aclara que Ningún corte realizado en terreno natural debe estar expuesto a intemperismo y con el fin de garantizar la estabilidad de las construcciones se debe conformar una estructura de contención flexible tipo Gavión de altura 4.0 m. A continuación se presenta el diseño y especificaciones técnicas del muro tipo gavión y malla TECCO.

El sistema TECCO® resulta adecuado para estabilizar taludes de suelos, sedimentos y rocas. La razón principal es que después de limpiar, nivelar y perfilar la superficie, la malla de alambre de acero TECCO® se puede pretensar sobre el mismo talud con una fuerza definida mediante la instalación de anclajes para suelo o para roca junto con

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

placas de fijación. En pocas palabras, la malla se adapta a la topografía y de esa forma evita los deslizamientos y las deformaciones. La malla TECCO® de alambre de acero se fija mediante anclajes para suelo o para roca sujetos en la zona estable del talud. Debido a que la malla se adapta perfectamente a la superficie del talud como resultado del pretensado, se evita el movimiento de masas de suelo y de fragmentos de roca.

Los anclajes principales sujetan firmemente la malla de alambre de acero. Sólo se necesitarán anclajes adicionales cortos donde la malla deba ser adosada tanto como sea posible sobre superficies irregulares o cerca de los extremos. Para satisfacer condiciones topográficas o estáticas especiales se pueden colocar cables perimetrales tensados sujetos a anclajes laterales.

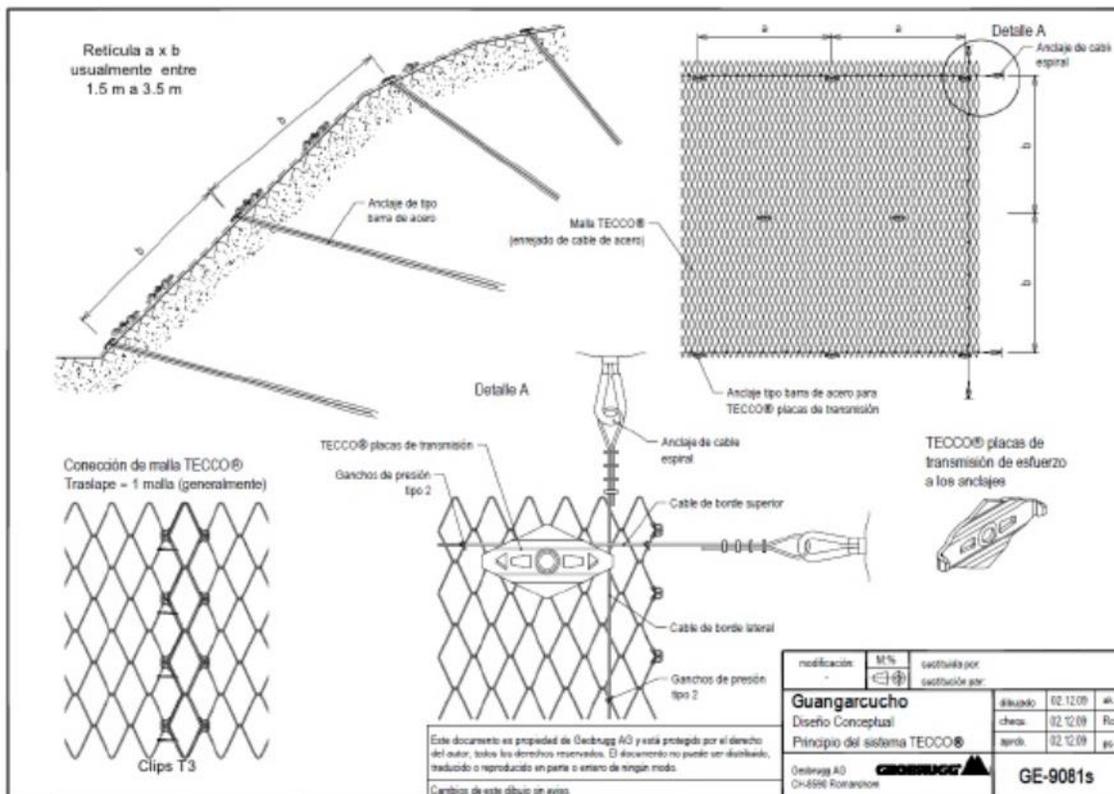


Ilustración 284 Vista de los detalles de la implementación de la malla TECCO.
Fuente: Geobrigg

Como se logra evidenciar en la Ilustración 283, se requiere para garantizar la estabilidad del talud en el detrás de la viviendas la implantación de una estructura flexible, tipo muro en Gavión con altura de 2.0 m, hasta encontrar piso competente colocando geotextil tejido para evitar la filtración de material fino en el gavión.

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

El dimensionamiento de la estructura cumple con los Factores de Seguridad de acuerdo con el NSR- 10, 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. Con base en el diseño a continuación se presenta el estimado del presupuesto para esta obra.

Se debe conformar el muro en gavión con Malla Triple Torsión; la estructura debe tener como mínimo una altura de 2.0 m. Se debe garantizar la colocación de un geodrén en el tras dos del muro. Se presenta a continuación la localización general en planta de las obras de mitigación estructurales para el barrio Siloé.

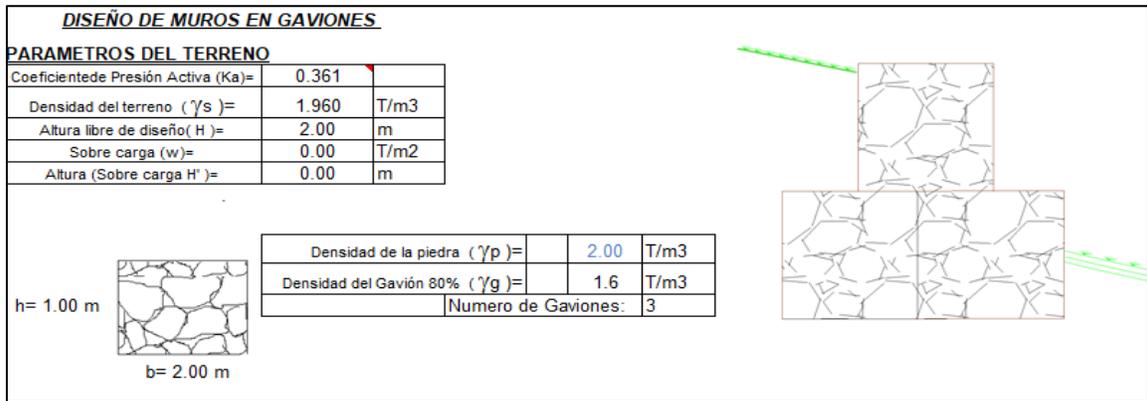


Ilustración 285 Pre dimensionamiento del Muro en Voladizo de H: 2.0 m.
Fuente: Geocing SAS.

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

DISTRIBUCION DE PRESIONES

$P=K_a \cdot \gamma_s \cdot H = 1.415 \text{ t/m/m}$
 $P=K_a \cdot \gamma_s \cdot H = 0.00 \text{ t/m/m}$

CALCULO DE EMPUJE ACTIVO

$E_{pt} = H(P/2 + P') = 1.415 \text{ t/m}$
 $Brazo = H^2(P/2 + P_6) / E_{pt} = 0.67 \text{ m}$

UERZAS RESISTENTES:

ELEMENTO	FUERZA (T/m)	BRAZO (m)	MOMENTO (T*m/m)
Gaviones	10.176	2.000	20.352
Cuñas de Relleno	2.058	4.500	9.261
$\Sigma F_{vo} =$	12.234	$\Sigma M_{vo} =$	29.613

UERZAS ACTUANTES:

$\Sigma F_{\gamma} = (E_p - E_a) = 1.415 \text{ t/m}$

MOMENTO POR VOLCAMIENTO
 $\Sigma M_{\gamma} = E_{pt} \cdot brazo = 0.94 \text{ T*m/m}$

ACTOR DE SEGURIDAD A VOLCAMIENTO: caso de relleno en un solo lado

$\frac{\Sigma M_{vo}}{\Sigma M_{\gamma}} = 31.39 \geq 3.00 \quad \text{OK}$

ACTOR DE SEGURIDAD A DESLIZAMIENTO: caso de relleno en un solo lado

$F = f \cdot \Sigma FV = 8.56$
 $f = 0.7$
 $\beta = F / \Sigma Fh = 6.05 \geq 1.60 \quad \text{OK}$

POSICION DE LA RESULTANTE:

PUNTO DE APLICACIÓN DE LA NORMAL
 $x = \frac{\Delta \Sigma M_{vo}}{\Sigma F_{vo}} = \frac{29.613 - 0.943}{12.234} = 2.34 \text{ m}$

CALCULO DE EXENTRIDAD
 $e = (L/2) - x = 1.000 - 2.34 = -1.34 < e_{max} = (L/6) = 0.33 \quad \text{OK}$

Ilustración 286 Pre dimensionamiento del Muro en Voladizo de H: 2.0 m. Evidencia de Cumplimiento a Capacidad Portante, Deslizamiento, Volcamiento dinámico y estático. Fuente: Geocing SAS.

En las siguientes ilustraciones se presentan la vista en planta de la localización de las medidas estructurales en el barrio Siloé.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

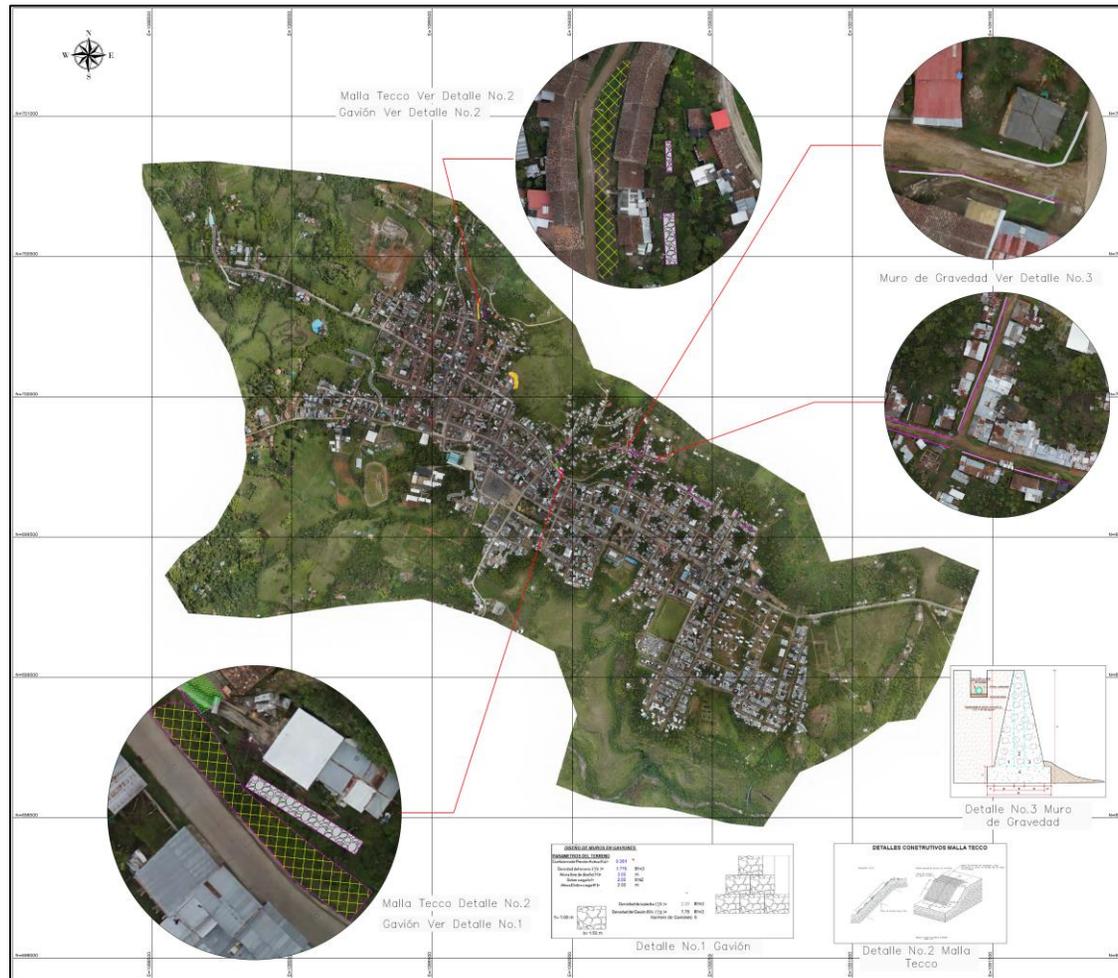


Ilustración 287 Vista en planta de la localización de las medidas estructurales recomendadas en el barrio Siloé parte 1.
Fuente Geocing SAS.

Dirección de correo: Calle 120 No. 49-44
Teléfono (1) 7046969 / (1) 7458541
Bogotá D.C.



Ilustración 288 Vista en planta de la localización de las medidas estructurales recomendadas en el barrio Siloé parte 2. 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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

- **Barrio La Brisas**

La problemática, respecto a la realización de corte en ladera para la construcción de viviendas en zona de laderas sin ningún tipo de manejo de aguas de infiltración ha afectado la inestabilidad local en el barrio La Brisas, tal cual como se evidencia en la ilustración siguiente:



Ilustración 289 Vista local de la categorización de Amenaza por movimiento en masa en el Barrio La Brisas.
Fuente Geocing SAS.

En la tabla 154 se presenta enlistados puntos considerados como críticos, los cuales sirven como referencia para analizar los factores detonantes de inestabilidad en el barrio las Brisas.

Tabla 156 Identificación de puntos críticos en el Barrio Las Brisas

Localización	Registro fotográfico	Recomendación
<p>Son las viviendas construidas en el costado Occidental de la carrera 1 entre calles 4 y 5 a partir de su parte media.</p> <p>Barrio Las Brisas.</p>		<p>-Realizar obras para estabilización de taludes y manejo de aguas de infiltración y superficiales.</p> <p>-No permitir la construcción de Viviendas de más de un piso.</p>

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

Localización	Registro fotográfico	Recomendación
<p>Viviendas construidas en el costado norte de la calle 5 entre las de la carreras 1 y la parte media de las carreras 4 y 5.</p> <p>Barrio Las Brisas.</p>		<p>-Realizar obras para estabilización de taludes y manejo de aguas de infiltración y superficiales.</p> <p>-No permitir la construcción de Viviendas de más de un piso.</p>
<p>Viviendas construidas en el costado sur de la calle 5 entre las de la carreras 1 y la parte media de la carrera quinta y la sexta.</p> <p>Barrio Las Brisas.</p>		<p>-Realizar obras para estabilización de taludes y manejo de aguas de infiltración y superficiales.</p> <p>-No permitir la construcción de Viviendas de más de un piso.</p>
<p>Viviendas en la ladera que da con el costado de las viviendas de la calle 5 a continuación de la zona 3.</p> <p>Barrio Las Brisas.</p>		<p>-Realizar obras para estabilización de taludes y manejo de aguas de infiltración y superficiales.</p> <p>-Prohibir la construcción de nuevas Viviendas.</p> <p>-Declarar la zona como área de protección ambiental.</p>

Fuente Geocing SAS.

De acuerdo a lo presentado en la tabla anterior, se evidencia el inadecuado manejo de aguas de infiltración y subsuperficiales y dado que no se cuenta con un adecuado sistema de captación de aguas servidas, por lo que se debe implementar un sistema de captación asociado a la red vial secundaria que permita mitigar el volumen de aguas de infiltración en los taludes de corte; esta medida debe ir de igual forma asociada a un óptimo descole al sistema de alcantarillado. Se debe implantar en la Calle 5 entre carreras 1^{ra} y 6^{ta}. Dado que actualmente la vía no tiene un manejo de las aguas de infiltración de debe Instalar una cuneta perimetral- longitudinal a la vía.

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

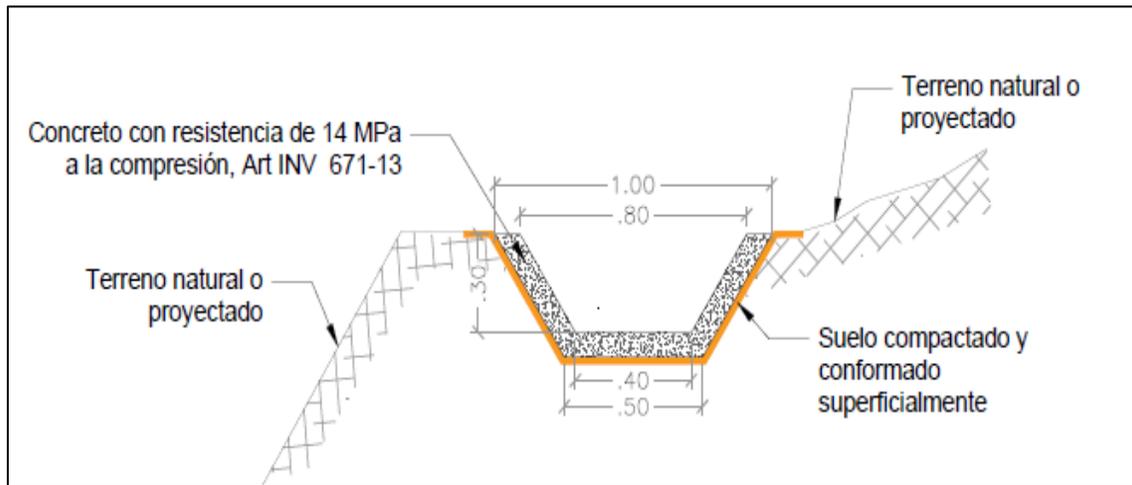


Ilustración 290 Cuneta longitud de la vía.
Fuente: Geocing SAS.

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. De acuerdo a lo anterior, en esta Zona no se requieren medidas de mitigación estructurales, sin embargo a continuación se presentan indicaciones que se debe tener en cuenta:

1. En los taludes naturales donde la altura sea mayor a 1.0 m se deben perfilar con un ángulo de inclinación de 45 grados 1 V: 1 H.
2. Se debe realizar cortes en una pendiente máxima de 1V: 0.3H (72°)
3. Se deben implementar zonas de aislamiento de taludes naturales con inclinación de la cara mayor a 45°
4. Para su correspondiente ocupación y urbanización deberán tener un manejo diferenciado en su regulación urbanística, en comparación con otras áreas del territorio con amenaza baja o sin amenazas. Razón por la cual, se recomienda que para el desarrollo de nuevas actividades e infraestructuras se deberá contar con estudios técnicos que le permitan al casco urbano definir el costo de las inversiones requeridas para habilitar dicho suelo.
5. Se debe manejar un aislamiento tanto en la corona como en el pie del talud, ya que esta zona generalmente corresponde a la franja mínima de terreno medida horizontalmente desde el pie o corona del talud hasta el sitio donde no se permiten

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

construcciones. En todos los casos el aislamiento mínimo de la corona y el pie del talud debe ser superior a 15 metros.

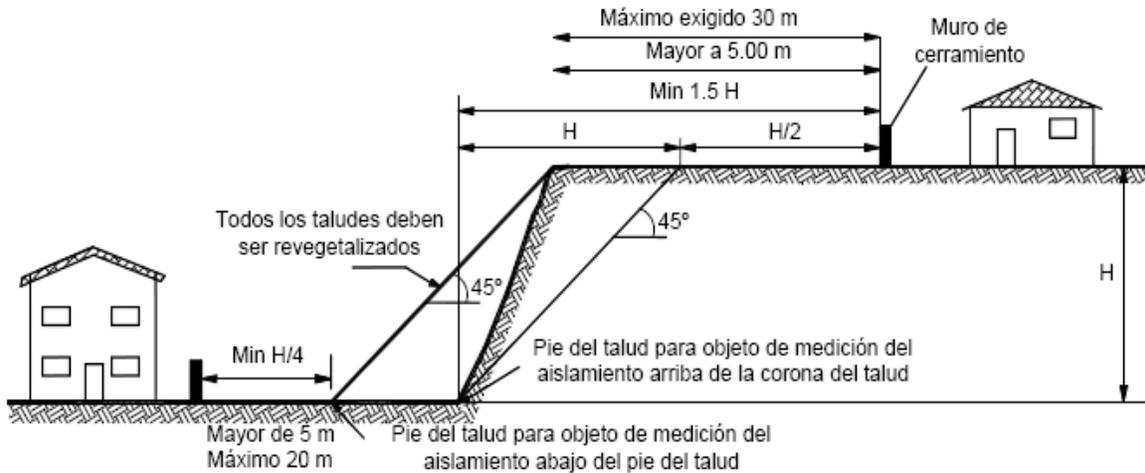


Ilustración 291. Aislamientos mínimos para el pie de taludes con pendiente superior a 45°.
Fuente: Geocing SAS.

6. No se debe construir proyectos urbanísticos de viviendas en las áreas categorizadas como amenaza alta y las nuevas construcciones que se proyecten y se encuentran en zonas categorizadas con amenaza media, deben presentar estudios de suelos con base a la norma sismo resistente NSR-10.

Debido a la problemática de la construcción en zona de laderas y un inadecuado corte de los taludes, se genera inestabilidad local evidenciado en la Calle 5 entre carrera 1^{ra} y 6^{ta} así con en la vía de entrada la barrio Carrera 1 sur entre calles 4^{ta} y 5^{ta}, razón por la cual continuación se presentan los diseños de las obras tipificadas, la proyección de las obras de estabilización debe hacerse adecuándose a la topografía ascendente o descendente escalonada por terrazas del terreno, y una altura variable 2.0 m, 2.5 m, 3.0 m y altura máxima de 3.5 m, con un nivel de suelo de fundación de 0.5 m. Para el diseño de los muros de contención típicos, se utilizaron los siguientes parámetros para la construcción del Diagrama de empujes lateral:

Diagrama de empujes triangular utilizando la metodología de Coulomb, con:

$$K_a = (1 - \text{Sen } \emptyset) / (1 + \text{Sen } \emptyset),$$

$$K_p = (1 + \text{Sen } \emptyset) / (1 - \text{Sen } \emptyset).$$

Peso unitario efectivo de $\gamma'_s = 1.90 \text{ Ton/m}^3$ (Relleno de material Seleccionado Art. 620 Invias compactado $\emptyset = 32^\circ$).

Con los siguientes valores de diseño geotécnico:

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

$$K_a = (1 - \text{Sen } 32^\circ) / (1 + \text{Sen } 32^\circ) = 0.31$$

$$K_p = (1 + \text{Sen } 32^\circ) / (1 - \text{Sen } 32^\circ) = 3.25$$

$$K_o = (1 - \text{Sen } 32^\circ) = 0.47$$

$$K_{ae} = 0.44$$

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 presentan a continuación. Con el fin de presentar las memorias de cálculo se adjuntan para el muro con altura de 3.5 m.

