

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

CONTROL DE CAMBIOS

ENTREGA DE INFORMES	ENTIDAD	Unidades
Original	CAM	1

CAMBIOS REALIZADOS

Versión	Cambios realizados respecto a la versión anterior	Fecha
V1	Ajuste a observaciones	28-08-19

APROBACIÓN CAMBIOS

Versión	Realizó	Revisó	Aprobó	Observaciones	Fecha
V0	JLN	MAV	FSS	Versión Inicial	25-04-18
V1	JLN	MAV	FSS	Versión Inicial	28-08-19

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

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

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	27
2	OBJETIVOS	28
2.1	OBJETIVO GENERAL.....	28
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	28
3	LOCALIZACIÓN	29
3.1	DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN	29
3.2	ACTIVIDADES REALIZADAS.....	30
3.3	ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SECUNDARIA	30
3.3.1	Estudios Previos.....	30
3.3.2	Noticias Destacadas Respecto a la Zona de Estudio.....	33
3.4	VISITA TÉCNICA.....	34
4	TOPOGRAFÍA	35
4.1	REGISTRO FOTOGRÁFICO LOCALIZACIÓN DE LOS GCP	35
4.2	IMAGEN AÉREA ORTO-RECTIFICADA	36
4.3	OPERACIONES DE CAMPO	38
4.4	PROCESAMIENTO Y RESULTADOS.....	39
4.5	INFORME Y POST-PROCESO	39
4.6	PROCESAMIENTO DE IMAGEN AÉREA ORTO-RECTIFICADA Y DEM	40
5	GEOLOGÍA.....	42
5.1	METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	42
5.2	GEOLOGÍA REGIONAL	43
5.2.1	Estratigrafía	45
5.3	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	48
5.3.1	La Falla Nátaga-Chusma.....	50
5.3.2	Anticlinal de Nátaga.....	51
5.3.3	Geomorfología regional	51
5.4	GEOLOGÍA LOCAL.....	52
5.4.1	Aspectos locales.....	53
5.4.2	Unidades de roca	56
5.4.3	Unidades de suelos	59
5.4.4	Condiciones Estructurales Locales	67
6	GEOMORFOLOGÍA	70
6.1	GEOMORFOLOGÍA REGIONAL	70
6.2	GEOMORFOLOGÍA LOCAL.....	71
6.2.1	Antrópico	72
6.2.2	Denudacional.....	76
6.2.3	Mixto Denudacional – Agradacional.....	77

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

6.2.4	Fluvial.....	79
6.3	ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE AEROFOTOGRAFÍAS	83
6.3.1	Año 1972	83
6.3.2	Año 1988	84
6.3.3	Año 2004	85
6.3.4	Año 2018	86
6.3.5	Resumen Multitemporal Años 1972 a 2018	87
6.4	MORFODINÁMICA.....	87
6.4.1	Socavación lateral	89
6.4.2	Erosión laminar en surcos y en cárcavas.....	91
6.4.3	Movimientos en masa.....	92
	Movimientos superficiales (Reptación o Creep)	93
	Deslizamientos rotacionales	95
	Deslizamiento complejo.....	96
7	CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS	98
7.1	HIDROGEOLOGÍA REGIONAL	98
7.2	MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL.....	100
7.2.1	Clasificación de las Unidades Hidrogeológicas.....	100
8	CONDICIONES SISMOLÓGICAS	102
9	COBERTURA Y USO DEL SUELO	103
9.1	METODOLOGÍA.....	103
9.1.1	Caracterización de la cobertura vegetal.....	103
9.2	RECOPIACIÓN, REVISIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	104
9.2.1	Revisión Información Primaria	104
9.2.2	Estudio general de mosaico e Imagen aérea orto-rectificada.....	104
9.2.3	Análisis de Imagen aérea orto-rectificadas	104
9.2.4	Fotointerpretación.....	105
9.2.5	Sistema de clasificación y leyenda	105
9.2.6	Unidades de cobertura	105
9.2.7	Fase Ejecutoria.....	106
9.2.8	Fase de campo.....	106
9.3	CARACTERIZACIÓN DE COBERTURAS	106
9.3.1	Análisis de Información.....	106
9.3.2	Descripción general de coberturas	108
10	HIDROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA.....	121
10.1	CLIMATOLOGÍA.....	121
10.1.1	Precipitación	122
10.1.2	Temperatura.....	124
10.1.3	Evaporación.....	126

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

10.1.4	Humedad Relativa.....	127
10.1.5	Brillo solar.....	129
10.1.6	Punto de Rocío.....	130
10.2	IDENTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LAS CUENCAS DE DRENAJE.....	130
10.3	TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN DE LAS CUENCAS.....	132
10.4	ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS Y CURVA PDF E IDF.....	133
10.4.1	Análisis de Precipitación Máxima y Curvas PDF e IDF.....	134
10.4.2	Análisis de Precipitación Máxima en 24 horas.....	134
10.4.3	Curvas PDF e IDF de las estaciones representativas.....	137
10.5	CAUDALES MÁXIMOS.....	138
10.5.1	Caudales Máximos obtenidos.....	140
11	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA.....	144
11.1	RESULTADOS DE EXPLORACIÓN INDIRECTA.....	147
11.2	RESULTADOS DE EXPLORACIÓN DIRECTA.....	153
11.2.1	Suelo residual formación caballos Sr-K1c.....	153
11.2.2	Roca Blanda Formación caballos - Lodolitas meteorizadas (Rb-K1c-lm).....	158
11.2.3	Roca Intermedia Formación Caballos Lodolitas (Ri-K1c-l).....	162
11.2.4	Roca Dura Formación Caballos Areniscas (Rd-K1c-a).....	166
11.2.5	Perfil geológico- geotécnico Nátaga.....	168
11.2.6	Perfil geológico- geotécnico Nátaga.....	169
12	ANÁLISIS DE LA AMENAZA.....	170
12.1	AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA.....	170
12.1.1	Mapa de laderas.....	172
12.1.2	Análisis de estabilidad de taludes.....	178
12.1.3	Método Probabilístico De Análisis De Estabilidad De Taludes- Simulación de Montecarlo.....	181
12.1.4	Definición de las distribuciones de probabilidad de las variables Independientes.....	183
12.1.5	Análisis de amenaza por movimientos en masa.....	185
12.1.6	Categorización de la Amenaza.....	186
12.1.7	Resultados de los Análisis de Estabilidad.....	187
12.1.8	Mapa de Amenaza por Movimientos en Masa.....	197
12.1.9	Punto Crítico 1- Stir 2 -Iglesia.....	201
12.1.10	Punto Crítico 2- Stir 2 –Cancha de Futbol.....	202
12.1.11	Punto Crítico 3- Stir 3 –Barrio Nuevo.....	203
12.2	AMENAZA POR INUNDACIÓN.....	205
12.2.1	Descripción general del software HEC- RAS.....	207
12.2.2	Modelo Digital de Elevación- DEM.....	209
12.2.3	Rugosidad (Manning’s Value).....	210
12.2.4	Definición 2D Flow Area.....	211
12.2.5	Condiciones de Entrada y Salida.....	212