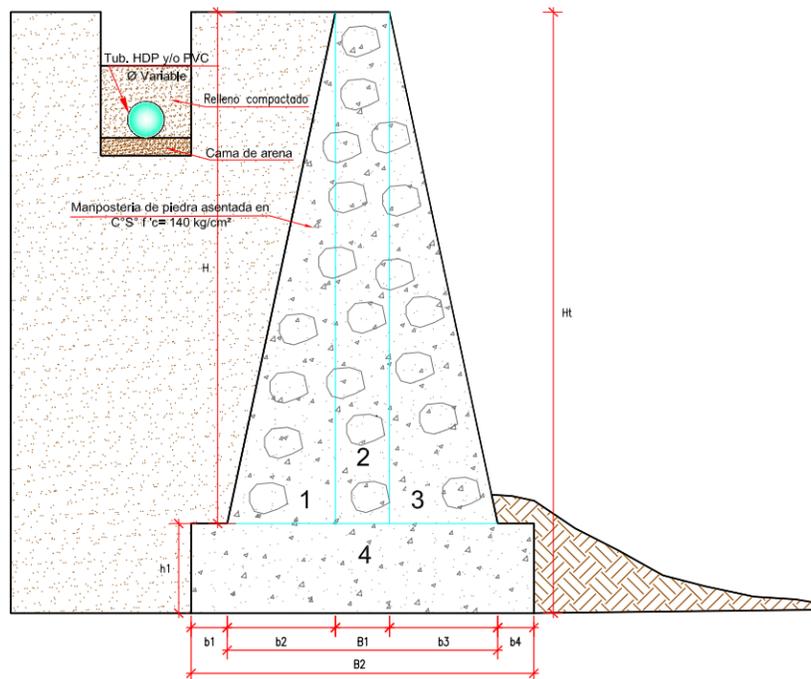


Ilustración 292 Detalle típico muro de gravedad.

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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p align="center">INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

Tabla 157 Factores de seguridad mínimos exigidos en la NSR-10.

Condición	Construcción	Estático	Sismo	Seudo estático
Deslizamiento	1.60	1.60	Diseño	1.05
Volcamiento: el que resulte más crítico de Momento Resistente/ Momento Actuante	≥ 3.00	≥ 3.00	Diseño	≥ 2.00
Excentricidad en el sentido del momento (e/B)	$\leq 1/6$	$\leq 1/6$	Diseño	$\leq 1/4$
Capacidad portante	Iguales a los de la Tabla H.4.1			
Estabilidad Intrínseca materiales térreos (reforzados o no)	Iguales a los de la Tabla H.2.1			
Estabilidad Intrínseca materiales manufacturados	Según material (Concreto-Título C; Madera-Título G; etc.)			
Estabilidad general del sistema:				
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
Laderas adyacentes (Zona de influencia > 2.5H)	1.20	1.50	Diseño	1.05

Fuente: AIS (2010)

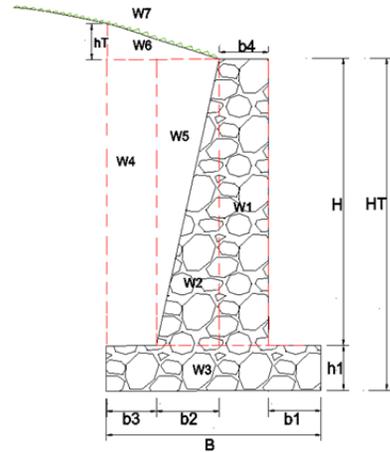
H: 3.5 m	MEMORIA DE CÁLCULO DE GRAVEDAD																																																																																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">DATOS GENERALES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Q (kN/m²) =</td><td>0.0</td><td>Sobrecarga</td></tr> <tr><td>γ_r (kN/m³) =</td><td>19.0</td><td>Peso Unitario del suelo de relleno</td></tr> <tr><td>ϕ_u =</td><td>32.0</td><td>Angulo de fricción interna del suelo de relleno</td></tr> <tr><td>γ (kN/m³) =</td><td>19.00</td><td>Peso Unitario del estrato de fundación</td></tr> <tr><td>ϕ =</td><td>28.00</td><td>Angulo de fricción interna del estrato de fundación</td></tr> <tr><td>C (kN/m²) =</td><td>7.00</td><td>Cohesión del estrato de fundación</td></tr> <tr><td>α (°) =</td><td>0</td><td>Angulo del terreno delante del muro</td></tr> <tr><td>β (°) =</td><td>0</td><td>Angulo del terreno detrás del muro</td></tr> <tr><td>Ka₁ =</td><td>0.36</td><td>Ka₂ = 0.36</td></tr> <tr><td>Kp₁ =</td><td>2.77</td><td>Kp₂ = 2.77</td></tr> <tr><td>σ_{adm} (kN/m²) =</td><td>212.78</td><td>Capacidad portante última</td></tr> <tr><td>A, K_{ST} =</td><td>0.25</td><td>Aceleración pico efectiva</td></tr> <tr><td>δ_2 (°) =</td><td>21.33</td><td>ángulo interacción suelo(relleno) - muro</td></tr> <tr><td>δ_3 (°) =</td><td>18.67</td><td>ángulo interacción suelo (fundación)- muro</td></tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">PREDIMENSIONAMIENTO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>H_t (m)</td><td>3.50</td><td>Altura Total del Muro</td></tr> <tr><td>h₁ (m)</td><td>0.55</td><td>Espesor de zarpa</td></tr> <tr><td>H (m)</td><td>2.95</td><td>Altura del vástago del Muro</td></tr> <tr><td>B (m)</td><td>2.00</td><td>Ancho total de zarpa</td></tr> <tr><td>b₁ (m)</td><td>0.00</td><td>Punta del Muro</td></tr> <tr><td>b₂ (m)</td><td>1.00</td><td>Ancho del vástago del muro.</td></tr> <tr><td>b₃ (m)</td><td>1.00</td><td>Talón del muro</td></tr> <tr><td>b₄ (m)</td><td>0.40</td><td>Corona del muro</td></tr> <tr><td>Pa (KN/m)</td><td>43.12</td><td>Empuje activo</td></tr> <tr><td>Pav(KN/m)</td><td>15.69</td><td>Componete Vertical del empuje activo</td></tr> <tr><td>Pah (KN/m)</td><td>40.17</td><td>Componete horizontal del empuje</td></tr> <tr><td>h' (m)</td><td>0.00</td><td>Altura talud inclinado</td></tr> <tr><td>h'' (m)</td><td>0.00</td><td>Altura equivalente por sobrecarga aplicada</td></tr> </tbody> </table>	DATOS GENERALES			Q (kN/m ²) =	0.0	Sobrecarga	γ_r (kN/m ³) =	19.0	Peso Unitario del suelo de relleno	ϕ_u =	32.0	Angulo de fricción interna del suelo de relleno	γ (kN/m ³) =	19.00	Peso Unitario del estrato de fundación	ϕ =	28.00	Angulo de fricción interna del estrato de fundación	C (kN/m ²) =	7.00	Cohesión del estrato de fundación	α (°) =	0	Angulo del terreno delante del muro	β (°) =	0	Angulo del terreno detrás del muro	Ka ₁ =	0.36	Ka ₂ = 0.36	Kp ₁ =	2.77	Kp ₂ = 2.77	σ_{adm} (kN/m ²) =	212.78	Capacidad portante última	A, K _{ST} =	0.25	Aceleración pico efectiva	δ_2 (°) =	21.33	ángulo interacción suelo(relleno) - muro	δ_3 (°) =	18.67	ángulo interacción suelo (fundación)- muro	PREDIMENSIONAMIENTO			H _t (m)	3.50	Altura Total del Muro	h ₁ (m)	0.55	Espesor de zarpa	H (m)	2.95	Altura del vástago del Muro	B (m)	2.00	Ancho total de zarpa	b ₁ (m)	0.00	Punta del Muro	b ₂ (m)	1.00	Ancho del vástago del muro.	b ₃ (m)	1.00	Talón del muro	b ₄ (m)	0.40	Corona del muro	Pa (KN/m)	43.12	Empuje activo	Pav(KN/m)	15.69	Componete Vertical del empuje activo	Pah (KN/m)	40.17	Componete horizontal del empuje	h' (m)	0.00	Altura talud inclinado	h'' (m)	0.00	Altura equivalente por sobrecarga aplicada		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="2">NSR-10</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>FS Capacidad Portante (Mínimo)</td> <td>3.00</td> <td>4.98</td> <td>Cumple</td> </tr> <tr> <td>FS_d Deslizamiento (Mínimo)</td> <td>1.60</td> <td>1.62</td> <td>Cumple</td> </tr> <tr> <td>FS_{de} Deslizamiento (Mínimo)</td> <td>1.05</td> <td>1.59</td> <td>Cumple</td> </tr> <tr> <td>FS_v Volcamiento (Mínimo)</td> <td>3.00</td> <td>3.86</td> <td>Cumple</td> </tr> <tr> <td>FS_{ve} Volcamiento (Mínimo)</td> <td>2.00</td> <td>3.75</td> <td>Cumple</td> </tr> </tbody> </table>		NSR-10			FS Capacidad Portante (Mínimo)	3.00	4.98	Cumple	FS _d Deslizamiento (Mínimo)	1.60	1.62	Cumple	FS _{de} Deslizamiento (Mínimo)	1.05	1.59	Cumple	FS _v Volcamiento (Mínimo)	3.00	3.86	Cumple	FS _{ve} Volcamiento (Mínimo)	2.00	3.75	Cumple
DATOS GENERALES																																																																																																																	
Q (kN/m ²) =	0.0	Sobrecarga																																																																																																															
γ_r (kN/m ³) =	19.0	Peso Unitario del suelo de relleno																																																																																																															
ϕ_u =	32.0	Angulo de fricción interna del suelo de relleno																																																																																																															
γ (kN/m ³) =	19.00	Peso Unitario del estrato de fundación																																																																																																															
ϕ =	28.00	Angulo de fricción interna del estrato de fundación																																																																																																															
C (kN/m ²) =	7.00	Cohesión del estrato de fundación																																																																																																															
α (°) =	0	Angulo del terreno delante del muro																																																																																																															
β (°) =	0	Angulo del terreno detrás del muro																																																																																																															
Ka ₁ =	0.36	Ka ₂ = 0.36																																																																																																															
Kp ₁ =	2.77	Kp ₂ = 2.77																																																																																																															
σ_{adm} (kN/m ²) =	212.78	Capacidad portante última																																																																																																															
A, K _{ST} =	0.25	Aceleración pico efectiva																																																																																																															
δ_2 (°) =	21.33	ángulo interacción suelo(relleno) - muro																																																																																																															
δ_3 (°) =	18.67	ángulo interacción suelo (fundación)- muro																																																																																																															
PREDIMENSIONAMIENTO																																																																																																																	
H _t (m)	3.50	Altura Total del Muro																																																																																																															
h ₁ (m)	0.55	Espesor de zarpa																																																																																																															
H (m)	2.95	Altura del vástago del Muro																																																																																																															
B (m)	2.00	Ancho total de zarpa																																																																																																															
b ₁ (m)	0.00	Punta del Muro																																																																																																															
b ₂ (m)	1.00	Ancho del vástago del muro.																																																																																																															
b ₃ (m)	1.00	Talón del muro																																																																																																															
b ₄ (m)	0.40	Corona del muro																																																																																																															
Pa (KN/m)	43.12	Empuje activo																																																																																																															
Pav(KN/m)	15.69	Componete Vertical del empuje activo																																																																																																															
Pah (KN/m)	40.17	Componete horizontal del empuje																																																																																																															
h' (m)	0.00	Altura talud inclinado																																																																																																															
h'' (m)	0.00	Altura equivalente por sobrecarga aplicada																																																																																																															
	NSR-10																																																																																																																
FS Capacidad Portante (Mínimo)	3.00	4.98	Cumple																																																																																																														
FS _d Deslizamiento (Mínimo)	1.60	1.62	Cumple																																																																																																														
FS _{de} Deslizamiento (Mínimo)	1.05	1.59	Cumple																																																																																																														
FS _v Volcamiento (Mínimo)	3.00	3.86	Cumple																																																																																																														
FS _{ve} Volcamiento (Mínimo)	2.00	3.75	Cumple																																																																																																														

Ilustración 293 Dimensionamiento del Muro de gravedad H: 3.5 m.

Fuente: Geocing SAS.

No.	ALTURA (m)	BASE (m)	AREA (m ²)	γ (kN/m ³)	PESO (KN/m)	Brazo (m)	M estabilizante KN-m	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD (Volcamiento)			
W1	2.95	0.40	1.18	24.00	28.32	0.20	5.7	Σ-Momento Estabilizante	180.8		
W2	2.95	0.60	0.89	24.00	21.24	0.93	19.8				
W3	0.55	2.00	1.10	24.00	26.40	1.00	26.4				
W4	2.95	1.00	2.95	19.00	56.05	1.50	84.1				
W5	2.95	0.60	0.89	19.00	16.82	0.80	13.5				
W6	0.00	1.60	0.00	19.00	0.00	1.47	0.0				
W7	0.00	1.60	0.00	19.00	0.00	2.00	0.0				
Pav							15.69	2.00	31.4		
Σ Momentos estabilizantes								180.8			
				Pah	40.17	1.17		46.86			
				Pvh	0.00	1.75		0.00			
Σ Momentos inestabilizantes								46.86			
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD (Deslizamiento)				Cálculo de Capacidad Portante				VERIFICACIÓN ESTABILIDAD INTERNA			
K1=	0.39	ΣFv	164.51	γ ₂ (KN/m ³)	19.0	ΣM _{rot} (KN-m)	133.93	Esfuerzo Reacción (KN/m ²)			
K2=	0.34	ΣFh	40.17	C ₂ (KN/m ²)	7.0	ΣF _{verticales}	164.51	Max (punta)	Min (tañón)		
FS al Deslizamiento		1.62		φ ₂ (°) Estrato de fundación	28.0	Xa (m)	0.81	128.13	36.38		
		Cumple		Df (m)	0.50	B/2 (m)	1	Capacidad Portante			
				β (°)	0.0	Excentricidad (m)	0.19	FS Capacidad Portante			
				αL	9.50	B/6 (m)	0.33	4.98			
Hlave +zarpa + Desplante		No requiere llave		FS Excentricidad		Cumple		Cumple			
Hlave		0.00		NaL	14.72						
				quilt (KN/m ²)	638.33						
				σadm (KN/m ²)	212.78						

Ilustración 294 Dimensionamiento del Muro de gravedad H: 3.5 m. Evidencia de Cumplimiento de los Factores de seguridad estáticos Capacidad Portante, Deslizamiento, Volcamiento.
Fuente: Geocing SAS.

FORMULAS PARA EL CALCULO DE Ka

COULOMB:

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}$$

MAYNIE:

$$K_a = \frac{\cos^2 \phi'}{\cos \delta' \left(1 + \frac{\sin(\phi' + \delta') \sin(\phi - \beta)}{\cos \delta' \cos \phi'} \right)}$$

MULLER-BRESLAU:

$$K_a = \frac{\sin^2(\alpha + \phi')}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta') \left(1 + \frac{\sin(\phi' + \delta') \sin(\phi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta') \sin(\alpha + \beta)} \right)}$$

MONONOBE - OKABE:

$$K_a = \frac{(1 - \alpha) \sin(\alpha + \phi - \psi)}{\cos \psi \sin \alpha \sin(\alpha - \delta - \psi) \left(1 + \frac{\sin(\phi + \beta) \sin(\phi - \beta - \psi)}{\sin(\alpha - \beta) \sin(\alpha + \beta)} \right)}$$

$$\psi = \tan^{-1} \left(\frac{\alpha}{1 - \alpha} \right)$$

DIAGRAMA DE PRESIONES EN LA BASE

$$\sigma_{max/min} = \frac{\sum F_v}{B} \left(1 \pm \frac{\sigma_e}{B} \right)$$

Pae:	43.89
Paeh:	40.88
Paev:	15.97
Δpaeh:	0.72
Z:	1.18

Cheque al deslizamiento - situación Seudoestática

Mononobe - Okabe			
VALORES DE Ka			
φ'	α	β	δ'
32.0	90	0	18.67

Coulomb:	Ka =	0.307
Mononobe - Okabe:	Da =	2.251
Mononobe - Okabe:	Kae =	0.441

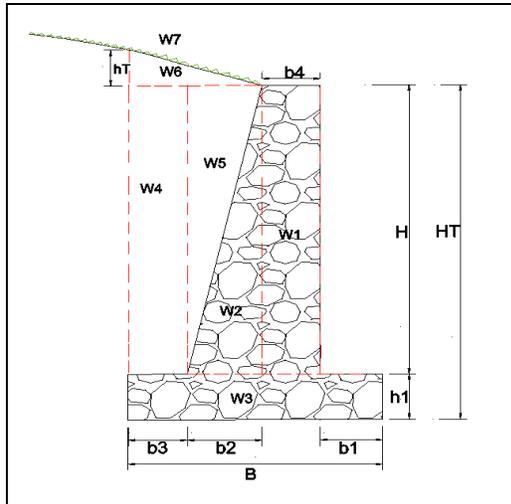
a _h (g)=	0.25	a _v (g)=	0.17
		ψ =	16.699

Verificación al Deslizamiento - Seudoestático	
FS Deslizamiento SE	1.59
Altura llave	No Requiere Llave

Verificación al Volcamiento - Seudoestático	
FS Volcamiento SE	3.75 Cumple

Ilustración 295 Dimensionamiento del Muro de gravedad H: 3.5 m. Evidencia de Cumplimiento de los Factores de seguridad dinámicos Deslizamiento y Volcamiento.
Fuente: Geocing SAS.

Tabla 158 Dimensiones tipificadas para los muros en gravedad



H _T (m)	2	2.5	3	3.5
h1 (m)	0.3	0.3	0.35	0.4
H (m)	1.7	2.2	2.65	3.1
B (m)	1	1.35	2.1	2.5
b1 (m)	0	0	0.6	0.5
b2 (m)	0.5	0.7	0.7	1
b3 (m)	0.5	0.65	0.8	1
b4 (m)	0.3	0.3	0.4	0.4

Fuente: Geocing SAS.

A continuación se presenta el presupuesto estimado para la implantación de las estructuras en tipo muros de gravedad

Como parte de las alternativas propuestas para estabilización, a continuación se presentan los diseños de las obras tipificadas como alternativa 2, la proyección de las obras de estabilización debe hacerse adecuándose a la topografía ascendente o descendente escalonada por terrazas del terreno, y una altura variable 2.5 m, 3.0 m y altura máxima de 5.0 m, con un nivel de suelo de fundación de 0.5 m. Para el diseño de los muros de contención típicos, se utilizaron los siguientes parámetros para la construcción del Diagrama de empujes lateral:

5. Diagrama de empujes triangular utilizando la metodología de Coulomb, con: $K_a = (1 - \text{Sen } \emptyset) / (1 + \text{Sen } \emptyset)$,

$$K_p = (1 + \text{Sen } \emptyset) / (1 - \text{Sen } \emptyset)$$

Peso unitario efectivo de $\gamma's = 1.90 \text{ Ton/m}^3$ (Relleno de material Seleccionado Art. 620 Invias compactado $\emptyset = 32^\circ$).

6. Con los siguientes valores de diseño geotécnico:

$$K_a = (1 - \text{Sen } 32^\circ) / (1 + \text{Sen } 32^\circ) = 0.31$$

$$K_p = (1 + \text{Sen } 32^\circ) / (1 - \text{Sen } 32^\circ) = 3.25$$

$$K_o = (1 - \text{Sen } 32^\circ) = 0.47$$

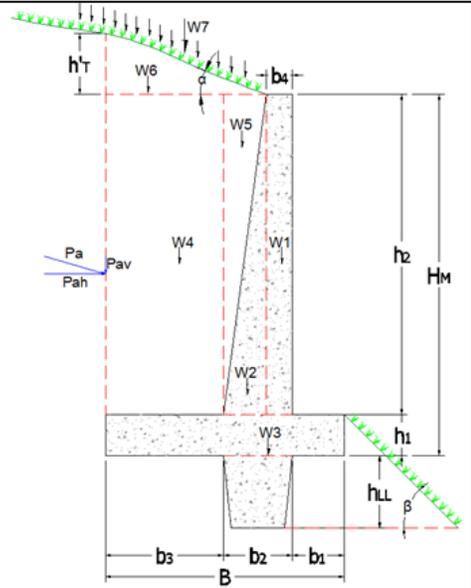
$$K_{ae} = 0.44$$

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

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 presentan a continuación. Con el fin de presentar las memorias de cálculo se adjuntan para el muro con altura de 3.5 m.

DATOS GENERALES		
Q (kN/m ²) =	10.0	Sobrecarga
γ_R (kN/m ³) =	19.0	Peso Unitario del suelo de relleno
ϕ_R =	32.0	Angulo de fricción interna del suelo de relleno
γ_1 (kN/m ³) =	19.0	Peso Unitario del material a contener
ϕ_1 =	32.0	Angulo de fricción interna del material a contener
γ (kN/m ³) =	18.00	Peso Unitario del estrato de fundación
ϕ =	28.00	Angulo de fricción interna del estrato de fundación
C (kN/m ²) =	7.00	Cohesión del estrato de fundación
α (°) =	15	Angulo del terreno delante del muro
β (°) =	0	Angulo del terreno detrás del muro
Ka_1 =	0.31	Ka_2 = 0.36
Kp_1 =	3.25	Kp_2 = 2.77
σ_{adm} (kN/m ²) =	290.76	Capacidad portante última
A, K_{ST} =	0.24	Aceleración pico efectiva
δ_1 (°) =	21.33	ángulo interacción suelo(relleno) - muro
δ_2 (°) =	18.67	ángulo interacción suelo (fundación)- muro

PREDIMENSIONAMIENTO		
H_T (m)	3.00	Altura Total del Muro
H_M (m)	2.60	Altura Efectiva Muro
h_1 (m)	0.40	Espesor de zarpa
h_2 (m)	2.60	Altura del vástago del Muro
B (m)	2.80	Ancho total de zarpa
b_1 (m)	1.00	Punta del Muro
b_2 (m)	0.30	Ancho del vástago del muro.
b_3 (m)	1.50	Talón del muro
b_4 (m)	0.30	Corona del muro
Pa (KN/m)	26.30	Empuje activo
Pav (KN/m)	9.57	Componente Vertical del empuje activo
Pah (KN/m)	24.50	Componente horizontal del empuje
h'_T (m)	0.40	Altura talud inclinado
h' (m)	0.53	Altura equivalente por sobrecarga aplicada



	NSR-10
FS Capacidad Portante (Mínimo)	3.00
FS _E Deslizamiento (Mínimo)	1.60
FS _{SE} Deslizamiento (Mínimo)	1.05
FS _E Volcamiento (Mínimo)	3.00
FS _{SE} Volcamiento (Mínimo)	2.00

Ilustración 296 Dimensionamiento del Muro en voladizo H: 3.0 m.
Fuente: Geocing SAS.