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

12.2.6	Modelación HEC-RAS 2D.....	213
12.2.7	Categorización de la Amenaza	217
12.2.8	Evaluación de la amenaza por inundación.....	217
12.3	AMENAZA POR AVENIDA TORRENCIAL	220
12.3.1	Modelación FLOW-R	220
13	VULNERABILIDAD	222
13.1	METODOLOGÍA APLICADA PARA LA VULNERABILIDAD FÍSICA Y SOCIAL.....	223
13.1.1	Metodología AHP	223
13.1.2	Objetivo	223
13.1.3	Obtención de los pesos ponderados.....	224
13.1.4	Cálculo de la razón de consistencia.....	225
13.1.5	Fuzzificación de la matriz de comparaciones.....	226
13.1.6	Cálculo del vector de pesos fuzzificados	227
13.1.7	Selección del alfa-corte y el valor de kappa para determinar el valor de pesos normalizados	228
13.1.8	Método de calificación	228
13.1.9	Combinación lineal ponderada (WLC)	229
13.2	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD FÍSICA.....	230
13.2.1	Vulnerabilidad física por movimientos en masa	230
13.2.2	INFRAESTRUCTURA VIAL.....	232
13.2.3	Vulnerabilidad física por inundaciones.....	238
13.2.4	Vulnerabilidad física por Avenidas Torrenciales.....	246
13.2.5	Índice de Daño Actual (IDa).....	249
13.2.6	Categorización del Índice de vulnerabilidad física (IVF).....	261
13.2.7	Índice de vulnerabilidad física (IVF)	261
13.2.8	Predicción de datos faltantes índice de Vulnerabilidad Física.....	263
13.2.9	Análisis de resultados vulnerabilidad física total por movimientos en masa.....	263
13.2.10	Análisis de resultados vulnerabilidad física por inundaciones	267
13.3	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SOCIAL	270
13.3.1	Vulnerabilidad Cultural.....	270
13.3.2	Parámetros de Evaluación para la Vulnerabilidad Socioeconómica.....	272
13.3.3	Categorización Vulnerabilidad Social Total.....	285
13.3.4	Predicción de datos faltantes Vulnerabilidad Social.....	286
13.3.5	Análisis de resultados vulnerabilidad social	286
13.4	VULNERABILIDAD TOTAL	289
13.4.1	Categorización de la vulnerabilidad Total	290
13.4.2	Análisis de resultados vulnerabilidad total por movimientos en masa	290
13.4.3	Análisis de resultados vulnerabilidad total por inundaciones.....	293
14	RIESGO.....	295
14.1	GENERALIDADES	295
14.2	COSTO DIRECTO DE LOS ELEMENTOS EN RIESGO.....	295

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

14.2.1	Costo por Construcción	295
14.2.2	Costo por infraestructura Vial	296
14.3	MÉTODO DE ANÁLISIS	298
14.3.1	Cálculo Del Riesgo Global Por Zona	300
14.3.2	Criterios Aplicados.....	301
14.4	ANÁLISIS DE RESULTADOS RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA	302
14.5	RESULTADOS OBTENIDOS DEL RIESGO POR INUNDACIÓN	306
15	MEDIDAS DE MITIGACIÓN.....	309
15.1	MOVIMIENTOS EN MASA	309
15.1.1	Medidas no estructurales.....	309
15.1.2	Medidas Estructurales	310
15.2	INUNDACIÓN.....	330
15.2.1	Medidas no estructurales.....	330
15.2.2	Medidas estructurales.....	330
15.3	MITIGABILIDAD DEL RIESGO ALTO.....	334
15.3.1	Mitigabilidad por Movimientos en masa	334
15.3.2	Mitigabilidad por Inundación	334
16	RONDA HÍDRICA Y ZONIFICACIÓN AMBIENTAL.....	337
16.1	RONDA HÍDRICA.....	337
16.1.1	Elementos constituyentes de la ronda hídrica.....	338
16.1.2	Estrategias para el manejo ambiental de las rondas hídricas.	340
16.2	ZONIFICACIÓN AMBIENTAL.....	340
16.2.1	Área de exclusión (AE) Sensibilidad muy alta.....	342
16.2.2	Área de Alta restricción (AAR) Sensibilidad alta	344
16.2.3	Área de Mediana restricción (AMR) Sensibilidad Media	347
16.2.4	Área de Alta restricción (AAR) Sensibilidad alta	347
17	CONCLUSIONES	350
17.1	AMENAZA	350
17.1.1	Amenaza por movimientos en masa.....	350
17.1.2	Amenaza por inundación	351
17.2	VULNERABILIDAD.....	351
17.2.1	Vulnerabilidad por movimientos en masa	351
17.2.2	Vulnerabilidad Por Inundación	352
17.3	RIESGO	352
17.3.1	Riesgo por movimientos en masa.....	352
17.3.2	Riesgo Por Inundación	353
18	BIBLIOGRAFÍA	355