No.	ALTURA (m)	BASE (m)	AREA (m ²)	γ (kN/m ³)	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	1.15	21.5		Σ=Momento Estabilizante	281.8	
W2	2.60	0.00	0.00	24.00	0.00	1.80	0.0				
W3	0.40	2.80	1.12	24.00	26.88	1.40	37.6		Σ=Momento Inestabilizante	34.9	
W4	2.60	1.50	3.90	19.00	74.10	2.05	151.9				
W5	2.60	0.00	0.00	19.00	0.00	1.30	0.0		FS Volcamiento	8.07	
W6	0.40	1.50	0.30	19.00	5.73	2.30	13.2				
W7	0.53	1.50	0.79	19.00	15.00	2.05	30.8		Cumple		
				Pav	9.57	2.80	26.8				
Σ Momentos estabilizantes								281.8			
							Pah	24.50	1.00	24.52	
							Pvh	7.99	1.30	10.39	
Σ Momentos inestabilizantes									34.90		
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD (Deslizamiento)				Cálculo de Capacidad Portante				VERIFICACIÓN ESTABILIDAD INTERNA			
K ₁	0.39	ΣFv	150.00	γ ₂ (KN/m ³)		18.0	Σ=M _{Norte} KN-m	246.88	Esfuerzo Reacción (KN/m ²)		
K ₂	0.34	ΣFh	24.50	C ₂ (KN/m ²)		7.0	Σ=Fverticales	150.00	Max (punta)	Min (talón)	
FS al Deslizamiento			2.60	φ ₂ (°) Estrato de fundación		28.0	Xa (m)	1.65	25.34	81.80	
			Cumple	Df (m)		1.00	B/2 (m)	1.4	Capacidad Portante		
				β (°)		0.0	Excentricidad (m)	-0.25	FS Capacidad Portante		
				qL		18.00	B/6 (m)	0.47	Cumple		
Hlave +zarpa + Desplante			No requiere llave	NqL		14.72					
Hlave			0.00	oult (KN/m ²)		872.29					
				σadm (KN/m ²)		290.76					

Ilustración 297 Dimensionamiento del Muro en voladizo H: 3.0 m. Evidencia de Cumplimiento de los Factores de seguridad estáticos Capacidad Portante, Deslizamiento, Volcamiento.
Fuente: Geocing SAS.

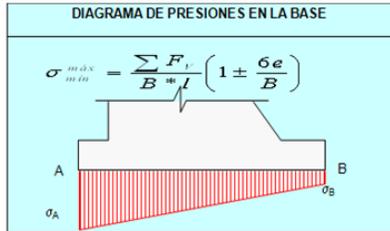
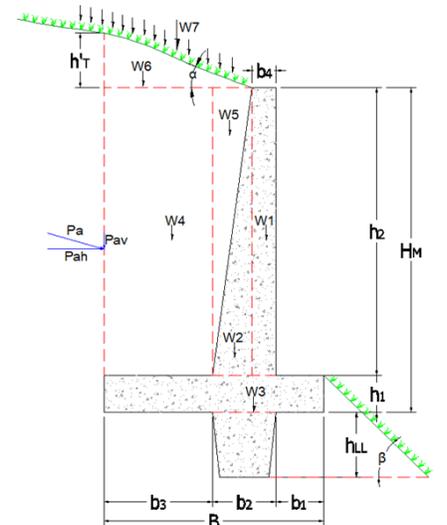
FORMULAS PARA EL CALCULO DE Ka		DIAGRAMA DE PRESIONES EN LA BASE																																																			
COULOMB: $K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}$																																																					
MAYNIE: $K_a = \frac{\cos^2 \phi'}{\cos \delta' \left(1 + \frac{\sin(\phi' + \delta') \sin(\phi' - \beta)}{\cos \delta' \sin(\alpha + \beta)} \right)^2}$																																																					
MULLER - BRESLAU: $K_a = \frac{\sin^2(\alpha + \phi')}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta') \left(1 + \frac{\sin(\phi' + \delta') \sin(\phi' - \beta)}{\sin(\alpha - \delta') \sin(\alpha + \beta)} \right)^2}$		<table border="1"> <tr> <td>Pae:</td> <td>54.84</td> </tr> <tr> <td>Paeh:</td> <td>51.08</td> </tr> <tr> <td>Paev:</td> <td>19.95</td> </tr> <tr> <td>Δpaeh:</td> <td>26.58</td> </tr> <tr> <td>Z:</td> <td>1.42</td> </tr> </table>		Pae:	54.84	Paeh:	51.08	Paev:	19.95	Δpaeh:	26.58	Z:	1.42																																								
Pae:	54.84																																																				
Paeh:	51.08																																																				
Paev:	19.95																																																				
Δpaeh:	26.58																																																				
Z:	1.42																																																				
MONONOBE - OKABE: $K_a = \frac{(1 - a) \sin(\alpha + \phi' - \psi)}{\cos \psi \sin \alpha \sin(\alpha - \delta' - \psi) \left(1 + \frac{\sin(\phi' + \delta') \sin(\phi' - \beta - \psi)}{\sin(\alpha - \delta') \sin(\alpha + \beta)} \right)^2}$		<table border="1"> <tr> <th colspan="5">Cheque al deslizamiento - situación Seudoestática</th> </tr> <tr> <th colspan="5">Mononobe - Okabe</th> </tr> <tr> <th colspan="5">VALORES DE Ka</th> </tr> <tr> <th>ψ</th> <th>α</th> <th>β</th> <th>δ'</th> <th></th> </tr> <tr> <td>32.0</td> <td>90</td> <td>15</td> <td>18.67</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Coulomb:</td> <td>Ka =</td> <td colspan="2">0.307</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Mononobe - Okabe:</td> <td>Da =</td> <td colspan="2">1.286</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Mononobe - Okabe:</td> <td>Kae =</td> <td colspan="2">0.763</td> </tr> <tr> <td colspan="2">a_n (g)=</td> <td>0.24</td> <td>a_v (g)=</td> <td>0.16</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">ψ' =</td> <td>15.945</td> </tr> </table>		Cheque al deslizamiento - situación Seudoestática					Mononobe - Okabe					VALORES DE Ka					ψ	α	β	δ'		32.0	90	15	18.67		Coulomb:		Ka =	0.307		Mononobe - Okabe:		Da =	1.286		Mononobe - Okabe:		Kae =	0.763		a _n (g)=		0.24	a _v (g)=	0.16			ψ' =		15.945
Cheque al deslizamiento - situación Seudoestática																																																					
Mononobe - Okabe																																																					
VALORES DE Ka																																																					
ψ	α	β	δ'																																																		
32.0	90	15	18.67																																																		
Coulomb:		Ka =	0.307																																																		
Mononobe - Okabe:		Da =	1.286																																																		
Mononobe - Okabe:		Kae =	0.763																																																		
a _n (g)=		0.24	a _v (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>1.25</td> </tr> <tr> <td>Altura llave</td> <td>No Requiere Llave</td> </tr> </table>		Verificación al Deslizamiento - Seudoestático		FS Deslizamiento SE	1.25	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>3.04 Cumple</td> </tr> </table>		Verificación al Volcamiento - Seudoestático		FS Volcamiento SE	3.04 Cumple																																								
Verificación al Deslizamiento - Seudoestático																																																					
FS Deslizamiento SE	1.25																																																				
Altura llave	No Requiere Llave																																																				
Verificación al Volcamiento - Seudoestático																																																					
FS Volcamiento SE	3.04 Cumple																																																				

Ilustración 298 Dimensionamiento del Muro de gravedad H: 3.0 m. Evidencia de Cumplimiento de los Factores de seguridad dinámicos Deslizamiento y Volcamiento.
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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

Tabla 159 Dimensiones de los muros típicos

	<table border="1"> <tr> <td>H_T (m)</td> <td>2.5</td> <td>3</td> <td>3.5</td> <td>4</td> <td>4.5</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>h_1 (m)</td> <td>0.4</td> <td>0.4</td> <td>0.4</td> <td>0.4</td> <td>0.4</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>H (m)</td> <td>2.1</td> <td>2.6</td> <td>3.1</td> <td>3.6</td> <td>4.1</td> <td>4.6</td> </tr> <tr> <td>B (m)</td> <td>1.8</td> <td>2.8</td> <td>1.8</td> <td>2.1</td> <td>2.5</td> <td>2.7</td> </tr> <tr> <td>b_1 (m)</td> <td>0.5</td> <td>1</td> <td>0.5</td> <td>0.5</td> <td>0.7</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>b_2 (m)</td> <td>0.3</td> <td>0.3</td> <td>0.3</td> <td>0.3</td> <td>0.3</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>b_3 (m)</td> <td>1</td> <td>1.5</td> <td>1</td> <td>1.3</td> <td>1.5</td> <td>1.9</td> </tr> <tr> <td>b_4 (m)</td> <td>0.3</td> <td>0.3</td> <td>0.3</td> <td>0.3</td> <td>0.3</td> <td>0.3</td> </tr> </table>	H_T (m)	2.5	3	3.5	4	4.5	5	h_1 (m)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	H (m)	2.1	2.6	3.1	3.6	4.1	4.6	B (m)	1.8	2.8	1.8	2.1	2.5	2.7	b_1 (m)	0.5	1	0.5	0.5	0.7	0.5	b_2 (m)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	b_3 (m)	1	1.5	1	1.3	1.5	1.9	b_4 (m)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
H_T (m)	2.5	3	3.5	4	4.5	5																																																			
h_1 (m)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4																																																			
H (m)	2.1	2.6	3.1	3.6	4.1	4.6																																																			
B (m)	1.8	2.8	1.8	2.1	2.5	2.7																																																			
b_1 (m)	0.5	1	0.5	0.5	0.7	0.5																																																			
b_2 (m)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3																																																			
b_3 (m)	1	1.5	1	1.3	1.5	1.9																																																			
b_4 (m)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3																																																			

Fuente: Geocing SAS.

Algunas construcciones dadas su localización no es posible realizar la implantación de las alternativas de medidas de mitigación, por lo cual se requiere la reubicación de las siguientes construcciones enlistadas a continuación:

Tabla 160 Construcciones que se deben reubicar

Barrio Las Brisas	
ID_SIG	Reubicación
C0161	SI
C1717	SI
C1858	SI
C1859	SI
C1860	SI

Fuente: Geocing SAS.

Con el fin de garantizar la estabilidad general del barrio Las brisas, a continuación se presentan los perfiles representativos con los cuales se analiza la estabilidad de la ladera con la implantación de las medidas de mitigación.

De acuerdo a los análisis realizados, se DEBE adecuar la Calle 5 entre carrera 1^{ra} y 6^{ta} así con en la vía de entrada la barrio Carrera 1 sur entre calles 4^{ta} y 5^{ta}, con una pendiente de ladera de 1V: 2H (26°) garantizando un adecuado sistema de colección y descole de aguas de infiltración y subsuperficiales.

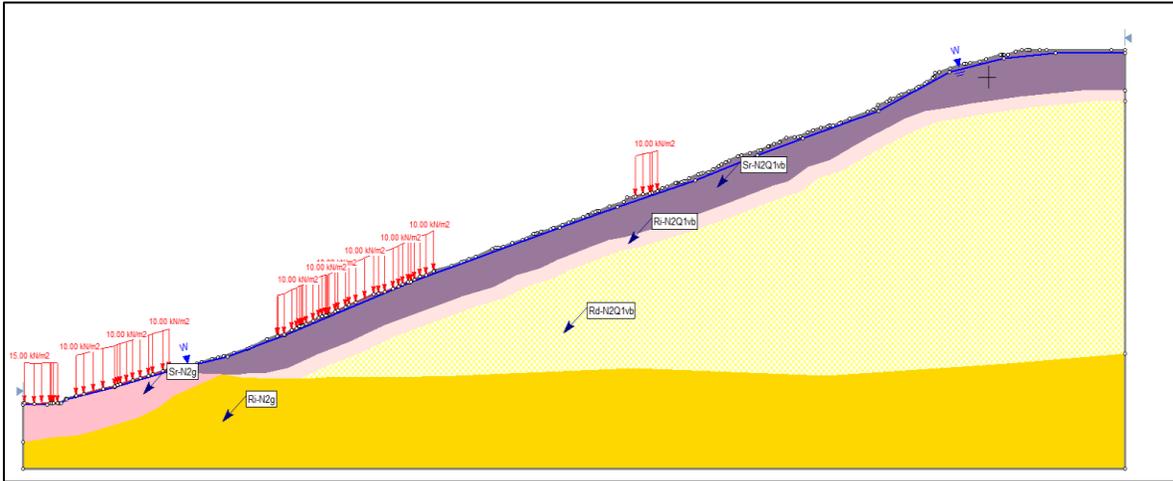


Ilustración 299 Vista del perfil 8 en condición actual
Fuente: Geocing SAS.

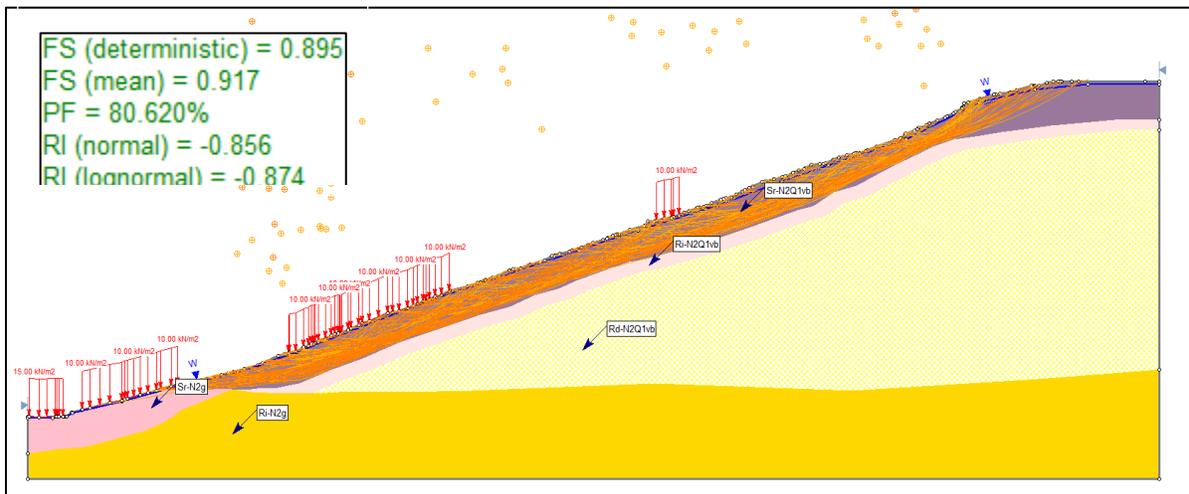


Ilustración 300 Vista del perfil 8 en condición crítica FS 0.895
Fuente: Geocing SAS.

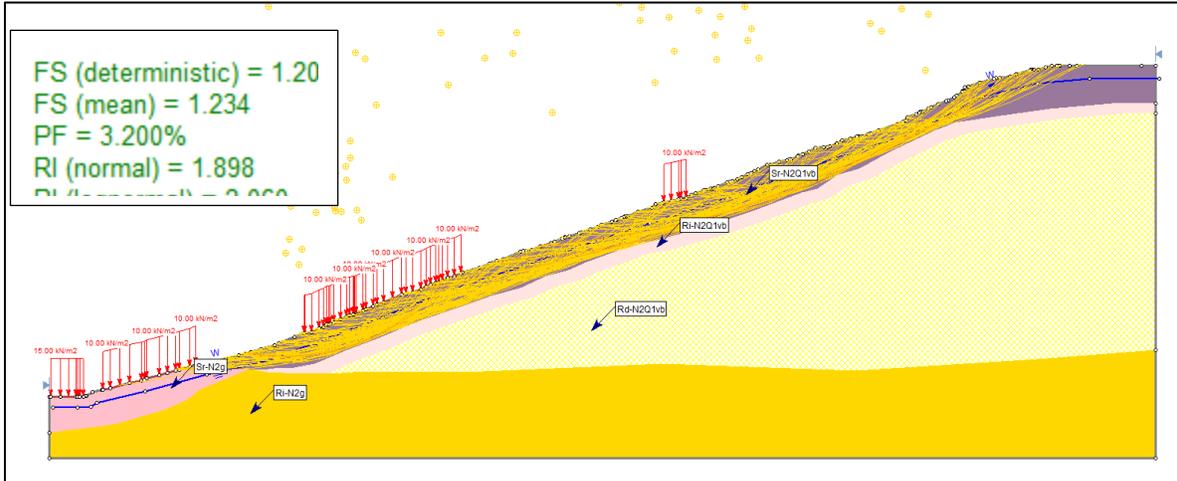


Ilustración 301 Vista del perfil 8 con obras de control de infiltración de aguas superficiales y de infiltración FS 1.209
Fuente: Geocing SAS.

Se presenta a continuación el compilado del presupuesto estimado para las obras propuestas en el Barrio Las Brisas, se indica que los soportes de los mismos se encuentran en el Anexo 8. Presupuesto.

Tabla 161 Presupuesto estimado para las obras en el- Barrio Las Brisas

SAN AGUSTÍN	ALTURA (m)	LONGITUD (m)	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
			Muro de Gravedad	Muro en Concreto
BARRIO LAS BRISAS				
Muro 1	3	80		\$ 279,000,000
Muro 2	3	22		\$ 95,000,000
Muro 3	3	17		\$ 107,000,000
Cunetas				\$ 110,000,000
Total Muros				\$ 591,000,000
Reubicación	5 Viviendas			\$ 967,000,000
TOTAL				\$ 1,558,000,000

Fuente: Geocing SAS.

15.1.3 Barrio Los Olivos

Otro sector afectado por los cortes realizados en zona de ladera, es el Barrio Los Olivos, que de igual forma ha generado inestabilidad local por el inadecuado manejo de este tipo de cortes para viviendas

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



Ilustración 302 Vista local de la categorización de Amenaza por movimiento en masa en el Barrio Los Olivos.
Fuente: Geocing SAS.

Como se logra identificar en el mapa de amenaza por movimientos en masa de manera general el barrio Los Olivos se categoriza con amenaza media, sin embargo en algunas zonas donde se han realizado corte para la construcción de las viviendas lo cual ha generado inestabilidad local en los taludes de corte, además del inadecuado manejo de aguas de infiltración y subsuperficiales, razón por la cual se recomienda la implantación de un sistema de captación de aguas de infiltración y subsuperficiales así como un estructura de estabilización en cada uno de los cortes; a partir de la intersección de la Carrera 12 entre calles Calle 7ta se debe realizar la adaptación de las vía de acceso al barrio, ya que debido al inadecuado manejo de aguas, esta se ve afecta por erosión laminar tipo Surcos.

Además, como se evidencia en la ilustración 288, se presentan taludes verticales que se ve afectado por la construcción de viviendas en las crestas, sin ningún control del desprendimiento de material erosionado.

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



Ilustración 303 Vista de taludes expuestos inestables en el Barrio Los Olivos
Fuente: Geocing SAS.

Dado que actualmente la vía no tiene un manejo de las aguas de infiltración de sebo
 Instalar una cuneta perimetral- longitudinal a la vía.

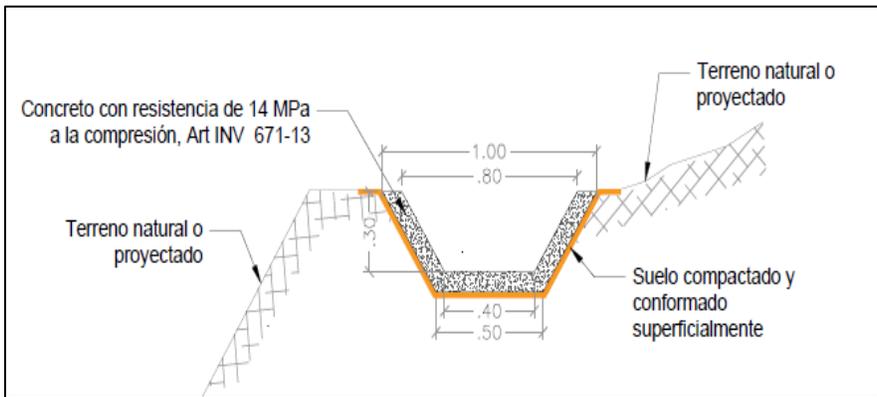


Ilustración 304 Cuneta longitud de la vía.
Fuente: Geocing SAS.

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.

En los taludes naturales donde la altura sea mayor a 1.0 m se deben perfilar con un ángulo de inclinación de 45 grados 1 V: 1 H. Se debe realizar cortes en una pendiente

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

máxima de 1V: 0.3H (72°). Se deben implementar zonas de aislamiento de taludes naturales con inclinación de la cara mayor a 45°.

Para su correspondiente ocupación y urbanización deberán tener un manejo diferenciado en su regulación urbanística, en comparación con otras áreas del territorio con amenaza baja o sin amenazas. Razón por la cual, se recomienda que para el desarrollo de nuevas actividades e infraestructuras se deberá contar con estudios técnicos que le permitan al casco urbano definir el costo de las inversiones requeridas para habilitar dicho suelo.

Se debe manejar un aislamiento tanto en la corona como en el pie del talud, ya que esta zona generalmente corresponde a la franja mínima de terreno medida horizontalmente desde el pie o corona del talud hasta el sitio donde no se permiten construcciones. En todos los casos el aislamiento mínimo de la corona y el pie del talud debe ser superior a 15 metros.

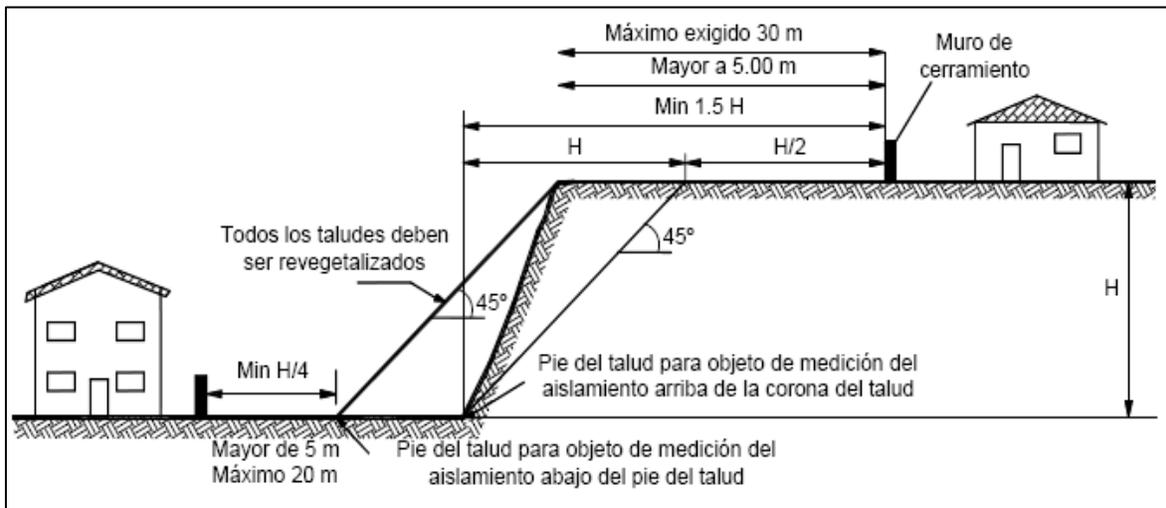


Ilustración 305. Aislamientos mínimos para el pie de taludes con pendiente superior a 45°.
Fuente: Geocing SAS.

No se debe construir proyectos urbanísticos de viviendas en las áreas categorizadas como amenaza alta y las nuevas construcciones que se proyecten y se encuentran en zonas categorizadas con amenaza media, deben presentar estudios de suelos con base a la norma sismo resistente NSR-10.

Debido a la problemática de la construcción en zona de laderas y un inadecuado corte de los taludes, se genera inestabilidad local evidenciado en la Calle 5 entre carrera 1^{ra} y 6^{ta} así con en la vía de entrada la barrio Carrera 1 sur entre calles 4^{ta} y 5^{ta}, razón por la cual continuación se presentan los diseños de las obras tipificadas, la proyección de las obras de estabilización debe hacerse adecuándose a la topografía ascendente o

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

descendente escalonada por terrazas del terreno, y una altura variable 2.0 m, 2.5 m, 3.0 m y altura máxima de 3.5 m, con un nivel de suelo de fundación de 0.5 m. Para el diseño de los muros de contención típicos, se utilizaron los siguientes parámetros para la construcción del Diagrama de empujes lateral:

Diagrama de empujes triangular utilizando la metodología de Coulomb, con:

$$K_a = (1 - \text{Sen } \emptyset) / (1 + \text{Sen } \emptyset),$$

$$K_p = (1 + \text{Sen } \emptyset) / (1 - \text{Sen } \emptyset).$$

Peso unitario efectivo de $\gamma'_s = 1.90 \text{ Ton/m}^3$ (Relleno de material Seleccionado Art. 620 Invias compactado $\emptyset = 32^\circ$).

Con los siguientes valores de diseño geotécnico:

$$K_a = (1 - \text{Sen } 32^\circ) / (1 + \text{Sen } 32^\circ) = 0.31$$

$$K_p = (1 + \text{Sen } 32^\circ) / (1 - \text{Sen } 32^\circ) = 3.25$$

$$K_o = (1 - \text{Sen } 32^\circ) = 0.47$$

$$K_{ae} = 0.44$$

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 presentan a continuación. Con el fin de presentar las memorias de cálculo se adjuntan para el muro con altura de 3.5 m.

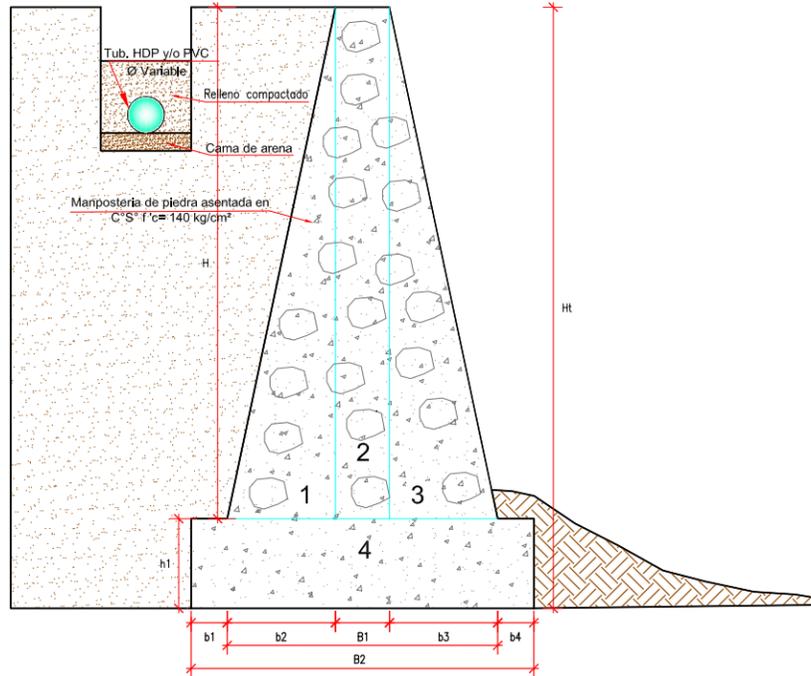


Ilustración 306 Perfil típico de un muro de contención en gravedad.
Fuente: Geocing SAS.

Tabla 162 Factores de seguridad mínimos exigidos en la NSR-10.

Condición	Construcción	Estático	Sismo	Seudo estático
Deslizamiento	1.60	1.60	Diseño	1.05
Volcamiento: el que resulte más crítico de Momento Resistente/ Momento Actuante Excentricidad en el sentido del momento (e/B)	≥ 3.00 $\leq 1/6$	≥ 3.00 $\leq 1/6$	Diseño Diseño	≥ 2.00 $\leq 1/4$
Capacidad portante	Iguales a los de la Tabla H.4.1			
Estabilidad Intrínseca materiales térreos (reforzados o no)	Iguales a los de la Tabla H.2.1			
Estabilidad Intrínseca materiales manufacturados	Según material (Concreto-Título C; Madera-Título G; etc.)			
Estabilidad general del sistema:				
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
Laderas adyacentes (Zona de influencia > 2.5H)	1.20	1.50	Diseño	1.05

Fuente: AIS (2010)



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

DATOS GENERALES	
Q (kN/m ²) =	0.0 Sobrecarga
γ _e (kN/m ³) =	19.0 Peso Unitario del suelo de relleno
φ _e =	32.0 Angulo de fricción interna del suelo de relleno
γ (kN/m ³) =	19.00 Peso Unitario del estrato de fundación
φ =	28.00 Angulo de fricción interna del estrato de fundación
C (kN/m ²) =	7.00 Cohesión del estrato de fundación
α (°) =	0 Angulo del terreno delante del muro
β (°) =	0 Angulo del terreno detrás del muro
Ka ₁ =	0.36
Ka ₂ =	0.36
Kp ₁ =	2.77
Kp ₂ =	2.77
σ _{adm} (kN/m ²) =	212.78 Capacidad portante última
A _e K _{ST} =	0.25 Aceleración pico efectiva
δ ₁ (°) =	21.33 ángulo interacción suelo (relleno) - muro
δ ₂ (°) =	18.67 ángulo interacción suelo (fundación) - muro

PREDIMENSIONAMIENTO	
H _T (m)	3.50 Altura Total del Muro
h ₁ (m)	0.55 Espesor de zarpa
H (m)	2.95 Altura del vástago del Muro
B (m)	2.00 Ancho total de zarpa
b ₁ (m)	0.00 Punta del Muro
b ₂ (m)	1.00 Ancho del vástago del muro.
b ₃ (m)	1.00 Talón del muro
b ₄ (m)	0.40 Corona del muro
Pa (KN/m)	43.12 Empuje activo
Pav (KN/m)	15.69 Componente Vertical del empuje activo
Pah (KN/m)	40.17 Componente horizontal del empuje
h _T (m)	0.00 Altura talud inclinado
h' (m)	0.00 Altura equivalente por sobrecarga aplicada

	NSR-10		
FS Capacidad Portante (Mínimo)	3.00	4.98	Cumple
FS _d Deslizamiento (Mínimo)	1.60	1.62	Cumple
FS _{de} Deslizamiento (Mínimo)	1.05	1.59	Cumple
FS _v Volcamiento (Mínimo)	3.00	3.86	Cumple
FS _{de} Volcamiento (Mínimo)	2.00	3.75	Cumple

Ilustración 307 Dimensionamiento del Muro de gravedad H: 3.5 m.
Fuente: Geocing SAS.

No.	ALTURA (m)	BASE (m)	AREA (m ²)	γ (kN/m ³)	PESO (KN/m)	Brazo (m)	M estabilizante KN-m	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD (Volcamiento)			
W1	2.95	0.40	1.18	24.00	28.32	0.20	5.7	Σ=Momento Estabilizante	180.8		
W2	2.95	0.60	0.89	24.00	21.24	0.93	19.8				
W3	0.55	2.00	1.10	24.00	26.40	1.00	26.4				
W4	2.95	1.00	2.95	19.00	56.05	1.50	84.1				
W5	2.95	0.60	0.89	19.00	16.82	0.80	13.5				
W6	0.00	1.60	0.00	19.00	0.00	1.47	0.0				
W7	0.00	1.60	0.00	19.00	0.00	1.20	0.0				
				Pav	15.69	2.00	31.4	Σ=Momento Inestabilizante	46.9		
Σ Momentos estabilizantes							180.8	FS Volcamiento	3.86		
							Pah	40.17	1.17	46.86	
							Pvh	0.00	1.75	0.00	
Σ Momentos inestabilizantes									46.86		
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD (Deslizamiento)				Cálculo de Capacidad Portante				VERIFICACIÓN ESTABILIDAD INTERNA			
K ₁ =	0.39	ΣFv	164.51	γ ₂ (KN/m ³)	19.0	Σ=M _{ext} KN-m	133.93	Esfuerzo Reacción (KN/m ²)			
K ₂ =	0.34	ΣFh	40.17	C ₂ (KN/m ²)	7.0	Σ=Fverticales	164.51	Max (punta)	128.13		
FS al Deslizamiento			1.62	φ ₂ (°) Estrato de fundación	28.0	B/2 (m)	1	Min (talón)	36.38		
			Cumple	Df (m)	0.50	Excentricidad (m)	0.19	Capacidad Portante			
				β (°)	0.0	B/6 (m)	0.33	FS Capacidad Portante	4.98		
Hllave +zarpa + Desplante		No requiere llave		qL	9.50	FS Excentricidad	Cumple	Cumple			
Hllave		0.00		NqL	14.72						
				out (KN/m ²)	638.33						
				σ _{adm} (KN/m ²)	212.78						

Ilustración 308 Dimensionamiento del Muro de gravedad H: 3.5 m. Evidencia de Cumplimiento de los Factores de seguridad estáticos Capacidad Portante, Deslizamiento, Volcamiento.
Fuente: Geocing SAS.

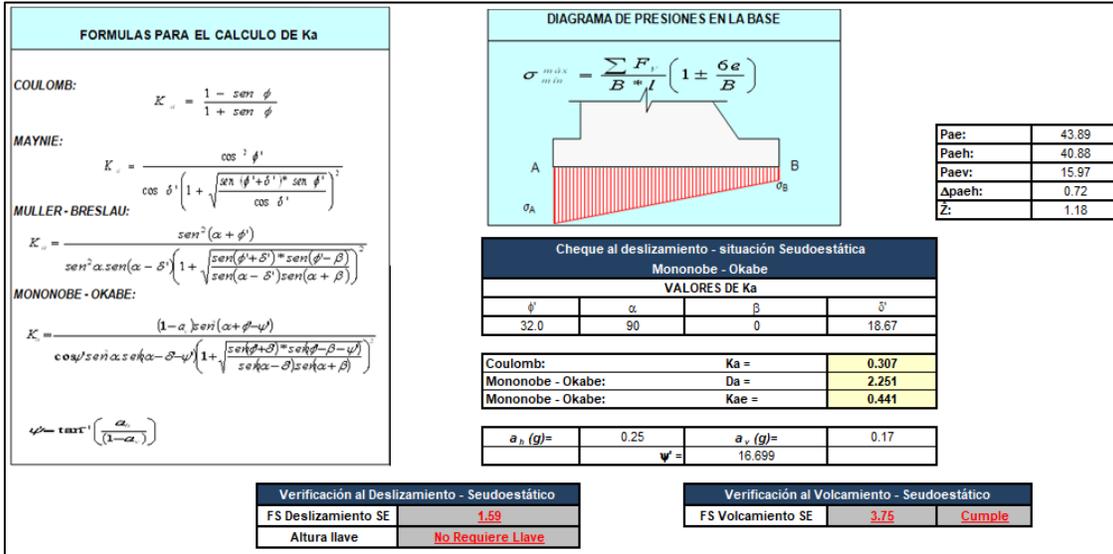
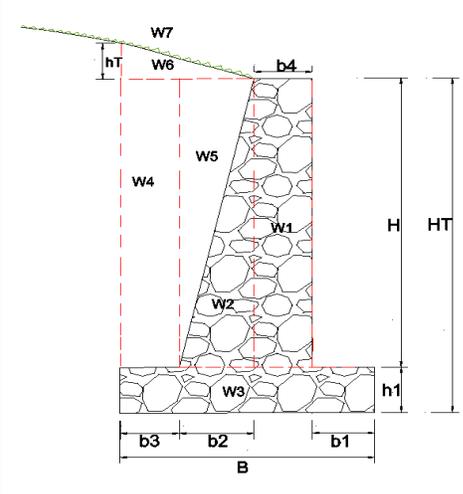


Ilustración 309 Dimensionamiento del Muro de gravedad H: 3.5 m. Evidencia de Cumplimiento de los Factores de seguridad dinámicos Deslizamiento y Volcamiento.
Fuente: Geocing SAS.

Tabla 163 Dimensiones de los muros típicos

	H _T (m)	2	2.5	3	3.5
	h1 (m)	0.3	0.3	0.35	0.4
	H (m)	1.7	2.2	2.65	3.1
	B (m)	1	1.35	2.1	2.5
	b1 (m)	0	0	0.6	0.5
	b2 (m)	0.5	0.7	0.7	1
	b3 (m)	0.5	0.65	0.8	1
	b4 (m)	0.3	0.3	0.4	0.4

Fuente: Geocing SAS.

A continuación se presenta el presupuesto estimado para la implantación de las estructuras en tipo muros de gravedad.

Con el fin de garantizar la estabilidad general del barrio Los Olivos, a continuación se presentan los perfiles representativos con los cuales se analiza la estabilidad de la ladera con la implantación de las medidas de mitigación

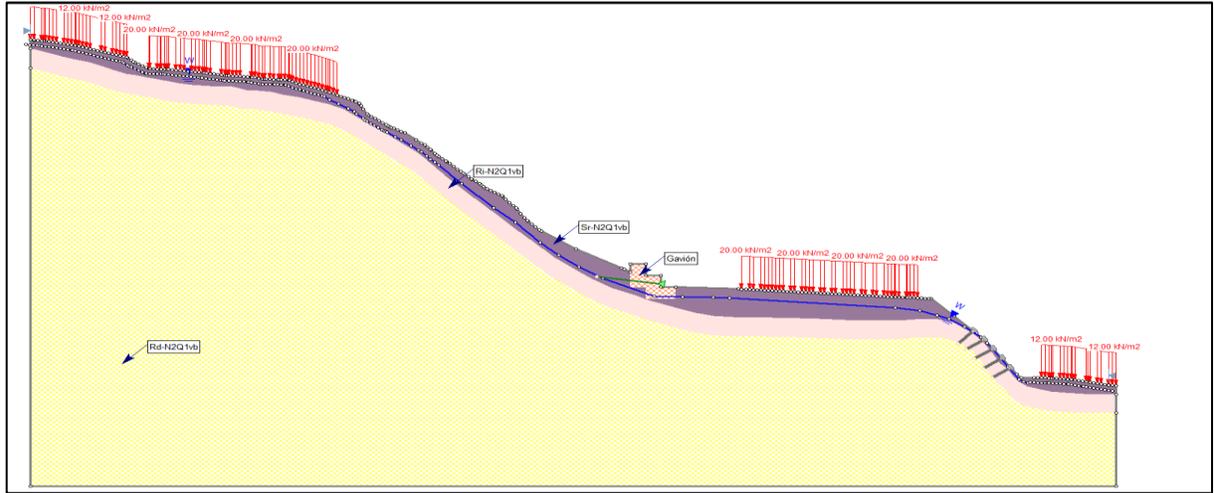


Ilustración 312 Vista del perfil 3 con obras de mitigación
Fuente: Geocing SAS.

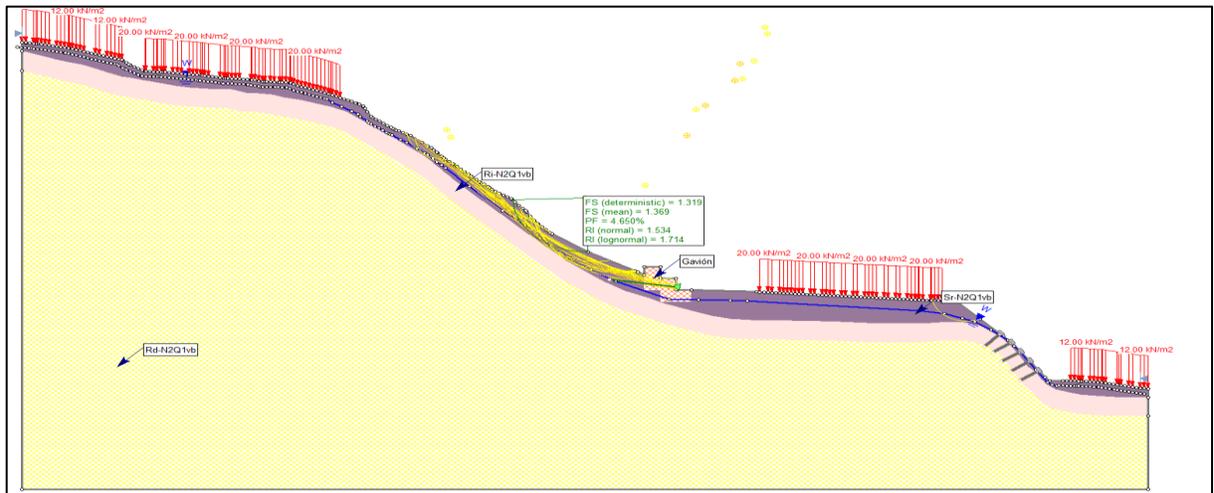


Ilustración 313 Vista del perfil 3 con medidas de mitigación FS 1.3
Fuente: Geocing SAS.

De acuerdo a los análisis realizados, de manera inicial se DEBE adecuar la Calle 5 entre carrera 1^{ra} y 6^{ta} así con en la vía de entrada la barrio Carrera 1 sur entre calles 4^{ta} y 5^{ta}, con una pendiente de ladera de 1V: 2H (26°) garantizando un adecuado sistema de colección y descole de aguas de infiltración y subsuperficiales.

En razón que la problemática que se presenta es control de erosión y como consecuencia de la misma se presentan desprendimientos de material se propone la estabilización del talud con Malla para el control de la erosión / revegetación TECCO® GREEN G65/3 La malla TECCO® GREEN G65/3 para el control de la erosión / revegetación es un compuesto integrado por la bien conocida malla de acero de alta resistencia tipo TECCO® G65/3 y una capa tridimensional de monofilamentos de

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

polipropileno. La combinación de estas dos mallas ofrece resultados únicos, en una geo-manta que es muy simple y rápida de instalar que ofrece una base óptima para la revegetación.

El sistema TECCO® resulta adecuado para estabilizar taludes de suelos, sedimentos y rocas. La razón principal es que después de limpiar, nivelar y perfilar la superficie, la malla de alambre de acero TECCO® se puede pretensar sobre el mismo talud con una fuerza definida mediante la instalación de anclajes para suelo o para roca junto con placas de fijación. En pocas palabras, la malla se adapta a la topografía y de esa forma evita los deslizamientos y las deformaciones. La malla TECCO® de alambre de acero se fija mediante anclajes para suelo o para roca sujetos en la zona estable del talud. Debido a que la malla se adapta perfectamente a la superficie del talud como resultado del pretensado, se evita el movimiento de masas de suelo y de fragmentos de roca. En otras palabras, la necesidad de tener que vaciar las bolsas de material acumulado, lo cual es usual en las redes convencionales de alambre, es cosa del pasado. Los anclajes principales sujetan firmemente la malla de alambre de acero. Sólo se necesitarán anclajes adicionales cortos donde la malla deba ser adosada tanto como sea posible sobre superficies irregulares o cerca de los extremos. Para satisfacer condiciones topográficas o estáticas especiales se pueden colocar cables perimetrales tensados sujetos a anclajes laterales.

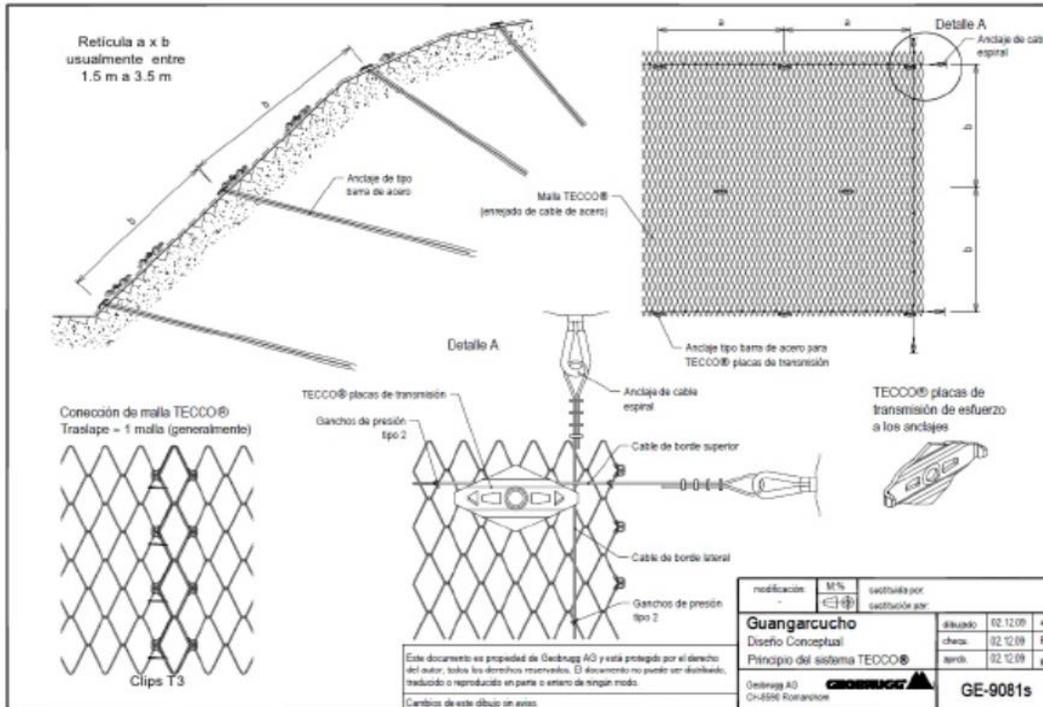


Ilustración 314 Vista de los detalles de la implementación de la malla TECCO.
Fuente: Geobrugg



Ilustración 315 Vista implantación de la malla para estabilización y malla control de erosión.
Fuente: Geocing SAS.

Como se logra evidenciar en la Ilustración 313, se requiere para garantizar la estabilidad del talud en el detrás de la viviendas la implantación de una estructura flexible, tipo muro en Gavión con altura de 2.0 m, hasta encontrar piso competente colocando geotextil tejido para evitar la filtración de material fino en el gavión.

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

El dimensionamiento de la estructura cumple con los Factores de Seguridad de acuerdo con el NSR- 10, 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. Con base en el diseño a continuación se presenta el estimado del presupuesto para esta obra.