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

ANEXOS GENERALES

- 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. GEODATABASE

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

LISTA DE PLANOS GENERALES

MAPA	NOMENCLATURA
PL-01 PLANO TOPOGRÁFICA	GE426-NAT-PSIG-TPG-001-00
PL-02 MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL	GE426-NAT-PSIG-MD-002-00
PL-03 IMAGEN SATELITAL	GE426-NAT-PSIG-ISL-003-00
PL-04 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO	GE426-NAT-PSIG-ES-004-00
PL-05 COBERTURA Y USO DE SUELO	GE426-NAT-PSIG-CS-005-00
PL-06 GEOLOGÍA LOCAL	GE426-NAT-PSIG-GE-006-00
PL-07 GEOMORFOLOGÍA	GE426-NAT-PSIG-GM-007-00
PL-08 AMENAZA	GE426-NAT-PSIG-AZI-001-00
	GE426-NAT-PSIG-ARM-001-01
PL-09 RIESGO	GE426-NAT-PSIG-RMM-001-00
	GE426-NAT-PSIG-RPI-001-00
	GE426-NAT-PSIG-VFI-001-00
	GE426-NAT-PSIG-VFR-001-00
PL-10 VULNERABILIDAD	GE426-NAT-PSIG-VCS-001-00
	GE426-NAT-PSIG-VTI-001-00
	GE426-NAT-PSIG-VTR-001-00
	GE426-NAT-PSIG-RON-001-00
PL-11 RONDA	GE426-NAT-PSIG-RON-002-00
	GE426-NAT-PSIG-RON-003-00
PL-12 ZONIFICACIÓN AMBIENTAL	GE426-NAT-PSIG-ZFA-001-00
	GE426-NAT-PSIG-DOB-001-00
	GE426-NAT-PSIG-DOB-002-00
PL-13 OBRAS	GE426-NAT-PCAD-DOB-003-00
	GE426-NAT-PCAD-DOB-004-00
	GE426-NAT-PCAD-DOB-005-00

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

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cuadro de puntos de amarre.....	35
Tabla 2. Relación de Aerofotografías utilizadas para el estudio de Geología y Geomorfología del municipio de Nátaga, Huila.	43
Tabla 3. Correlación de Formaciones propuesta para la plancha 344 Tesalia.....	45
Tabla 4. Perfil de meteorización utilizado para agrupar los materiales geológicos en el mapa de unidades Geológicas de ingeniería. Tomado y modificado de Dearman (1974, 1991).....	53
Tabla 5. Unidades geológicas de Ingeniería (UGI).....	66
Tabla 6. Mediciones de estratificación y familia de diaclasas en el terreno	67
Tabla 7. Inclinação de laderas. Vargas (2001).	71
Tabla 8. Longitud de laderas, Van Zuidam (1986)	72
Tabla 9. Unidades geomorfológicas	80
Tabla 10. Relación de Fotografías aéreas e imágenes empleadas en el desarrollo de este capítulo	83
Tabla 11. Tipos de Movimientos en Masa de Varnes (1978) (Tomado y adaptado de Carvajal, 2005).....	88
Tabla 12. Clasificación de unidades hidroestratigráficas en la zona de estudio.....	101
Tabla 13 Coeficientes de diseño sísmico	102
Tabla 14 Valores de KST/amax.....	102
Tabla 15. Sistema de coordenadas utilizadas en el mapa de cobertura municipio de Nátaga.....	104
Tabla 16. Leyenda del mapa de cobertura a escala 1:2.000 para el municipio de Nátaga.....	106
Tabla 17. Leyenda de Actualización del mapa de cobertura a escala 1:2.000 del área del municipio de Nátaga	107
Tabla 18: Información cartográfica en el municipio de Nátaga.....	121
Tabla 19: Información hidrometeorológica	121
Tabla 20: Estaciones representativas por municipio (casco urbano).	122
Tabla 21: Valores de Precipitación Mensual.	123