DISEÑO DE MUROS EN GAVIONES

PARAMETROS DEL TERRENO

Coefficiente de Presión Activa (K_a)=	0.361	
Densidad del terreno (γ_s)=	1.960	T/m ³
Altura libre de diseño (H)=	2.00	m
Sobre carga (w)=	0.00	T/m ²
Altura (Sobre carga H')=	0.00	m

Densidad de la piedra (γ_p)=	2.00	T/m ³
Densidad del Gavión 80% (γ_g)=	1.6	T/m ³
Numero de Gaviones:	3	

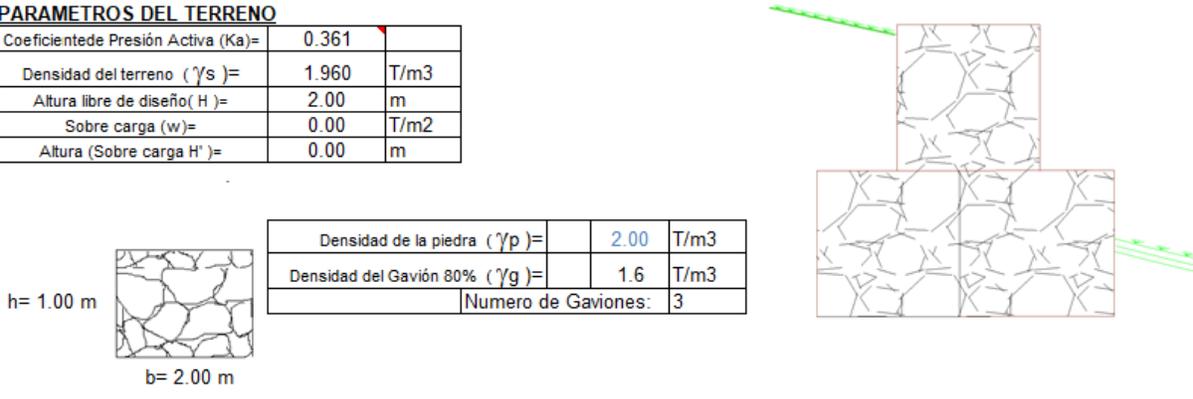


Ilustración 316 Pre dimensionamiento del Muro en Voladizo de H: 2.0 m.
Fuente: Geocing SAS.

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

DISTRIBUCION DE PRESIONES

$P = K_a \cdot \gamma_s \cdot H = 1.415 \text{ t/m/m}$
 $P' = K_a \cdot \gamma_s \cdot H' = 0.00 \text{ t/m/m}$

CALCULO DE EMPUJE ACTIVO

$E_{pt} = H(P/2 + P') = 1.415 \text{ t/m}$
 $\text{Brazo} = H^2(P/2 + P_6) / E_{pt} = 0.67 \text{ m}$

FUERZAS RESISTENTES:

ELEMENTO	FUERZA (T/m)	BRAZO (m)	MOMENTO (T*m/m)
Gaviones	10.176	2.000	20.352
Cuñas de Relleno	2.058	4.500	9.261
$\Sigma F_{vo} =$	12.234	$\Sigma M_{vo} =$	29.613

FUERZAS ACTUANTES:

$\Sigma F_{\gamma} = (E_p - E_a) = 1.415 \text{ t/m}$

MOMENTO POR VOLCAMIENTO
 $\Sigma M_{\gamma} = E_{pt} \cdot \text{brazo} = 0.94 \text{ T}^2/\text{m}$

ACTOR DE SEGURIDAD A VOLCAMIENTO: caso de relleno en un solo lado

$\frac{\Sigma M_{\gamma}}{\Sigma M_{vc}} = 31.39 \geq 3.00 \quad \text{OK}$

ACTOR DE SEGURIDAD A DESLIZAMIENTO: caso de relleno en un solo lado

$F = f \cdot \Sigma F_v = 8.56$
 $f = 0.7$
 $\beta = F / \Sigma F_h = 6.05 \geq 1.60 \quad \text{OK}$

POSICION DE LA RESULTANTE:

PUNTO DE APLICACIÓN DE LA NORMAL
 $x = \frac{\Sigma M_{vo}}{\Sigma F_{vo}} = \frac{29.613 - 0.943}{12.234} = 2.34 \text{ m}$

CALCULO DE EXENTRIDAD
 $e = (L/2) - x = 1.000 - 2.34 = -1.34 < e_{max} = (L/6) = 0.33 \quad \text{OK}$

Ilustración 317 Pre dimensionamiento del Muro en Voladizo de H: 2.0 m. Evidencia de Cumplimiento a Capacidad Portante, Deslizamiento, Volcamiento dinámico y estático. Fuente: Geocing SAS.

Se debe conformar el muro en gavión con Malla Triple Torsión; la estructura debe tener como mínimo una altura de 2.0 m. Se debe garantizar la colocación de un geodrén en el tras dos del muro. Se presenta a continuación la localización general en planta de las

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

obras de mitigación estructurales para el barrio los Olivos. En razón a la situación como alternativa definitiva se DEBE reubicar las siguientes construcciones:

Tabla 164 Construcciones a reubicar en el Barrio Los Olivos

Barrio Los Olivos	
ID_SIG	Reubicación
C1894	SI
C1895	SI
C1896	SI
C1905	SI

Fuente: Geocing SAS.

Se presenta a continuación el compilado del presupuesto estimado para las obras propuestas en el Barrio Los Olivos, se indica que los soportes de los mismos se encuentran en el Anexo 8. Presupuesto.

Tabla 165 Presupuesto estimado para las obras en el- Barrio Los Olivos

SAN AGUSTÍN	ALTURA (m)	LONGITUD (m)	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
			Muro de Gravedad	Muro en Concreto
BARRIO LOS OLIVOS				
Gavion 1	2.5	10		\$ 16,000,000
Gavion 2	3	18		\$ 60,000,000
Malla TECCO				\$ 415,000,000
Reubicación	4 Viviendas			\$ 890,000,000
TOTAL				\$ 1,381,000,000

Fuente: Geocing SAS.

15.1.4 Barrio Konrad

La formación Vulcanitas básicas está conformada por una serie de rocas efusivas de composición basáltica, con presencia de material piroclástico y lavas que afloran en diferentes sitios y que son caracterizadas como productos de erupciones de tipo estromboliano, tales como depósitos de piroclastos (cenizas volcánicas, tobas, bombas entre otros). La meteorización en las cenizas volcánicas cambia los sólidos densos en materiales suaves y porosos cuyas superficies y partículas pequeñas, con frecuencia, difieren notoriamente de la composición química y la estructura de los minerales originales; cuando están expuestas, los estados químicos se vuelven inestables por las nuevas condiciones químicas: exposición al agua, oxígeno, dióxido de carbono y

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

compuestos orgánicos. La reacción principal que provoca la descomposición de los minerales, es la fuerte tendencia a disolverse en agua.

Lo anteriormente descrito, se presenta en forma evidente en el Barrio Konrad Preuss, en el cual se están adelantando cortes y excavaciones sin protección alguna dejando expuestos los taludes al intemperismo y a las filtraciones de agua; situación que categoriza esta área como amenaza alta; aclarando que, aunque la Planta de Tratamiento de agua Potable se encuentra como parte de este barrio, la misma No se ve afectada por algún tipo de inestabilidad superficial. A continuación se evidencia la categorización de la amenaza en el barrio:



Ilustración 318 Vista local de la categorización de Amenaza por movimiento en masa en el Barrio Konrad Preuss
Fuente: Geocing SAS.

De acuerdo a lo mencionado toda excavación no debe estar expuesta un tiempo mayor a 2 meses, dado que, como se evidencia actualmente los materiales constituyentes son altamente susceptibles a ser afectados por erosión hídrica, situación evidenciable en las ilustraciones a continuación:

Se resalta que hacia la parte sur de casco urbano, se localiza la Planta de Tratamiento de agua Residuales adyacente al Cementerio del Carmen y no se ve afectada por algún tipo de movimiento en masa, sin embargo dada la importancia de esta estructura se deben realizar un Estudio de estabilidad de Taludes con el fin de verificar y si aplica mitigar la inestabilidad puntual.

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



Ilustración 319 Vista local de la categorización de Amenaza por movimiento en masa en el predio de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.
Fuente: Geocing SAS.

Las zonas de amenaza media (áreas amarillas) de manera general, 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.

Además las zonas adyacentes a los márgenes de la quebrada Las Moyas, La Alborada, El Batán y el río Naranjos, ya que por la topografía abrupta genera grandes escarpes y puntos de erosión local haciendo estos puntos susceptibles a generar movimientos en masa.

15.1.5 Barrio San José

El afloramiento de la formación Vulcanitas básicas está siendo afectado por la disposición del material residual, sobre el cual están construidas viviendas que están siendo afectadas además por pendientes medias- menos de 30°, donde es posible la ocurrencia de movimientos en masa, cuando se presentan precipitaciones que elevan los niveles freáticos y en condiciones sísmicas. En razón a esta situación como alternativa de solución definitiva se DEBE reubicar las siguientes construcciones:

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

Tabla 166 Construcciones a reubicar en el Barrio San José

Barrio San José	
ID_SIG	Reubicación
C2570	SI
C2934	SI
C2935	SI
C2936	SI

Fuente: Geocing SAS.

Se presenta a continuación el compilado del presupuesto estimado para las obras propuestas en el Barrio San José, se indica que los soportes de los mismos se encuentran en el Anexo 8. Presupuesto.

Tabla 167 Presupuesto estimado para las obras en el- Barrio San José

BARRIO SAN JOSÉ		
Reubicación	4 Viviendas	\$ 1,200,000,000

Fuente: Geocing SAS.

• **Barrio Nueva Alianza**

Además las zonas adyacentes a los márgenes de la quebrada Las Moyas, La Alborada, El Batán y el río Naranjos, ya que por la topografía abrupta genera grandes escarpes y puntos de erosión local haciendo estos puntos susceptibles a generar movimientos en masa. En el Barrio Nueva Alianza en el costado del margen de la Quebrada Las Moyas se encuentran varias viviendas categorizadas en amenaza alta, dado que se encuentran ubicadas a media ladera, como se puede ver a continuación, las viviendas que mayor riesgo presentan actualmente se DEBEN reubicar, en razón que cualquier medida de mitigación que se implante no garantiza la estabilidad de ladera, y mucho menos la afectación ante la ocurrencia de un movimiento en masa.



Ilustración 320 Vista local de la categorización de Amenaza por movimiento en masa en el Barrio Nueva Alianza.

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 168 Construcciones que se DEBEN reubicar en el Barrio Nueva Alianza

Barrio Nueva Alianza	
ID_SIG	Reubicación
C0743	SI
C0759	SI
C0760	SI
C0761	SI
C0762	SI
C0763	SI
C0764	SI
C0765	SI
C0766	SI
C0767	SI
C0768	SI
C0769	SI
C0770	SI
C0771	SI
C0772	SI
C0773	SI
C0774	SI

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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

Se presenta a continuación el compilado del presupuesto estimado para las obras propuestas en el Barrio Nueva Alianza, se indica que los soportes de los mismos se encuentran en el Anexo 8. Presupuesto.

Tabla 169 Presupuesto estimado para las obras en el- Barrio Nueva Alianza

BARRIO NUEVA ALIANZA		
Reubicación	17 Viviendas	\$ 2,500,000,000

Fuente: Geocing SAS.

• **Barrio Rodrigo Lara Bonilla**

Además las zonas adyacentes a los márgenes de la quebrada Las Moyas, La Alborada, El Batán y el río Naranjos, ya que por la topografía abrupta genera grandes escarpes y puntos de erosión local haciendo estos puntos susceptibles a generar movimientos en masa. En el costado del margen de la Quebrada Las Moyas se encuentran varias viviendas categorizadas en amenaza alta, dado que se encuentran ubicadas a media ladera, como se puede ver a continuación, las viviendas que mayor riesgo presentan actualmente se DEBEN reubicar, en razón que cualquier medida de mitigación que se implante no garantiza la estabilidad de ladera, y mucho menos la afectación ante la ocurrencia de un movimiento en masa.

Tabla 170 Construcciones que se DEBEN reubicar en el Barrio Rodrigo Lara Bonilla

Barrio Rodrigo Lara Bonilla	
ID_SIG	Reubicación
C0569	SI
C0576	SI
C0577	SI
C0578	SI
C0579	SI
C0583	SI
C0566	SI
C0567	SI
C0568	SI
C0569	SI
C0939	SI
C0940	SI
C0941	SI

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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

Se presenta a continuación el compilado del presupuesto estimado para las obras propuestas en el Barrio Rodrigo Lara Bonilla, se indica que los soportes de los mismos se encuentran en el Anexo 8. Presupuesto.

BARRIO Rodrigo Lara Bonilla		
Reubicación	17 Viviendas	\$ 2,500,000,000

Tabla 171 Presupuesto estimado para las obras en el- Barrio Rodrigo Lara Bonilla
Fuente: Geocing SAS.

15.2 INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL

15.2.1 Medidas estructurales

De acuerdo a los resultados del análisis de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo ante la ocurrencia de eventos de inundación en el casco urbano de San Agustín se identificaron 8 puntos de interés asociados a la amenaza alta por eventos de este tipo, esto debido a que las quebradas se encuentran encañonadas sin presentar valles de inundación a ninguno de los costados lo cual evita un rebose lateral que genere afectaciones mayores, por lo que los puntos que presentan afectación se encuentran asociados a la ubicación de estos elementos expuestos respecto a la quebrada Las Moyas y la intervención antrópica que genero afectaciones en el vaso del drenaje; por lo anterior se propone la construcción de medidas estructurales que mitiguen la afectación de una inundación en el casco urbano.

En la Ilustración 321 se presentan los sectores a los cuales se deben realizar una intervención con el fin de mitigar el riesgo que presentan.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

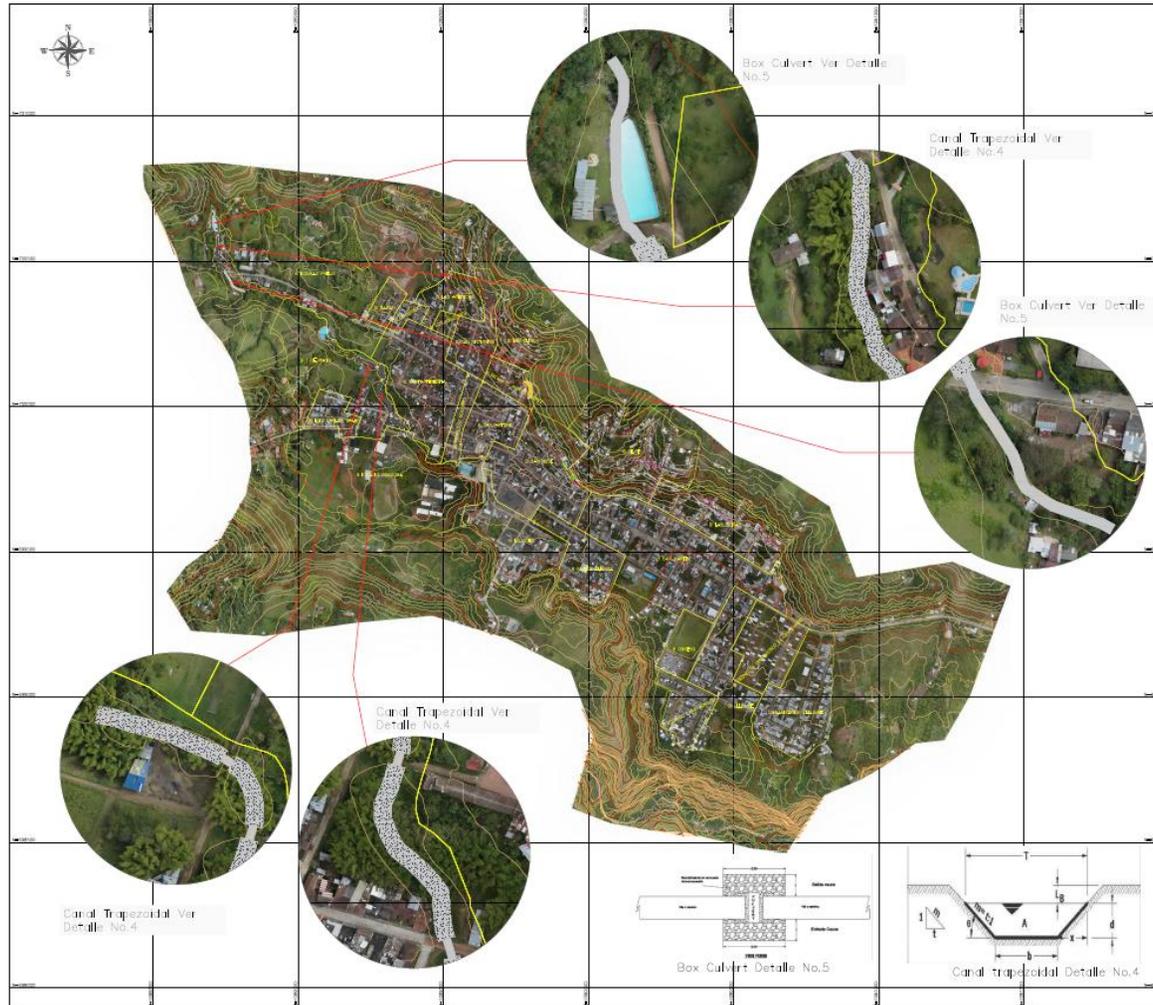


Ilustración 321. Sectores a intervenir por amenaza de Inundación.
Fuente: Geocing SAS.

Dirección de correo: Calle 120 No. 49-44
Teléfono (1) 7046969 / (1) 7458541
Bogotá D.C.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

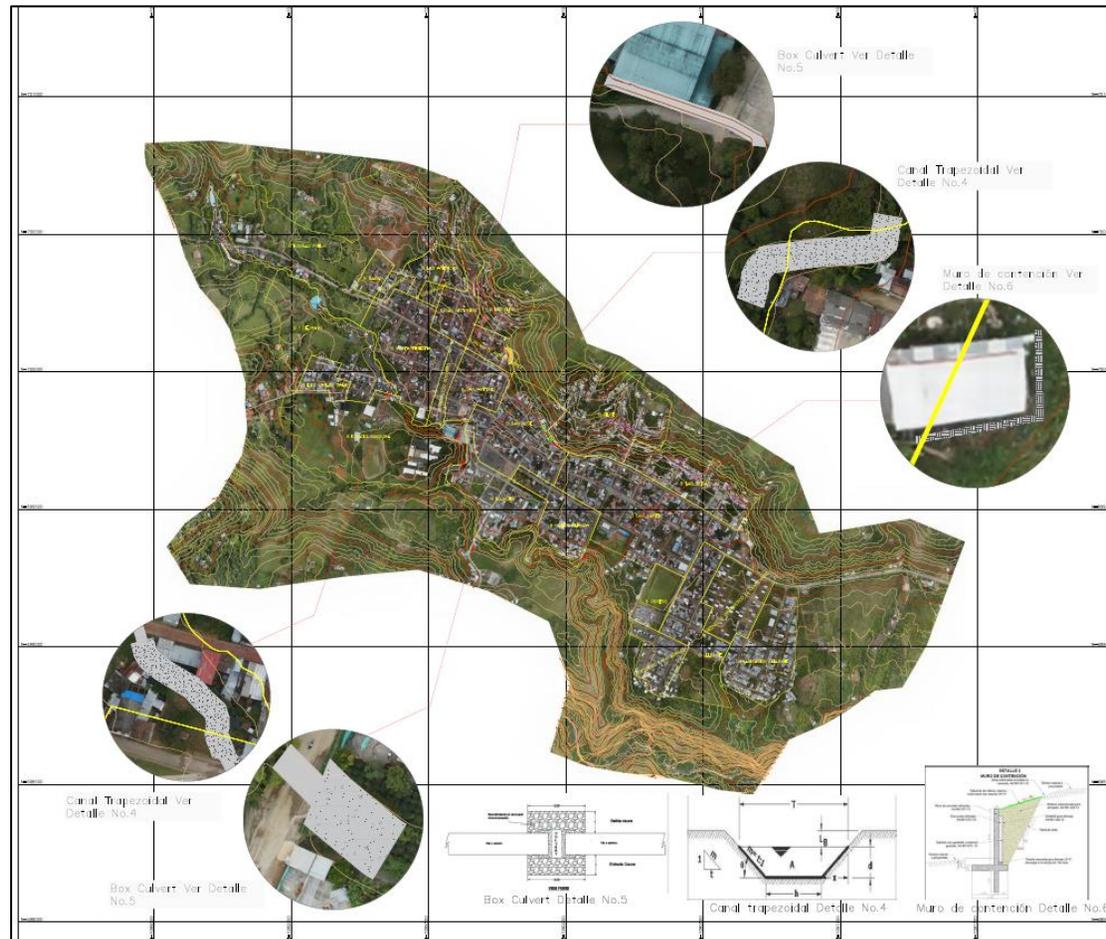


Ilustración 322. Sectores a intervenir por amenaza de inundación.

Fuente: Geocing SAS.

Dirección de correo: Calle 120 No. 49-44
Teléfono (1) 7046969 / (1) 7458541
Bogotá D.C.

• Primer sector

Alternativa 1: Reubicación

En el sector 1 se plantea la reubicación del predio ubicado en la zona el cual está constituido por una edificación y una piscina los cuales se ven afectados ante una creciente asociada a un periodo de retorno de 100 años; esto debido a que durante la construcción del predio fue canalizada la quebrada Las Moyas a través de un box culvert (Ver Ilustración 323) que genera un rebose lateral aguas arriba generando la correspondiente inundación.



Ilustración 323. Quebrada Las Moyas ubicación de piscina sector 1.

Fuente: Geocing SAS.

Debido a que la construcción y la piscina se ubican aledaños a la obra hidráulica se plantea la reubicación de los mismos garantizando así que estos elementos expuestos se vean afectados ante una inundación; para esta alternativa se asocian los costos presentados en la Tabla 172.

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

Tabla 172 . Presupuesto reubicación Punto Crítico 1

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDAS TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015</p>				
<p align="center">PRESUPUESTO REUBICACION 2 CONSTRUCCIONES PUNTO CRITICO 1</p>					
<p>ÍTEM</p>	<p>DESCRIPCIÓN</p>	<p>UNIDAD</p>	<p>CANTIDAD</p>	<p>VALOR UNITARIO</p>	<p>VALOR TOTAL ÍTEM</p>
<p>1</p>	<p>GENERALIDADES</p>				
<p>1.1</p>	<p>Localización y replanteo con equipo de topografía(amarrado a coordenadas reales IGAC)</p>	<p>m²</p>	<p>560</p>	<p>\$ 2,076</p>	<p>\$ 1,162,358</p>
<p>2</p>	<p>EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL</p>				
<p>2.1</p>	<p>Demolición de Estructuras</p>	<p>m³</p>	<p>1680</p>	<p>\$ 130,958</p>	<p>\$ 220,008,751</p>
<p>2.2</p>	<p>Excavación mecánica en material común (incluye cargue)</p>	<p>m³</p>	<p>3360</p>	<p>\$ 13,177</p>	<p>\$ 44,275,739</p>
<p>2.3</p>	<p>Transporte y disposición final de escombros en sitio autorizado (distancia de transporte 28 km)</p>	<p>m³</p>	<p>7560</p>	<p>\$ 19,934</p>	<p>\$ 150,701,040</p>
<p align="right">VALOR OBRAS DE ADECUACIÓN Y DEMOLICIÓN</p>					<p>\$ 416,147,888</p>
<p align="right">AIU 30%</p>					<p>\$ 124,844,367</p>
<p align="right">VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS DE ADECUACIÓN Y DEMOLICIÓN</p>					<p>\$ 540,992,255</p>
<p>3</p>	<p>Compra de Viviendas</p>				
<p>3.1</p>	<p>Viviendas de la zona de estudio</p>	<p>m²</p>	<p>560</p>	<p>\$ 450,000</p>	<p>\$ 252,000,000</p>
<p align="right">VALOR REPRESENTATIVO ADQUISICIÓN DE VIVIENDAS</p>					<p>\$ 252,000,000</p>
<p align="right">VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO REUBICACION 2 CONSTRUCCIONES PUNTO CRITICO 1</p>					<p>\$ 792,992,255</p>

Fuente: Geocing SAS.

Alternativa 2: Box Culvert

Debido a que la obra hidráulica construida en la actualidad no cumple con la capacidad correspondiente para el caudal asociado a un periodo de retorno de 100 años, se propone la construcción de un box culvert a través del eje de la quebrada Las Moyas la cual pasa en medio de la construcción y la piscina, evitando así un rebose lateral que afecte estos elementos expuestos y pueda generar pérdidas humanas. Esta estructura se propone con unas dimensiones de 4m de ancho por 3m de alto y una longitud de 75,65m, con el cual se estima transportaría 28 m³ de acuerdo a la Tabla 173, adicionalmente, en la Ilustración 324 se presenta la vista en plano que tendría el box culvert.

Tabla 173. Dimensiones típicas de Box Culvert.

<p align="center">BOX CULVERT TIPO</p>		
<p align="center">ANCHO, b</p>	<p align="center">ALTURA, h</p>	<p align="center">CAUDAL</p>
<p align="center">m</p>	<p align="center">m</p>	<p align="center">m³/s</p>
<p align="center">1</p>	<p align="center">1</p>	<p align="center">1.35</p>
<p align="center">1.5</p>	<p align="center">1.5</p>	<p align="center">3.72</p>
<p align="center">2</p>	<p align="center">2</p>	<p align="center">7.64</p>
<p align="center">2.5</p>	<p align="center">2.5</p>	<p align="center">13.34</p>
<p align="center">3</p>	<p align="center">3</p>	<p align="center">21.04</p>

BOX CULVERT TIPO		
ANCHO, b	ALTURA, h	CAUDAL
m	m	m ³ /s
3	2	11.46
4	3	28.06
4	4	43.20
5	3	35.07
5	4	54.00
5	5	75.47

Fuente: Geocing SAS.



Ilustración 324. Quebrada Las Moyas ubicación de Box Culvert sector 1.
Fuente: Geocing SAS.

En la Tabla 174 se presenta el costo asociado a la construcción de la obra hidráulica.

 CAM COMISIÓN ASESORA REGIONAL DEL MEDIO AMBIENTE <i>¡Cuida tu naturaleza!</i>	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
 Geocing SAS Geociencias e Ingeniería	INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

Tabla 174. Presupuesto sector 1

 Geocing SAS Geociencias e Ingeniería	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACION Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.	 CAM COMISIÓN ASESORA REGIONAL DEL MEDIO AMBIENTE <i>¡Cuida tu naturaleza!</i>			
PRESUPUESTO DE BOX CULVERT 1					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL ÍTEM
1	GENERALIDADES				
1.1	Localización y replanteo con equipo de topografía (amarrado a coordenadas reales IGAC)	m ²	850	\$ 2,076	\$ 1,764,260
1.2	Aislamiento y protección de la zona a intervenir H: 2.0 m lona verde	ml	200	\$ 10,300	\$ 2,060,044
2	EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL				
2.1	Excavación. (Incluye transporte de maquinaria)	m ³	1580.00	\$ 13,857.38	\$ 21,894,654
2.2	Retiro de escombros, producto de las excavaciones distancia promedio 20 Km	m ³	1890.00	\$ 19,934	\$ 37,675,260
2.3	Relleno	m ³	210.00	\$ 23,237	\$ 4,879,859
3	ESTRUCTURAL				
3.1	Concreto Obras de drenaje 4000 psi	m ³	630	\$ 638,037	\$ 401,963,499
3.2	Acero de refuerzo Fy 420 Mpa	Kg	94500	\$ 4,358	\$ 411,852,735
VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO DE BOX CULVERT 1					\$ 882,090,311
AIU 30%					\$ 264,627,093
VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS					\$ 1,146,717,405

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 175 Presupuesto estimado para las obras Primer Sector

SAN AGUSTÍN		ANCHO (m)	ALTO (m)	Valor
Primer Sector				
1	Reubicación	2 Construcciones		\$ 792.992.255
2	Box Culvert	4	3	\$1.146.717.405
TOTAL				\$ 1.939.709.660

Fuente: Geocing SAS

• Segundo sector

Alternativa 1: Reubicación de viviendas

En el segundo sector se ubican 11 predios que pueden ser afectados ante un rebose lateral de la quebrada Las Moyas, debido a la intervención antrópica de la zona que ha generado alteraciones del vaso y facilitando la ubicación de los predios en los márgenes del drenaje tal como se presenta en la Ilustración 325. Por lo tanto, se plantea la reubicación de estos 11 predios con el fin de evitar su afectación ya que alcanza alturas de lámina de agua de un metro

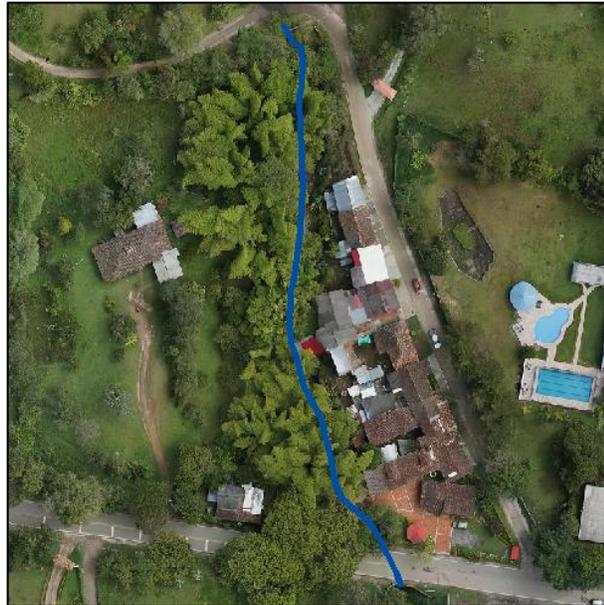


Ilustración 325. Quebrada Las Moyas sector 2.
Fuente: Geocing SAS.

La reubicación de se presenta en la Tabla 176.

Tabla 176 Presupuesto sector 2

ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDAS TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015					
PRESUPUESTO REUBICACION 11 CONSTRUCCIONES PUNTO CRITICO 2					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL ÍTEM
1	GENERALIDADES				
1.1	Localización y replanteo con equipo de topografía (amarrado a coordenadas reales IGAC)	m ²	2100	\$ 2,076	\$ 4,358,844
2	EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL				
2.1	Demolición de Estructuras	m ³	4200	\$ 130,958	\$ 550,021,878
2.2	Excavación mecánica en material común (incluye cargue)	m ³	8400	\$ 13,177	\$ 110,689,347
2.3	Transporte y disposición final de escombros en sitio autorizado (distancia de transporte 28 km)	m ³	12600	\$ 19,934	\$ 251,168,400
VALOR OBRAS DE ADECUACIÓN Y DEMOLICIÓN					\$ 916,238,469
AIU 30%					\$ 274,871,541
VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS DE ADECUACIÓN Y DEMOLICIÓN					\$ 1,191,110,010
3	Compra de Viviendas				
3.1	Viviendas de la zona de estudio	m ²	2100	\$ 450,000	\$ 945,000,000
VALOR REPRESENTATIVO ADQUISICIÓN DE VIVIENDAS					\$ 945,000,000
VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO REUBICACION 11 CONSTRUCCIONES PUNTO CRITICO 2					\$ 2,136,110,010

Fuente: Geocing SAS.

Alternativa 2: Canal abierto

Con el fin de evitar el rebose lateral asociado a la quebrada Las Moyas en el sector 2 para un periodo de retorno de 100 años, se propone la construcción de un

canal abierto con unas dimensiones de 4m de ancho por 3m de alto y una longitud de 146 m.



Ilustración 326. Quebrada Las Moyas ubicación de canal abierto sector 2.
Fuente: Geocing SAS.

En la Ilustración 326 se presenta una vista en planta del canal abierto y box culvert propuesto para el sector dos, evidenciando la correspondiente intervención requerida para evitar la afectación de los predios ubicados al costado derecho de la quebrada Las Moyas y la obra hidráulica en la vía la cual en la actualidad no cumple con la capacidad correspondiente a un caudal asociado a un periodo de retorno de 100 años; estas obras tienen los costos asociados en la Tabla 177 y Tabla 178 respectivamente.

 CAM <small>COMISIÓN ASESORA REGIONAL DEL AMBIENTE</small> <i>¡Cuida tu naturaleza!</i>	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
 Geocing SAS <small>Geociencias e Ingeniería</small>	INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

Tabla 177 Presupuesto sector 2

 Geocing SAS <small>Geociencias e Ingeniería</small>	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACION Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.	 CAM <small>COMISIÓN ASESORA REGIONAL DEL AMBIENTE</small> <i>¡Cuida tu naturaleza!</i>			
PRESUPUESTO CANAL 1					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL ÍTEM
1	GENERALIDADES				
1.1	Localización y replanteo con equipo de topografía(amarrado a coordenadas reales IGAC)	m ²	2450	\$ 2,076	\$ 5,085,220
1.2	Aislamiento y protección de la zona a intervenir H: 2.0 m lona verde	ml	350	\$ 10,300	\$ 3,605,077
2	EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL				
2.1	Excavación (Incluye transporte de maquinaria)	m ³	120.00	\$ 13,857.38	\$ 1,662,885
2.2	Retiro de escombros, producto de las excavaciones distancia promedio 20 Km	m ³	140.00	\$ 19,934	\$ 2,790,760
2.3	Relleno	m ³	0.00	\$ 23,237	\$ -
3	ESTRUCTURAL				
3.1	Concreto Obras de drenaje 4000 psi	m ³	400	\$ 638,037	\$ 255,214,920
3.2	Acero de refuerzo Fy 420 Mpa	Kg	60000	\$ 4,358	\$ 261,493,800
VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO CANAL 1					\$ 529,852,662
AIU 30%					\$ 158,955,799
VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS					\$ 688,808,461

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 178 Presupuesto Box Culvert Sector 2

 Geocing SAS <small>Geociencias e Ingeniería</small>	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACION Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.	 CAM <small>COMISIÓN ASESORA REGIONAL DEL AMBIENTE</small> <i>¡Cuida tu naturaleza!</i>			
PRESUPUESTO DE BOX CULVERT 2					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL ÍTEM
1	GENERALIDADES				
1.1	Localización y replanteo con equipo de topografía(amarrado a coordenadas reales IGAC)	m ²	180	\$ 2,076	\$ 373,608
1.2	Aislamiento y protección de la zona a intervenir H: 2.0 m lona verde	ml	70	\$ 10,300	\$ 721,015
2	EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL				
2.1	Excavación (Incluye transporte de maquinaria)	m ³	120.00	\$ 13,857.38	\$ 1,662,885
2.2	Retiro de escombros, producto de las excavaciones distancia promedio 20 Km	m ³	145.00	\$ 19,934	\$ 2,890,430
2.3	Relleno	m ³	75.00	\$ 23,237	\$ 1,742,807
3	ESTRUCTURAL				
3.1	Concreto Obras de drenaje 4000 psi	m ³	93	\$ 638,037	\$ 59,337,469
3.2	Acero de refuerzo Fy 420 Mpa	Kg	16740	\$ 4,358	\$ 72,956,770
VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO DE BOX CULVERT 2					\$ 139,684,985
AIU 30%					\$ 41,905,495
VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS					\$ 181,590,480

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 179 Presupuesto estimado para las obras Segundo Sector

SAN AGUSTÍN		ANCHO (m)	Alto (m)	Valor
1	Reubicación	11 Construcciones		\$ 2.136.110.010
2	Canal	4	3	\$ 688.808.461
	Box Culvert	L= 8.952m		\$ 181.590.480
TOTAL				\$3.006.508.951

Fuente: Geocing SAS

Dirección de correo: Calle 120 No. 49-44
 Teléfono (1) 7046969 / (1) 7458541
 Bogotá D.C.

• Tercer sector

Alternativa 1: Reubicación de viviendas

Para el caudal asociado a un periodo de retorno de 100 años se establece que en el tercer sector se presenta un rebose lateral de la quebrada Las Moyas el cual alcanza alturas de lámina de agua de un metro, afectando 6 edificaciones que se encuentran en el margen del drenaje y por lo tanto volviéndolos más vulnerables a presentar afectación, tal como se presenta en la Ilustración 327.



Ilustración 327 Quebrada Las Moyas sector 3.
Fuente: Geocing SAS.

La reubicación de estos 5 predios tiene unos costos asociados como se presenta en la Tabla 180.

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

Tabla 180 Presupuesto Reubicación Sector 3

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDAS TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015</p>				
<p>PRESUPUESTO REUBICACION 5 CONSTRUCCIONES PUNTO CRITICO 3</p>					
<p>ITEM</p>	<p>DESCRIPCIÓN</p>	<p>UNIDAD</p>	<p>CANTIDAD</p>	<p>VALOR UNITARIO</p>	<p>VALOR TOTAL ÍTEM</p>
<p>1</p>	<p>GENERALIDADES</p>				
<p>1.1</p>	<p>Localización y replanteo con equipo de topografía (amarrado a coordenadas reales IGAC)</p>	<p>m²</p>	<p>260</p>	<p>\$ 2,076</p>	<p>\$ 539,666</p>
<p>2</p>	<p>EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL</p>				
<p>2.1</p>	<p>Demolición de Estructuras</p>	<p>m³</p>	<p>1602</p>	<p>\$ 130,958</p>	<p>\$ 209,794,059</p>
<p>2.2</p>	<p>Excavación mecánica en material común (incluye cargue)</p>	<p>m³</p>	<p>4806</p>	<p>\$ 13,177</p>	<p>\$ 63,330,119</p>
<p>2.3</p>	<p>Transporte y disposición final de escombros en sitio autorizado (distancia de transporte 28 km)</p>	<p>m³</p>	<p>9612</p>	<p>\$ 19,934</p>	<p>\$ 191,605,608</p>
<p>VALOR OBRAS DE ADECUACIÓN Y DEMOLICIÓN</p>					<p>\$ 465,269,453</p>
<p>AIU 30%</p>					<p>\$ 139,580,836</p>
<p>VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS DE ADECUACIÓN Y DEMOLICIÓN</p>					<p>\$ 604,850,289</p>
<p>3</p>	<p>Compra de Viviendas</p>				
<p>3.1</p>	<p>Viviendas de la zona de estudio</p>	<p>m²</p>	<p>260</p>	<p>\$ 450,000</p>	<p>\$ 117,000,000</p>
<p>VALOR REPRESENTATIVO ADQUISICIÓN DE VIVIENDAS</p>					<p>\$ 117,000,000</p>
<p>VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO REUBICACION 5 CONSTRUCCIONES PUNTO CRITICO 3</p>					<p>\$ 721,850,289</p>

Fuente: Geocing SAS.

Alternativa 2: Canal Abierto

Con el fin de evitar el rebose lateral asociado a la quebrada Las Moyas en el sector 3 para un periodo de retorno de 100 años, se propone la construcción de un canal abierto con unas dimensiones de 4m de ancho por 3m de alto como se muestra en Tabla 181.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN



Ilustración 328. Canal S.
Fuente: Geocing SAS.

Tabla 181 Presupuesto Canal Sector 3

ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACION Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.					
PRESUPUESTO CANAL 2					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL ÍTEM
1	GENERALIDADES				
1.1	Localización y replanteo con equipo de topografía (amarrado a coordenadas reales IGAC)	m ²	2450	\$ 2,076	\$ 5,085,220
1.2	Aislamiento y protección de la zona a intervenir H: 2.0 m lona verde	ml	350	\$ 10,300	\$ 3,605,077
2	EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL				
2.1	Excavación (Incluye transporte de maquinaria)	m ³	2030.00	\$ 13,857.38	\$ 28,130,473
2.2	Retiro de escombros, producto de las excavaciones distancia promedio 20 Km	m ³	2440.00	\$ 19,934	\$ 48,638,960
2.3	Relleno	m ³	285.00	\$ 23,237	\$ 6,622,666
3	ESTRUCTURAL				
3.1	Concreto Obras de drenaje 4000 psi	m ³	280	\$ 638,037	\$ 178,650,444
3.2	Acero de refuerzo Fy 420 Mpa	Kg	42000	\$ 4,358	\$ 183,045,660
VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO CANAL 2					\$ 453,778,501
AIU 30%					\$ 136,133,550
VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS					\$ 589,912,051

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 182 Presupuesto estimado para las obras Tercer Sector

SAN AGUSTÍN		ANCHO (m)	ALTO (m)	Valor
Tercer Sector				
1	Reubicación	5 Construcciones		\$721.850.289
2	Canal	4	3	\$ 589.912.051
TOTAL				\$1.311.762.340

Fuente: Geocing SAS

• **Cuarto Sector**

Alternativa 1: Reubicación de viviendas

Debido a la ubicación de la quebrada Las Moyas respecto a la piscina municipal, la cual se ubica a menos de 2 metros del vaso del drenaje, la intervención antrópica y el caudal asociado a un periodo de retorno de 100 años se plantea la reubicación del predio; ya que el drenaje es susceptible a presentar un rebose lateral en la curva ubicada aguas arriba de la piscina generando una afectación que inundaría la piscina y afectaría el sistema estructural de la construcción, tal como se presenta en la Ilustración 329, a esta obra se encuentran asociados unos costos (Ver Tabla 183).



Ilustración 329 Quebrada Las Moyas ubicación de piscina parque Maloka sector 2.

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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

Tabla 183. Presupuesto Reubicación sector 4

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDAS TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015</p>																																																																																					
PRESUPUESTO REUBICACION 1 CONSTRUCCION PUNTO CRITICO 4																																																																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>ÍTEM</th> <th>DESCRIPCIÓN</th> <th>UNIDAD</th> <th>CANTIDAD</th> <th>VALOR UNITARIO</th> <th>VALOR TOTAL ÍTEM</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>GENERALIDADES</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.1</td> <td>Localización y replanteo con equipo de topografía(amarrado a coordenadas reales IGAC)</td> <td>m²</td> <td>910</td> <td>\$ 2,076</td> <td>\$ 1,888,832</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2.1</td> <td>Demolición de Estructuras</td> <td>m³</td> <td>1068</td> <td>\$ 130,958</td> <td>\$ 139,862,706</td> </tr> <tr> <td>2.2</td> <td>Excavación mecánica en material común (incluye cargue)</td> <td>m³</td> <td>1602</td> <td>\$ 13,177</td> <td>\$ 21,110,040</td> </tr> <tr> <td>2.3</td> <td>Transporte y disposición final de escombros en sitio autorizado (distancia de transporte 28 km)</td> <td>m³</td> <td>2670</td> <td>\$ 19,934</td> <td>\$ 53,223,780</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: right;">VALOR OBRAS DE ADECUACIÓN Y DEMOLICIÓN</td> <td>\$ 216,085,358</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: right;">AIU 30%</td> <td>\$ 64,825,607</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: right;">VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS DE ADECUACIÓN Y DEMOLICIÓN</td> <td>\$ 280,910,966</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Compra de Viviendas</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3.1</td> <td>Viviendas de la zona de estudio</td> <td>m²</td> <td>910</td> <td>\$ 450,000</td> <td>\$ 409,500,000</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: right;">VALOR REPRESENTATIVO ADQUISICIÓN DE VIVIENDAS</td> <td>\$ 409,500,000</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: right;">VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO REUBICACION 1 CONSTRUCCION PUNTO CRITICO 4</td> <td>\$ 690,410,966</td> </tr> </tbody> </table>	ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL ÍTEM	1	GENERALIDADES					1.1	Localización y replanteo con equipo de topografía(amarrado a coordenadas reales IGAC)	m ²	910	\$ 2,076	\$ 1,888,832	2	EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL					2.1	Demolición de Estructuras	m ³	1068	\$ 130,958	\$ 139,862,706	2.2	Excavación mecánica en material común (incluye cargue)	m ³	1602	\$ 13,177	\$ 21,110,040	2.3	Transporte y disposición final de escombros en sitio autorizado (distancia de transporte 28 km)	m ³	2670	\$ 19,934	\$ 53,223,780	VALOR OBRAS DE ADECUACIÓN Y DEMOLICIÓN					\$ 216,085,358	AIU 30%					\$ 64,825,607	VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS DE ADECUACIÓN Y DEMOLICIÓN					\$ 280,910,966	3	Compra de Viviendas					3.1	Viviendas de la zona de estudio	m ²	910	\$ 450,000	\$ 409,500,000	VALOR REPRESENTATIVO ADQUISICIÓN DE VIVIENDAS					\$ 409,500,000	VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO REUBICACION 1 CONSTRUCCION PUNTO CRITICO 4					\$ 690,410,966		
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL ÍTEM																																																																																	
1	GENERALIDADES																																																																																					
1.1	Localización y replanteo con equipo de topografía(amarrado a coordenadas reales IGAC)	m ²	910	\$ 2,076	\$ 1,888,832																																																																																	
2	EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL																																																																																					
2.1	Demolición de Estructuras	m ³	1068	\$ 130,958	\$ 139,862,706																																																																																	
2.2	Excavación mecánica en material común (incluye cargue)	m ³	1602	\$ 13,177	\$ 21,110,040																																																																																	
2.3	Transporte y disposición final de escombros en sitio autorizado (distancia de transporte 28 km)	m ³	2670	\$ 19,934	\$ 53,223,780																																																																																	
VALOR OBRAS DE ADECUACIÓN Y DEMOLICIÓN					\$ 216,085,358																																																																																	
AIU 30%					\$ 64,825,607																																																																																	
VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS DE ADECUACIÓN Y DEMOLICIÓN					\$ 280,910,966																																																																																	
3	Compra de Viviendas																																																																																					
3.1	Viviendas de la zona de estudio	m ²	910	\$ 450,000	\$ 409,500,000																																																																																	
VALOR REPRESENTATIVO ADQUISICIÓN DE VIVIENDAS					\$ 409,500,000																																																																																	
VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO REUBICACION 1 CONSTRUCCION PUNTO CRITICO 4					\$ 690,410,966																																																																																	

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 184 Presupuesto estimado para las obras Cuarto Sector

Cuarto Sector			Valor
1	Reubicación	1 Construcción	\$ 690.410.966

Fuente: Geocing SAS

• **Quinto sector**

Alternativa 1: Reubicación de viviendas

Para un periodo de retorno de 100 años se establece que en el quinto sector se encuentran en riesgo 29 predios y 4 tramos viales, siendo esta la zona con mayor cantidad de elementos expuestos; eso debido a que la afectación se presenta en un tramo de 374 m y los elementos expuestos se encuentran en los márgenes de la quebrada Las Moyas haciéndolos más susceptibles a presentar afectación, por lo tanto se plantea la reubicación de los predios aledaños al drenaje tal como se presenta en la Ilustración 330 y Tabla 185).