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

Tabla 22: Valores Medios de Temperatura Mensual.....	125
Tabla 23: Valores Totales de Evaporación Mensual.	127
Tabla 24: Valores Medios mensuales de Humedad Relativa.	128
Tabla 25: Parámetros morfométricos obtenidos en las cuencas de los puntos críticos	131
Tabla 26: Estimación de los tiempos de concentración de las cuencas de los puntos críticos.....	133
Tabla 27 Duraciones de lluvia periodos de retorno	134
Tabla 28 Relaciones entre lluvia y tiempo.....	134
Tabla 29: Serie Anual de Precipitación Máxima en 24 horas. Estación Nátaga.	135
Tabla 30: Ajuste a funciones de distribución de probabilidades. Estación Nátaga.....	135
Tabla 31: Precipitación Máxima en 24 horas estimada en la Estación Nátaga.	136
Tabla 32: Curvas de Precipitación – Duración – Frecuencia (PDF) de la Estación Nátaga.....	137
Tabla 33: Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) de la Estación Nátaga.	137
Tabla 34: Caudales Máximos esperados en el Punto Crítico 1.	140
Tabla 35: Caudales Máximos esperados en el Punto Crítico 2.	141
Tabla 36: Caudales Máximos esperados en el Punto Crítico 3.	141
Tabla 37: Caudales Máximos esperados en el Punto Crítico 4.	141
Tabla 38: Caudales Máximos esperados en el Punto Crítico 5.	142
Tabla 39: Caudales Máximos esperados en el Punto Crítico 6.	142
Tabla 40: Caudales Máximos esperados en el Punto Crítico 7.	142
Tabla 41: Caudales Máximos esperados en el Punto Crítico 8.	143
Tabla 42. Coordenadas Exploración directa- Perforaciones	145
Tabla 43. Coordenadas Exploración Geofísica Líneas Sísmica.....	145
Tabla 44. Normas INVIAS para ensayos de laboratorio.....	146
Tabla 45. Coordenadas Exploración Geofísica Líneas Sísmica.....	148
Tabla 46. Clasificación Ripabilidad Vp L1.	149
Tabla 47. Resumen Perfil simple Vp L1.	150
Tabla 48. Resumen Tomografía Vs L1.....	150

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

Tabla 49. Clasificación Ripabilidad Vp L2.	151
Tabla 50. Resumen Tomografía Sísmica Vp L2.....	152
Tabla 51. Resumen Tomografía Vs L2.....	152
Tabla 52 Parámetros de resistencia para el suelo Residual Sr-K1c.....	156
Tabla 53 Correlación mediante el SPT para la estimación de los parámetros de resistencia de Suelo residual.....	157
Tabla 54 Correlación mediante el SPT para la estimación de los parámetros de resistencia de Suelo residual.....	158
Tabla 55 Parámetros de resistencia para la roca blanda Rb-K1c	161
Tabla 56 Correlación mediante el SPT para la estimación de los parámetros de resistencia de Roca Blanda.....	161
Tabla 57 Correlación mediante el SPT corte directo para la estimación de los parámetros de resistencia de Roca Blanda.....	162
Tabla 58 Parámetros de resistencia para la roca intermedia Ri-K1c-l.....	163
Tabla 59 Correlación mediante el SPT para la estimación de los parámetros de resistencia de Roca Intermedia	164
Tabla 60 Caracterización mediante RMR para la estimación de los parámetros de resistencia de Roca Intermedia	165
Tabla 61 Caracterización mediante Hooke and Brown para la estimación de los parámetros de resistencia de Roca Intermedia	165
Tabla 62 Parámetros de resistencia para la roca dura Rd-K1c-a.....	166
Tabla 63 Caracterización mediante RMR para la estimación de los parámetros de resistencia de Roca Dura	167
Tabla 64 Caracterización mediante Hooke and Brown para la estimación de los parámetros de resistencia de Roca Dura.	167
Tabla 65 Perfil Geotécnico del área de estudio.....	169
Tabla 66. Tipos de movimientos en masa, de acuerdo con Varnes (1978).....	170
Tabla 67. Influencia de los diferentes factores.	171
Tabla 68. 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.	181
Tabla 69. Escenarios de variación del nivel freático.....	184
Tabla 70 Perfil Geotécnico del área de estudio.....	184