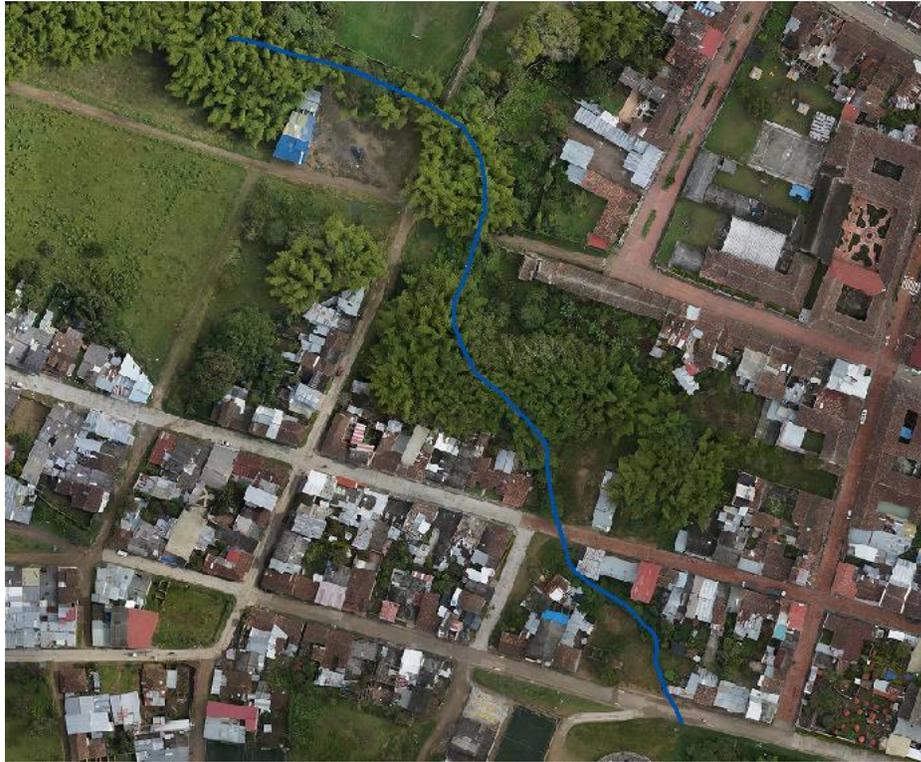


Ilustración 330. Detalle de viviendas a reubicar – sector 5.
Fuente: Geocing SAS.

Tabla 185 Presupuesto Reubicación sector 5

GEOCING SAS Geociencias e Ingeniería		ESTUDIOS DE TALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDAS TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015				CAM Comisión Asesora Regional del Huila Cuida lo natural	
PRE SUPUESTO REUBICACION 29 CONSTRUCCIONES PUNTO CRITICO 5							
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL ÍTEM		
1	GENERALIDADES						
1.1	Localización y replanteo con equipo de topografía (amamado a coordenadas reales IGAC)	m ²	13500	\$ 2,076	\$ 28,021,140		
2	EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL						
2.1	Demolición de Estructuras	m ²	1068	\$ 130,958	\$ 139,862,706		
2.2	Excavación mecánica en material común (incluye cargue)	m ²	1602	\$ 13,177	\$ 21,110,040		
2.3	Transporte y disposición final de escombros en sitio autorizado (distancia de transporte 28 km)	m ³	2670	\$ 19,934	\$ 53,223,780		
VALOR OBRAS DE ADECUACIÓN Y DEMOLICIÓN							\$ 242,217,666
AIU 30%							\$ 72,665,300
VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS DE ADECUACIÓN Y DEMOLICIÓN							\$ 314,882,966
3	Compra de Viviendas						
3.1	Viviendas de la zona de estudio	m ²	13500	\$ 450,000	\$ 6,075,000,000		
VALOR REPRESENTATIVO ADQUISICIÓN DE VIVIENDAS							
VALOR REPRESENTATIVO PRE SUPUESTO REUBICACION 29 CONSTRUCCIONES PUNTO CRITICO 5							\$ 314,882,966

Fuente: Geocing SAS.

• Alternativa 2: Canal abierto y box culvert

Para evitar la afectación correspondiente a los elementos expuestos ubicados en el sector 5 se plantea la construcción de 4 canales abiertos y 4 box culvert construidos de manera intercalada con el fin de evitar el rebose lateral que presenta la quebrada Moyas en este tramo; estas obras se ubicaran tal como se presenta en la Ilustración 331.



Ilustración 331. Canal – sector 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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

Tabla 186 Presupuesto Canal 3 sector 5

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACION Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>				
PRESUPUESTO CANAL 3					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL ÍTEM
1	GENERALIDADES				
1.1	Localización y replanteo con equipo de topografía(amarrado a coordenadas reales IGAC)	m ²	1570	\$ 2,076	\$ 3,258,692
1.2	Aislamiento y protección de la zona a intervenir H: 2.0 m lona verde	ml	230	\$ 10,300	\$ 2,369,051
2	EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL				
2.1	Excavación (Incluye transporte de maquinaria)	m ³	1770.00	\$ 13,857.38	\$ 24,527,556
2.2	Retiro de escombros, producto de las excavaciones distancia promedio 20 Km	m ³	2120.00	\$ 19,934	\$ 42,260,080
2.3	Relleno	m ³	250.00	\$ 23,237	\$ 5,809,356
3	ESTRUCTURAL				
3.1	Concreto Obras de drenaje 4000 psi	m ³	260	\$ 638,037	\$ 165,889,698
3.2	Acero de refuerzo Fy 420 Mpa	Kg	39000	\$ 4,358	\$ 169,970,970
VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO CANAL 3					\$ 414,085,402
AIU 30%					\$ 124,225,621
VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS					\$ 538,311,023

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 187 Presupuesto Canal 4 sector 5.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACION Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>				
PRESUPUESTO CANAL 4					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL ÍTEM
1	GENERALIDADES				
1.1	Localización y replanteo con equipo de topografía(amarrado a coordenadas reales IGAC)	m ²	880	\$ 2,076	\$ 1,826,528
1.2	Aislamiento y protección de la zona a intervenir H: 2.0 m lona verde	ml	150	\$ 10,300	\$ 1,545,033
2	EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL				
2.1	Excavación (Incluye transporte de maquinaria)	m ³	940.00	\$ 13,857.38	\$ 13,025,934
2.2	Retiro de escombros, producto de las excavaciones distancia promedio 20 Km	m ³	1130.00	\$ 19,934	\$ 22,525,420
2.3	Relleno	m ³	95.00	\$ 23,237	\$ 2,207,555
3	ESTRUCTURAL				
3.1	Concreto Obras de drenaje 4000 psi	m ³	150	\$ 638,037	\$ 95,705,595
3.2	Acero de refuerzo Fy 420 Mpa	Kg	22500	\$ 4,358	\$ 98,060,175
VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO CANAL 4					\$ 234,896,240
AIU 30%					\$ 70,468,872
VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS					\$ 305,365,112

Fuente: Geocing SAS.

 CAM <small>COMISIÓN ADMINISTRATIVA REGIONAL DEL HUILA</small> <i>¡Cuida tu naturaleza!</i>	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
 GEOCING SAS <small>Geociencias e Ingeniería</small>	INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

Tabla 188 Presupuesto Canal 5 sector 5

 GEOCING SAS <small>Geociencias e Ingeniería</small>	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACION Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.	 CAM <small>COMISIÓN ADMINISTRATIVA REGIONAL DEL HUILA</small> <i>¡Cuida tu naturaleza!</i>			
PRESUPUESTO CANAL 5					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL ÍTEM
1	GENERALIDADES				
1.1	Localización y replanteo con equipo de topografía(amarrado a coordenadas reales IGAC)	m ²	2270	\$ 2,076	\$ 4,711,612
1.2	Aislamiento y protección de la zona a intervenir H: 2.0 m lona verde	ml	320	\$ 10,300	\$ 3,296,070
2	EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL				
2.1	Excavación (Incluye transporte de maquinaria)	m ³	2520.00	\$ 13,857.38	\$ 34,920,588
2.2	Retiro de escombros, producto de las excavaciones distancia promedio 20 Km	m ³	3030.00	\$ 19,934	\$ 60,400,020
2.3	Relleno	m ³	270.00	\$ 23,237	\$ 6,274,105
3	ESTRUCTURAL				
3.1	Concreto Obras de drenaje 4000 psi	m ³	290	\$ 638,037	\$ 185,030,817
3.2	Acero de refuerzo Fy 420 Mpa	Kg	43500	\$ 4,358	\$ 189,583,005
VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO CANAL 5					\$ 484,216,217
AIU 30%					\$ 145,264,865
VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS					\$ 629,481,082

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 189 Presupuesto Canal 6 sector 5

 GEOCING SAS <small>Geociencias e Ingeniería</small>	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACION Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.	 CAM <small>COMISIÓN ADMINISTRATIVA REGIONAL DEL HUILA</small> <i>¡Cuida tu naturaleza!</i>			
PRESUPUESTO CANAL 6					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL ÍTEM
1	GENERALIDADES				
1.1	Localización y replanteo con equipo de topografía(amarrado a coordenadas reales IGAC)	m ²	1420	\$ 2,076	\$ 2,947,352
1.2	Aislamiento y protección de la zona a intervenir H: 2.0 m lona verde	ml	220	\$ 10,300	\$ 2,266,048
2	EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL				
2.1	Excavación (Incluye transporte de maquinaria)	m ³	880.00	\$ 13,857.38	\$ 12,194,491
2.2	Retiro de escombros, producto de las excavaciones distancia promedio 20 Km	m ³	1060.00	\$ 19,934	\$ 21,130,040
2.3	Relleno	m ³	1050.00	\$ 23,237	\$ 24,399,296
3	ESTRUCTURAL				
3.1	Concreto Obras de drenaje 4000 psi	m ³	240	\$ 638,037	\$ 153,128,952
3.2	Acero de refuerzo Fy 420 Mpa	Kg	36000	\$ 4,358	\$ 156,896,280
VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO CANAL 6					\$ 372,962,460
AIU 30%					\$ 111,888,738
VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS					\$ 484,851,197

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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

Tabla 190 Presupuesto Box Culvert 3 Sector 5

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACION Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>				
PRESUPUESTO DE BOX CULVERT 3					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL ÍTEM
1	GENERALIDADES				
1.1	Localización y replanteo con equipo de topografía(amarrado a coordenadas reales IGAC)	m ²	160	\$ 2,076	\$ 332,096
1.2	Aislamiento y protección de la zona a intervenir H: 2.0 m lona verde	ml	60	\$ 10,300	\$ 618,013
2	EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL				
2.1	Excavación (Incluye transporte de maquinaria)	m ³	120.00	\$ 13,857.38	\$ 1,662,885
2.2	Retiro de escombros, producto de las excavaciones distancia promedio 20 Km	m ³	140.00	\$ 19,934	\$ 2,790,760
2.3	Relleno	m ³	20.00	\$ 23,237	\$ 464,749
3	ESTRUCTURAL				
3.1	Concreto Obras de drenaje 4000 psi	m ³	105	\$ 638,037	\$ 66,993,917
3.2	Acero de refuerzo Fy 420 Mpa	Kg	18900	\$ 4,358	\$ 82,370,547
VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO DE BOX CULVERT 3					\$ 155,232,966
AIU 30%					\$ 46,569,890
VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS					\$ 201,802,856

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 191 Presupuesto Box Culvert 4 Sector 5

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACION Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>				
PRESUPUESTO DE BOX CULVERT 4					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL ÍTEM
1	GENERALIDADES				
1.1	Localización y replanteo con equipo de topografía(amarrado a coordenadas reales IGAC)	m ²	180	\$ 2,076	\$ 373,608
1.2	Aislamiento y protección de la zona a intervenir H: 2.0 m lona verde	ml	70	\$ 10,300	\$ 721,015
2	EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL				
2.1	Excavación (Incluye transporte de maquinaria)	m ³	150.00	\$ 13,857.38	\$ 2,078,606
2.2	Retiro de escombros, producto de las excavaciones distancia promedio 20 Km	m ³	180.00	\$ 19,934	\$ 3,588,120
2.3	Relleno	m ³	70.00	\$ 23,237	\$ 1,626,620
3	ESTRUCTURAL				
3.1	Concreto Obras de drenaje 4000 psi	m ³	100	\$ 638,037	\$ 63,803,730
3.2	Acero de refuerzo Fy 420 Mpa	Kg	18000	\$ 4,358	\$ 78,448,140
VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO DE BOX CULVERT 4					\$ 150,639,840
AIU 30%					\$ 45,191,952
VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS					\$ 195,831,791

Fuente: Geocing SAS

 COMISIÓN ASESORA REGIONAL DEL AMBIENTE <i>¡Cuida tu naturaleza!</i>	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

Tabla 192 Presupuesto Box Culvert 5 Sector 5

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACION Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.	 <i>¡Cuida tu naturaleza!</i>			
PRESUPUESTO DE BOX CULVERT 5					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL ÍTEM
1	GENERALIDADES				
1.1	Localización y replanteo con equipo de topografía(amarrado a coordenadas reales IGAC)	m ²	210	\$ 2,076	\$ 435,876
1.2	Aislamiento y protección de la zona a intervenir H: 2.0 m lona verde	ml	75	\$ 10,300	\$ 772,517
2	EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL				
2.1	Excavación (Incluye transporte de maquinaria)	m ³	150.00	\$ 13,857.38	\$ 2,078,606
2.2	Retiro de escombros, producto de las excavaciones distancia promedio 20 Km	m ³	180.00	\$ 19,934	\$ 3,588,120
2.3	Relleno	m ³	40.00	\$ 23,237	\$ 929,497
3	ESTRUCTURAL				
3.1	Concreto Obras de drenaje 4000 psi	m ³	130	\$ 638,037	\$ 82,944,849
3.2	Acero de refuerzo Fy 420 Mpa	Kg	23400	\$ 4,358	\$ 101,982,582
VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO DE BOX CULVERT 5					\$ 192,732,047
AIU 30%					\$ 57,819,614
VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS					\$ 250,551,661

Fuente: Geocing SAS

Tabla 193 Presupuesto Box Culvert 6 Sector 5

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACION Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.	 <i>¡Cuida tu naturaleza!</i>			
PRESUPUESTO DE BOX CULVERT 6					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL ÍTEM
1	GENERALIDADES				
1.1	Localización y replanteo con equipo de topografía(amarrado a coordenadas reales IGAC)	m ²	210	\$ 2,076	\$ 435,876
1.2	Aislamiento y protección de la zona a intervenir H: 2.0 m lona verde	ml	75	\$ 10,300	\$ 772,517
2	EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL				
2.1	Excavación (Incluye transporte de maquinaria)	m ³	170.00	\$ 13,857.38	\$ 2,355,754
2.2	Retiro de escombros, producto de las excavaciones distancia promedio 20 Km	m ³	210.00	\$ 19,934	\$ 4,186,140
2.3	Relleno	m ³	10.00	\$ 23,237	\$ 232,374
3	ESTRUCTURAL				
3.1	Concreto Obras de drenaje 4000 psi	m ³	115	\$ 638,037	\$ 73,374,290
3.2	Acero de refuerzo Fy 420 Mpa	Kg	20700	\$ 4,358	\$ 90,215,361
VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO DE BOX CULVERT 6					\$ 171,572,311
AIU 30%					\$ 51,471,693
VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS					\$ 223,044,005

Fuente: Geocing SAS

Tabla 194 Presupuesto estimado para las obras Quinto Sector

SAN AGUSTÍN	Quinto Sector		Valor
1	Reubicación	29 Construcciones	\$ 314.882.966
2	Canal 3	85.3362	\$538,311,023
	Canal 4	44.8905	\$305,365,112
	Canal 5	126.3611	\$629,481,082
	Canal 6	76.4457	\$484,851,197
2	Box Culvert 3	8.9263	\$201,802,856

Dirección de correo: Calle 120 No. 49-44
 Teléfono (1) 7046969 / (1) 7458541
 Bogotá D.C.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

SAN AGUSTÍN	Quinto Sector		Valor
	Box Culvert 4	9.0878	
	Box Culvert 5	1.378	\$250,551,661
	Box Culvert 6	1.9145	\$223,044,005
	Total		\$ 3.141.121.693

Fuente: Geocing SAS

• Sexto Sector

Alternativa 1: Reubicación del coliseo.

En el sector 6 se encuentra ubicado el coliseo municipal el cual se vería afectado ante un rebose lateral de la quebrada Las Moyas para un caudal de un periodo de retorno de 100 años; este rebose lateral se asocia a una obra hidráulica la cual no tiene la capacidad requerida generando un represamiento del flujo aguas arriba de la obra.



Ilustración 332. Coliseo.

Fuente: Geocing SAS.

A continuación se presenta el presupuesto estimado para la intervención sobre este sector.

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

Tabla 195 Presupuesto Reubicación Coliseo

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDAS TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015</p>				
PRESUPUESTO REUBICACION 1 CONSTRUCCION PUNTO CRITICO 6					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL ÍTEM
1	GENERALIDADES				
1.1	Localización y replanteo con equipo de topografía (amarrado a coordenadas reales IGAC)	m ²	2000	\$ 2,076	\$ 4,151,280
2	EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL				
2.1	Demolición de Estructuras	m ³	1068.00	\$ 130,958	\$ 139,862,706
2.2	Excavación mecánica en material común (incluye cargue)	m ³	1602.00	\$ 13,177	\$ 21,110,040
2.3	Transporte y disposición final de escombros en sitio autorizado (distancia de transporte 28 km)	m ³	4005	\$ 19,934	\$ 79,835,670
VALOR OBRAS DE ADECUACIÓN Y DEMOLICIÓN					\$ 244,959,696
AIU 30%					\$ 73,487,909
VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS DE ADECUACIÓN Y DEMOLICIÓN					\$ 318,447,605
3	Compra de Viviendas				
3.1	Viviendas de la zona de estudio	m ²	2000.00	\$ 450,000	\$ 900,000,000
VALOR REPRESENTATIVO ADQUISICIÓN DE VIVIENDAS					\$ 900,000,000
VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO REUBICACION 1 CONSTRUCCION PUNTO CRITICO 6					\$ 1,218,447,605

Fuente: Geocing SAS.

- **Alternativa 2: Box Culvert**

Se plantea la construcción de un box culvert con unas dimensiones de 5m de ancho por 3 metros de alto el cual reemplazaría a la obra hidráulica existente tal como se presenta en la Ilustración 331, evitando así represamientos de flujo que lleven a generar reboses laterales aguas arriba de la obra. En la Tabla 196. Se presentan los costos asociados a esta obra.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN



Ilustración 333. Localización Box Culvert– sector 6.
Fuente: Geocing SAS.

Tabla 196 Presupuesto de Box Culvert Sector 6

GEOCING SAS Geociencias e Ingeniería		ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACION Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.				CAM Comisión Asesora Municipal del Acueducto Cuidado la naturaleza!	
PRESUPUESTO DE BOX CULVERT 7							
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL ÍTEM		
1	GENERALIDADES						
1.1	Localización y replanteo con equipo de topografía(amarrado a coordenadas reales (GAC)	m ²	860	\$ 2,076	\$ 1,785,016		
1.2	Aislamiento y protección de la zona a intervenir H: 2.0 m lona verde	ml	190	\$ 10,300	\$ 1,957,042		
2	EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL						
2.1	Excavación (Incluye transporte de maquinaria)	m ³	1860.00	\$ 13,857.38	\$ 25,774,719		
2.2	Retiro de escombros, producto de las excavaciones distancia promedio 20 Km	m ³	2230.00	\$ 19,934	\$ 44,452,820		
2.3	Relleno	m ³	20.00	\$ 23,237	\$ 464,749		
3	ESTRUCTURAL						
3.1	Concreto Obras de drenaje 4000 psi	m ³	630	\$ 638,037	\$ 401,963,499		
3.2	Acero de refuerzo Fy 420 Mpa	Kg	113400	\$ 4,358	\$ 494,223,282		
VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO DE BOX CULVERT 7					\$ 970,621,127		
AIU 30%					\$ 291,186,338		
VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS					\$ 1,261,807,465		

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 197 Presupuesto estimado para las obras Sexto Sector

SAN AGUSTÍN		ANCHO (m)	ALTO (m)	Valor
Sexto sector				
1	Reubicación	1 Construcción		\$ 1.218.447.605
2	Box Culvert	5	3	\$1.261.807.465
TOTAL				\$ 2.480.255.070

Fuente: Geocing SAS

• Séptimo Sector

Alternativa 1: Reubicación de viviendas

En el sector 7 se encuentran tres predios en riesgo debido a la ubicación de los mismos respecto a la quebrada Las Moyas, tal como se presenta en la Ilustración 334, por lo cual ante un caudal asociado a un periodo de retorno de 100 años se presentan alturas y velocidad que afectarían estos elementos expuestos. Según lo anterior se plantea la reubicación de estos tres predios con el fin de evitar futuras afectaciones.



Ilustración 334. – sector 7.

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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

Tabla 198 Presupuesto Reubicación Séptimo Sector

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDAS TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015</p>				
PRESUPUESTO REUBICACION 3 CONSTRUCCIONES PUNTO CRITICO 7					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL ÍTEM
1	GENERALIDADES				
1.1	Localización y replanteo con equipo de topografía (amarrado a coordenadas reales IGAC)	m ²	260	\$ 2,076	\$ 539,666
2	EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL				
2.1	Demolición de Estructuras	m ³	1068	\$ 130,958	\$ 139,862,706
2.2	Excavación mecánica en material común (incluye cargue)	m ³	1602	\$ 13,177	\$ 21,110,040
2.3	Transporte y disposición final de escombros en sitio autorizado (distancia de transporte 28 km)	m ³	4005	\$ 19,934	\$ 79,835,670
VALOR OBRAS DE ADECUACIÓN Y DEMOLICIÓN					\$ 241,348,082
AIU 30%					\$ 72,404,425
VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS DE ADECUACIÓN Y DEMOLICIÓN					\$ 313,752,507
3	Compra de Viviendas				
3.1	Viviendas de la zona de estudio	m ²	260	\$ 450,000	\$ 117,000,000
VALOR REPRESENTATIVO ADQUISICIÓN DE VIVIENDAS					\$ 117,000,000
VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO REUBICACION 3 CONSTRUCCIONES PUNTO CRITICO 7					\$ 430,752,507

Fuente: Geocing SAS.

Alternativa 2: Canal abierto

Con el fin de evitar el rebose lateral presentado en la zona, se plantea la construcción de un canal abierto el cual evite el rebose lateral de la quebrada Las Moyas y la afectación correspondiente a los tres predios expuestos, el cual se ubicaría tal como en la Ilustración 335; esta obra hidráulica tiene unas dimensiones de 5 metros de ancho por 3 metros de alto, tal como se presenta en la Tabla 199.



Ilustración 335. Localización Canal- sector 7.
Fuente: Geocing SAS

Tabla 199 Presupuesto Canal 7 Séptimo Sector

ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACION Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.					
					
PRESUPUESTO CANAL 7					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL ÍTEM
1	GENERALIDADES				
1.1	Localización y replanteo con equipo de topografía(amarrado a coordenadas reales IGAC)	m ²	1420	\$ 2,076	\$ 2,947,352
1.2	Aislamiento y protección de la zona a intervenir H: 2.0 m lona verde	ml	220	\$ 10,300	\$ 2,266,048
2	EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL				
2.1	Excavación (Incluye transporte de maquinaria)	m ³	420.00	\$ 13,857.38	\$ 5,820,098
2.2	Retiro de escombros, producto de las excavaciones distancia promedio 20 Km	m ³	500.00	\$ 19,934	\$ 9,967,000
2.3	Relleno	m ³	1050.00	\$ 23,237	\$ 24,399,296
3	ESTRUCTURAL				
3.1	Concreto Obras de drenaje 4000 psi	m ³	245	\$ 638,037	\$ 156,319,139
3.2	Acero de refuerzo Fy 420 Mpa	Kg	36750	\$ 4,358	\$ 160,164,953
VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO CANAL 7					\$ 361,883,886
				AIU 30%	\$ 108,565,166
VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS					\$ 470,449,051

Fuente: Geocing SAS

Tabla 200 Presupuesto estimado para las obras Séptimo Sector

SAN AGUSTÍN		ANCHO (m)	ALTO (m)	Valor
Séptimo Sector				
1	Reubicación	3 Construcciones		\$ 430.752.507
2	Canal	5	3	\$ 470.449.051
TOTAL				\$ 901.201.558

Fuente: Geocing SAS

• **Octavo Sector**

Alternativa 1: Reubicación de viviendas

En el sector 8 se ubican tres predios los cuales se ven afectados ante un rebose lateral de la quebrada Las Moyas con un caudal asociado a un periodo de retorno de 100 años, esto debido a la afectación antrópica que se ha presentado en la zona y la cercanía de estos elementos expuestos respecto al margen del drenaje. Según lo anterior se plantea la reubicación de las viviendas presentadas en la Ilustración 336, lo cual tendría unos costos (Ver Tabla 201).



Ilustración 336. Zona Crítica– sector 8.
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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

Tabla 201 Presupuesto Reubicación Octavo Sector

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDAS TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015</p>				
<p>PRESUPUESTO REUBICACION 3 CONSTRUCCIONES PUNTO CRITICO 8</p>					
<p>ÍTEM</p>	<p>DESCRIPCIÓN</p>	<p>UNIDAD</p>	<p>CANTIDAD</p>	<p>VALOR UNITARIO</p>	<p>VALOR TOTAL ÍTEM</p>
<p>1</p>	<p>GENERALIDADES</p>				
<p>1.1</p>	<p>Localización y replanteo con equipo de topografía (amarrado a coordenadas reales IGAC)</p>	<p>m²</p>	<p>100</p>	<p>\$ 2,076</p>	<p>\$ 207,564</p>
<p>2</p>	<p>EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL</p>				
<p>2.1</p>	<p>Demolición de Estructuras</p>	<p>m³</p>	<p>1068</p>	<p>\$ 130,958</p>	<p>\$ 139,862,706</p>
<p>2.2</p>	<p>Excavación mecánica en material común (incluye cargue)</p>	<p>m³</p>	<p>1602</p>	<p>\$ 13,177</p>	<p>\$ 21,110,040</p>
<p>2.3</p>	<p>Transporte y disposición final de escombros en sitio autorizado (distancia de transporte 28 km)</p>	<p>m³</p>	<p>4005</p>	<p>\$ 19,934</p>	<p>\$ 79,835,670</p>
<p>VALOR OBRAS DE ADECUACIÓN Y DEMOLICIÓN</p>					<p>\$ 241,015,980</p>
<p>AIU 30%</p>					<p>\$ 72,304,794</p>
<p>VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS DE ADECUACIÓN Y DEMOLICIÓN</p>					<p>\$ 313,320,774</p>
<p>3</p>	<p>Compra de Viviendas</p>				
<p>3.1</p>	<p>Viviendas de la zona de estudio</p>	<p>m²</p>	<p>100</p>	<p>\$ 450,000</p>	<p>\$ 45,000,000</p>
<p>VALOR REPRESENTATIVO ADQUISICIÓN DE VIVIENDAS</p>					<p>\$ 45,000,000</p>
<p>VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO REUBICACION 3 CONSTRUCCIONES PUNTO CRITICO 8</p>					<p>\$ 358,320,774</p>

Fuente: Geocing SAS

Alternativa 2: Box culvert y canal abierto

Con el fin de evitar el rebose lateral asociado a la quebrada Las Moyas en el sector 7 para un periodo de retorno de 100 años, se propone la construcción de un Box Culvert seguido de un canal abierto de 5m de ancho por 3m de alto, tal como se presenta en la Ilustración 337, (Ver Tabla 202).



Ilustración 337. Canal sector 8.

Fuente: Geocing SAS

 COMISIÓN ASESORA REGIONAL DEL OCCIDENTE <i>¡Cuida la naturaleza!</i>	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
 GEOCING SAS Geociencias e Ingeniería	INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

Tabla 202 Presupuesto canal Octavo Sector

 GEOCING SAS Geociencias e Ingeniería	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACION Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.	 cam COMISIÓN ASESORA REGIONAL DEL OCCIDENTE <i>¡Cuida la naturaleza!</i>			
PRESUPUESTO CANAL 8					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL ÍTEM
1	GENERALIDADES				
1.1	Localización y replanteo con equipo de topografía(amarrado a coordenadas reales IGAC)	m ²	400	\$ 2,076	\$ 830,240
1.2	Aislamiento y protección de la zona a intervenir H: 2.0 m lona verde	ml	100	\$ 10,300	\$ 1,030,022
2	EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL				
2.1	Excavación (Incluye transporte de maquinaria)	m ³	280.00	\$ 13,857.38	\$ 3,880,065
2.2	Retiro de escombros, producto de las excavaciones distancia promedio 20 Km	m ³	340.00	\$ 19,934	\$ 6,777,560
2.3	Relleno	m ³	40.00	\$ 23,237	\$ 929,497
3	ESTRUCTURAL				
3.1	Concreto Obras de drenaje 4000 psi	m ³	90	\$ 638,037	\$ 57,423,357
3.2	Acero de refuerzo Fy 420 Mpa	Kg	13500	\$ 4,358	\$ 58,836,105
VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO CANAL 8					\$ 129,706,846
AIU 30%					\$ 38,912,054
VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS					\$ 168,618,900

Fuente: Geocing SAS

Tabla 203 Presupuesto Box Culvert

 GEOCING SAS Geociencias e Ingeniería	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACION Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.	 cam COMISIÓN ASESORA REGIONAL DEL OCCIDENTE <i>¡Cuida la naturaleza!</i>			
PRESUPUESTO DE BOX CULVERT 8					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL ÍTEM
1	GENERALIDADES				
1.1	Localización y replanteo con equipo de topografía(amarrado a coordenadas reales IGAC)	m ²	180	\$ 2,076	\$ 373,608
1.2	Aislamiento y protección de la zona a intervenir H: 2.0 m lona verde	ml	70	\$ 10,300	\$ 721,015
2	EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL				
2.1	Excavación (Incluye transporte de maquinaria)	m ³	200.00	\$ 13,857.38	\$ 2,771,475
2.2	Retiro de escombros, producto de las excavaciones distancia promedio 20 Km	m ³	240.00	\$ 19,934	\$ 4,784,160
2.3	Relleno	m ³	3.00	\$ 23,237	\$ 69,712
3	ESTRUCTURAL				
3.1	Concreto Obras de drenaje 4000 psi	m ³	90	\$ 638,037	\$ 57,423,357
3.2	Acero de refuerzo Fy 420 Mpa	Kg	16200	\$ 4,358	\$ 70,603,326
VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO DE BOX CULVERT 8					\$ 136,746,654
AIU 30%					\$ 41,023,996
VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS					\$ 177,770,650

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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

Tabla 204 Presupuesto estimado para las obras Octavo Sector

SAN AGUSTÍN		ANCHO (m)	ALTO (m)	Valor
Octavo Sector				
1	Reubicación	3 Construcciones		\$ 358.320.774
2	Box Culvert			\$ 177.770.650
	Canal	5	3	\$168.618.900
TOTAL				\$ 704.710.324

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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

16 CONCLUSIONES

16.1 COBERTURA

La cabecera municipal del casco urbano de San Agustín está constituida principalmente por pastos, con un porcentaje del 39,3% del área total su cabecera, el área de este está constituida por 3 coberturas que son pastos limpios, pastos arbolados y pastos enmalezados, cada uno de estas con un área significativa con respecto a el área de estudio total que es del 15,3%, 13,8% y 10,0% respectivamente; siendo pastos limpios y pastos arbolados usados principalmente para la producción ganadera, y pastos enmalezados son zonas que se han usado para la expansión del casco urbano y han sido abandonados.

Por otro lado la cobertura de terrenos agrícolas es la más extensa, estos debido a lo antes ya mencionado (pastos), y también al cultivo de café, siendo este una de las principales actividades agrícolas del casco urbano y ocupando un área de 13,5%. Las coberturas de áreas agrícolas heterogéneas se encuentran principalmente cerca a al casco urbano e inclusive dentro de las áreas de tejido urbano continuo, siendo estas zonas como patios o solares en donde tienen cultivos de café, plátano y frutales.

16.2 AMENAZA

16.2.1 Amenaza por movimientos en masa

Las zonas de amenaza alta se concentran al sureste del municipio donde se evidencian zonas montañosas con pendientes mayores a 45°, además de la presencia de espesores considerables de suelo residual de la formación Guacacallo, 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 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. A partir del estudio se observa que la concentración de amenaza media se encuentra

16.2.2 Amenaza por inundación

La amenaza por inundación para el casco urbano de San Agustín se encuentra asociada a las quebradas Las Moyas, El Batan y La Alborada, las cuales transitan a través de la cabecera municipal como canales abiertos y canalizado en algunos tramos. Las quebradas se caracterizan por ser encañonadas y no presentar valles con susceptibilidad a inundarse, sin embargo dentro del casco urbano se presenta sectores en los que la lámina de agua alcanza predios ubicados a los márgenes del cauce debido a la topografía y la intervención antrópica.

En el mapa de amenaza por Inundación se presentan las zonas a las que se asocia cada categorización de la amenaza, la cual representa la correspondiente probabilidad de ocurrencia de cada evento para cada categoría; identificando que la amenaza baja representa la mayor área con el 93,66%, y la menor área en la categoría alta con el 5,23% que se ubica en la zona aledaña a los drenajes, tal como se presenta en la Tabla 205; esta distribución espacial se debe a que los drenajes se encuentran encañonados y por lo tanto el rebose lateral asociado a los caudales para cada periodo de retorno afecta los márgenes de los cauces, sin generar un desplazamiento de la mancha en distancias superiores a los 20m respecto los cauces de las quebradas modeladas.

Tabla 205. Áreas y Porcentajes de cada nivel de amenaza por inundación.

Categoría	Área (Ha)	Área (%)
Alta	18,07	5,23
Media	3,83	1,11
Baja	323,46	93,66
Total	345,35	100

Fuente: Geocing SAS.

16.2.3 Amenaza por avenida torrencial

La cabecera municipal de San Agustín tiene un 3,35% de amenaza alta, un 2,04% de amenaza media y un 94,61% de amenaza baja lo cual nos indica que en la cabecera municipal predomina la amenaza baja por avenida torrencial tal como se presenta en la Tabla 206, pero se deben tener en cuenta las recomendaciones realizadas a continuación como medidas para prevenir o disminuir el riesgo.

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

Tabla 206 Áreas y Porcentajes de cada nivel de amenaza por Avenida Torrencial.

Amenaza	Área (Ha)	Área %
Alta	11.58	3.35%
Media	7.04	2.04%
Baja	326.68	94.61%
Total	345.31	100%

Fuente: Geocing SAS.

Se debe evitar el desarrollo urbano en las zonas aledañas y de rondas de las quebradas Las Moyas principalmente, El Batán y La Alborada en la cabecera municipal de San Agustín al igual que en las zonas aledañas de los drenajes existentes, considerando las altas afectaciones que pueden generar las avenidas torrenciales en el casco urbano.

Se ve la necesidad de promover la participación social de los grupos más vulnerables por amenazas naturales con estrategias de comunicación, información y educación en general. Estas estrategias deben involucrar los consejos municipales de gestión del riesgo y líderes comunitarios.

Se debe elaborar una base de datos en constante actualización con eventos históricos donde se caractericen por localización (coordenadas), fecha de ocurrencia, lugares afectados y su georreferenciación, damnificados, daños impactos, para de esta manera poder correlacionar las fechas de los eventos con los factores activadores (precipitación o sismos), con el fin de contribuir a la mejora de los procesos de calibración y validación de los mapas de amenaza y la identificación de las zonas afectadas en el casco urbano del municipio de San Agustín.

16.3 VULNERABILIDAD

16.3.1 Vulnerabilidad por movimientos en masa

A partir de los resultados correspondientes a la vulnerabilidad total de los elementos expuestos (predios, puentes y vías) presentados en el capítulo 12.4.1, se obtuvo la vulnerabilidad total correspondiente al casco urbano es media, teniendo en cuenta que el 73,8% de los predios y el 78,6% de la infraestructura vial presentan vulnerabilidad total media.

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

Tabla 207. Valor de la vulnerabilidad total por movimientos en masa para el casco urbano de San Agustín.

Zona de Estudio	IVT _Z	Categoría Vulnerabilidad
Casco urbano de San Agustín	0,58	Medio

Fuente: Geocing SAS.

16.3.2 Vulnerabilidad por inundación

A partir de los resultados correspondientes a la vulnerabilidad total de los elementos expuestos (predios y vías) presentados en el capítulo 12.4.1, se obtuvo la vulnerabilidad total presentada en la Tabla 208, estableciendo que el casco urbano se categoriza en baja, debido a que el casco urbano de 98,7% de los predios y el 98,2% de la infraestructura vial se encuentran categorizados en vulnerabilidad baja.

Tabla 208. Valor de la vulnerabilidad total por inundación para el casco urbano de San Agustín.

Zona de Estudio	IVT _Z	Categoría Vulnerabilidad
Casco urbano de San Agustín	0,18	Baja

Fuente: Geocing SAS.

16.3.3 Vulnerabilidad por avenida torrencial

Como se logró identificar el casco urbano de San Agustín se categoriza con vulnerabilidad baja con un valor de 0,19, esto debido a que como se presenta en el capítulo 12.4.4, 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 99,0% de los predios se categorizaron con vulnerabilidad baja, por la ubicación de los mismos respecto a la quebrada Las Moyas, ya que la afectación principal se ubica en los 50 metros de ronda de estos drenajes y las vías el 98,0% se encuentran clasificadas con vulnerabilidad baja.

Tabla 209. Valor de la vulnerabilidad total por avenida torrencial para el casco urbano de San Agustín.

Zona de Estudio	IVT _Z	Categoría Vulnerabilidad
Casco urbano de San Agustín	0,19	Baja

Fuente: Geocing S.A.S.



16.4 RIESGO

16.4.1 Riesgo por movimientos en masa

El casco urbano de San Agustín se encuentra categorizada con riesgo bajo por movimientos en masa tal como se presenta en la y el capítulo 13.6, con un índice de 0,10, debido a que los resultados de vulnerabilidad total y amenaza del casco urbano también se encuentran en categoría baja.

Tabla 210. Valor del riesgo por movimientos en masa para el casco urbano de San Agustín.

Zona de Estudio	IR	Categoría Riesgo
Casco urbano de San Agustín	0,10	Baja

Fuente: Geocing SAS.

En la Tabla 211 y Tabla 212, se presenta la categorización correspondiente a predios y vías categorizados por riesgo ante movimientos en masa en el casco urbano de San Agustín, identificando que existe un riesgo económico total de \$ 74,433,340,510, de los cuales \$ 73,078,028,800 corresponden a las pérdidas de predios y \$ 1,355,311,710 de vías. La totalidad de los 3.361 predios ubicados en el casco urbano presentan riesgo por movimientos en masa; la mayor proporción presenta riesgo bajo (2.693 predios). La malla vial de San Agustín corresponde a 30,60 Km de los cuales el 26,0 Km se encuentran identificados en riesgo bajo, seguido de 4,1 Km se encuentran en riesgo medio y finalmente 0,47 Km se encuentran en riesgo alto.

Tabla 211. 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
Casco urbano de San Agustín	\$ 73,078,028,800	2.693	478	190

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 212. Categoría de riesgo por movimientos en masa la infraestructura vial y sus pérdidas esperadas.

Zona	Riesgo económico directo total	Riesgo vías (m)		
		Bajo	Medio	Alto
Casco urbano de San Agustín	\$ 1,355,311,710	26.030	4.098	473

Fuente: Geocing SAS.



A pesar de que el casco urbano no presenta un riesgo algo, es necesario evaluar de manera detallada la situación correspondiente para los 190 predios y los 0,47 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 (\$ 29,752,331,202).

16.4.2 Riesgo por inundación

El casco urbano de San Agustín se encuentra categorizada con riesgo bajo por inundación tal como se presenta en la y el capítulo 13.6, con un índice de 0,01 (Tabla 213), debido a que los resultados de vulnerabilidad total y amenaza del casco urbano también se encuentran en categoría baja.

Tabla 213. Valor del riesgo por inundación para el casco urbano de San Agustín.

Zona de Estudio	IR	Categoría Riesgo
Casco urbano de San Agustín	0,01	Baja

Fuente: Geocing SAS.

En la Tabla 214 y Tabla 215, se presenta la categorización correspondiente a predios y vías categorizados por riesgo ante inundación en el casco urbano de San Agustín, identificando que existe un riesgo económico total de \$ 10,400,139,203, de los cuales \$ 10,232,552,437 corresponden a las pérdidas de predios y \$ 167,586,765 de vías. Los 3.361 predios ubicados en el casco urbano, todos presentan riesgo por inundación; la mayor proporción presenta riesgo bajo, esto debido a que la zona de mayor afectación en caso de una inundación es en los primeros 20 metros de ronda de la quebrada Las Moyas donde se ubican menos construcciones. La malla vial de San Agustín corresponde a 30,60 Km de los cuales el 30,3 Km se encuentran categorizados en riesgo bajo, seguido de 0,22 Km se encuentran en riesgo medio y finalmente 0,05 Km se encuentran en riesgo alto.

Tabla 214. Categoría de riesgo por inundación de las construcciones y sus pérdidas esperadas.

Zona	Riesgo económico directo total	Riesgo construcciones (N°)		
		Bajo	Medio	Alto
Casco urbano de San Agustín	\$ 10,232,552,437	3.325	10	26

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 SAN AGUSTÍN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN</p>

Tabla 215. Categoría de riesgo por inundación de la infraestructura vial y sus pérdidas esperadas.

Zona	Riesgo económico directo total	Riesgo vías (m)		
		Bajo	Medio	Alto
Casco urbano de San Agustín	\$ 167,586,765	30.337	215	49

Fuente: Geocing SAS.

A pesar de que el casco urbano no presenta un riesgo algo, es necesario evaluar de manera detallada la situación correspondiente para los 36 predios y los 0,264 Km que se encuentran categorizados con riesgo alto y medio ante inundación, para desarrollar acciones prioritarias que reduzcan su correspondiente impacto y riesgo económico directo (\$ 4,299,226,422).

16.4.3 Riesgo por avenida torrencial

Como se logra identificar en la Tabla 216 y el capítulo 13.7, el casco urbano de San Agustín presento una categorización de riesgo bajo por avenidas torrenciales con un valor de 0,02, esto debido a los resultados de amenaza y vulnerabilidad para el mismo con valores de 0,08 y 0,19 respectivamente.

Tabla 216. Valor del riesgo por avenida torrencial para el casco urbano de San Agustín.

Zona de Estudio	IR	Categoría Riesgo
Casco urbano de San Agustín	0,02	Baja

Fuente: Geocing S.A.S.

Se identifican el número de predios y los tramos viales para las correspondientes categorías de riesgo para avenidas torrenciales en el casco urbano de San Agustín, y el riesgo económico asociado a este evento; estableciendo que se presenta un riesgo económico total de \$ 11,163,354,011, de los cuales el 97% está asociado a las perdidas correspondiente a predios y el restante 3% a las afectaciones de la infraestructura vial. De los 3.361 predios ubicados en San Agustín el mayor número se ubica en riesgo bajo (3.316 predios), debido a la ubicación de la amenaza, la cual es mayor en los primeros 50 metros de ronda de la quebrada Las Moyas donde la presencia de construcciones es menor, el restante de los predios correspondientes a 45 se encuentran distribuidos así: el 0,92% en riesgo alto (31 predios) y el 0,42% en riesgo medio (14 predios). Para las vías donde el mayor tramo esta categorizado con riesgo bajo con 30,2 Km seguido de 0.31 Km que se encuentran categorizados en riesgo alto.

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

Tabla 217. Categoría de riesgo por avenida torrencial de las construcciones y sus pérdidas esperadas.

Zona	Riesgo económico directo total	Riesgo construcciones (N°)		
		Bajo	Medio	Alto
Casco urbano de San Agustín	\$ 10,825,085,967	3.316	14	31

Fuente: Geocing S.A.S.

Tabla 218. Categoría de riesgo por avenida torrencial de las vías y sus pérdidas esperadas

Zona	Riesgo económico directo total	Riesgo vías (m)		
		Bajo	Medio	Alto
Casco urbano de San Agustín	\$ 338,268,044	30.290	0	310

Fuente: Geocing S.A.S.

Aunque el casco urbano 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 \$ 4,817,779,635, los cuales corresponden a 31 predios y un tramo de 0,3 Km viales.



17 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



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

de la amenaza al municipio. *Memorias 2da Conferencia sobre riesgos geológicos en el Valle de Aburrá*. Medellín.

- 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.
- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología aplicada*.
- Cifuentes, D. (2011). Modelación de vulnerabilidad física de estructuras de uno o dos pisos, asociada a deslizamientos. *Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Colombia*.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

- 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.
- 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/>
- Coussot, P. (1996). *Rheology of Debris Flows - Study of Concentrated Dispersions and Suspensions. Tesis doctoral*. Grenobl: INPG.
- Coussot, 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
- DANE. (02 de 03 de 2016). *Archivo Nacional de Datos*. Obtenido de Colombia - Indice de Pobreza Multidimensional - IPM- 2015: 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.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

- 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: <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 anaysis 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 Maximun 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 Hidragráficas*.
- 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 EDUACIÓN.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

- 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.
- 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*.

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

- 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.* Bogota, 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.*
- 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, & CANCELLEERÍA. (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.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

- 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*.
- 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*.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

- 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). *Guía 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 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.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

- 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.
- 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.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

- 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 El Cocoy. 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.
- RAE. (2006). *Diccionario esencial de la lengua española. Real Academia Española y Asociación de Academias de la Lengua Española. 1.ª 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.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

- 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., & Ortegón, 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.
- Schmidt, K., Roering, J., Stock, J., Dietrich, W., Montgomery, D., & Shaub, 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). Defiición 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*.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

- 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. (2009). Deslizamientos. . En *Análisis Geotécnico Vol. 1 Capítulo 4. Análisis de Estabilidad*. Bucaramanga, Colombia: U.I.S Escuela de Filosofía.
- Suarez Díaz, J. (2009b). Deslizamientos. En *Análisis Geotécnico Vol. 1 Capítulo 4. Análisis de Estabilidad*. Bucaramanga, Colombia: U.I.S Escuela de Filosofía.
- 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.
- 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.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

- 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.
- 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.