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

Tabla 71. Parámetros de resistencia asignados a las unidades de suelo.	184
Tabla 72. Probabilidad de los escenarios de análisis.....	185
Tabla 73. Categorización propuesta para la amenaza por movimientos en masa.	186
Tabla 74. Probabilidad de falla para las abscisas del perfil representativo P23.	196
Tabla 75. Probabilidad de falla total para las abscisas del perfil representativo P23. ..	197
Tabla 76. Distribución de las categorías de Amenaza movimientos en masa.....	201
Tabla 77. Categorización de la amenaza por inundación.....	217
Tabla 78. Distribución de la Amenaza por Inundación	219
Tabla 79. Escala numérica para comparación entre pares	225
Tabla 80. Índices de aleatoriedad (IA) de las matrices de comparaciones por pares, según su orden (Ormazábal, 2002).....	225
Tabla 81. Valores del número difuso triangular para las diferentes categorías borrosas.	227
Tabla 82. Criterios de resistencia de la estructura.	231
Tabla 83. Tipología de las viviendas.	231
Tabla 84. Clasificación de los daños según el DRM.	232
Tabla 85. Clasificación de la tipología de vías.....	233
Tabla 86. Clasificación de los daños de la infraestructura vial.	233
Tabla 87. Rangos de velocidad utilizadas en el estudio.	234
Tabla 88. Categorías de las presiones laterales utilizadas en el estudio.	234
Tabla 89. Matriz de daño utilizada en el estudio.	235
Tabla 90. Matriz de daño para infraestructura vial para los tipos de vías presentes en el municipio	235
Tabla 91. Categoría de Daños según materiales y estructura.	241
Tabla 92. Clasificación Difusa del índice de daño potencial de las viviendas.	244
Tabla 93. Clasificación Difusa del índice de daño potencial de la infraestructura vial. .	245
Tabla 94. Categoría de Daños según materiales y estructura para avenidas torrenciales.	246
Tabla 95. Índice de Daño Potencial por avenidas torrenciales de las Viviendas de 1 Piso.	246

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

Tabla 96. Índice de Daño Potencial por avenidas torrenciales de las Viviendas de Poca Altura.....	247
Tabla 97. Índice de Daño Potencial por avenidas torrenciales de las Viviendas de Altura Intermedia.	247
Tabla 98. Índice de Daño Potencial por avenidas torrenciales de las Viviendas de Gran Altura.....	248
Tabla 99. Clasificación Difusa del índice de daño potencial por avenidas torrenciales de las viviendas.....	248
Tabla 100. Pesos ponderados - Parámetro: Edad de la Construcción.....	249
Tabla 101. Pesos - Parámetro: Número de pisos.....	250
Tabla 102. Pesos - Parámetro: Forma de construcción.	251
Tabla 103. Pesos – Tipo de entrepiso.....	252
Tabla 104. Pesos - Parámetro: Tipo de Cubierta.	252
Tabla 105. Pesos - Parámetro: Sistema Estructural.....	253
Tabla 106. Pesos - Parámetro: Estado del inmueble.	254
Tabla 107. Pesos ponderados - Parámetro: Daños en toda la construcción.....	255
Tabla 108. Pesos – Parámetro Localización de los Agrietamientos en la Estructura de la edificación.	256
Tabla 109. Pesos – Parámetro Localización de las Humedades en la Estructura de la edificación.	256
Tabla 110. Pesos - Parámetro: Severidad de Daños.	257
Tabla 111. Pesos - Parámetro: Tipología de la vivienda.	258
Tabla 112. Pesos de los parámetros evaluados para calcular el índice de daño actual.	261
Tabla 113. Categorización del índice de vulnerabilidad física.	261
Tabla 114. Números difusos utilizados para valorar el ID (potencial y actual) con una confianza del 100%	262
Tabla 115. Categorización de los parámetros para la vulnerabilidad cultural.	271
Tabla 116. Valoración de los parámetros Comunidades étnicas y Lugar de Procedencia	272
Tabla 117. Categorización de los parámetros para la vulnerabilidad socioeconómica.....	273

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

Tabla 118. Valoración del parámetro edad vulnerable.....	274
Tabla 119. Valoración del parámetro educación.....	275
Tabla 120. Valoración del parámetro Limitación Física.....	277
Tabla 121. Valoración del parámetro Uso Actual.....	278
Tabla 122. Valoración de Servicios Públicos.....	279
Tabla 123. Matriz de Comparación para la evaluación de las variables de la Vulnerabilidad Socioeconómica	281
Tabla 124. Pesos ponderados de las variables obtenidos por el método AHP para la Vulnerabilidad Socioeconómica.....	281
Tabla 125 Matriz de Comparación Borrosa para el cálculo de pesos difusos de las variables de la Vulnerabilidad Socioeconómica.....	283
Tabla 126. Vector de pesos difusos para las variables evaluadas en la Vulnerabilidad Socioeconómica.....	284
Tabla 127. Intervalos izquierdo y derecho (P_{α} -left y P_{α} -right respectivamente) del vector de pesos para la Vulnerabilidad Socioeconómica.....	284
Tabla 128. Pesos Normalizados de las Variables para la evaluación de la Vulnerabilidad Socioeconómica.....	285
Tabla 129. Categorización de los parámetros para la vulnerabilidad social.....	285
Tabla 130. Categorización de la vulnerabilidad Total.....	290
Tabla 131. Costo estimado para las vías (Valor en m/l).....	297
Tabla 132. Categorización del riesgo.....	302
Tabla 133. Valores de los índices de vulnerabilidad, amenaza y riesgo por movimientos en masa.....	303
Tabla 134. Valores de los índices de vulnerabilidad, amenaza y riesgo por inundación	306
Tabla 135. Presupuesto reubicación vivienda.....	331
Tabla 136. Presupuesto demolición parcial.....	332
Tabla 137. Relación de áreas de exclusión zona de estudio	342
Tabla 138 Área de protección para cauces secundarios.....	344
Tabla 139 Cuñas probables de falla para un talud vertical a diferentes alturas	346
Tabla 140. Áreas de zonificación ambiental para la zona de estudio.....	348

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

Tabla 141 Resumen de área de la zonificación ambiental	348
Tabla 142. Valor de la vulnerabilidad total por movimientos en masa.....	352
Tabla 143. Valor de la vulnerabilidad total por inundación	352
Tabla 144. Valor del riesgo por movimientos en masa.....	352
Tabla 145. Categoría de riesgo por Movimientos en Masa de las construcciones y sus pérdidas esperadas.....	353
Tabla 146. Categoría de riesgo por Movimientos en Masa de las vías y sus pérdidas esperadas.....	353
Tabla 147. Valor del riesgo por Inundación.....	353
Tabla 148. Categoría de riesgo por inundación de las construcciones y sus pérdidas esperadas.....	353
Tabla 149. Categoría de riesgo por inundación de las vías y sus pérdidas esperadas	353

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

ÍNDICE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Localización general de la zona de estudio-municipio de Nátaga.....	29
Ilustración 2 Amenaza alta por movimientos en masa clasificados como erosión en surcos y cárcavas en la Vereda El Triunfo (CAM - Idea UN, 1999).....	32
Ilustración 3. Fotografía del municipio de Nátaga	34
Ilustración 4. Procedimiento en campo toma de GCP.....	36
Ilustración 5 Imagen aérea orto-rectificada del municipio de Nátaga.....	37
Ilustración 6. Líneas de vuelo proyecto Nátaga.....	40
Ilustración 7. Resolución de la imagen.....	41
Ilustración 8. Vista a nivel regional de los aspectos geológicos, litológicos y estructurales más importantes que han interactuado en conjunto, otorgándole la configuración actual que presenta la zona del casco urbano del poblado de Nátaga, con su respectiva leyenda. Tomado y modificado de la plancha geológica 344 “Tesalia” a escala 1: 100.000 del SGC.....	44
Ilustración 9. Esquema estructural del Departamento del Huila. Tomada y modificada de la memoria del mapa geológico del Departamento del Huila, Esc. 1: 300.000 (SGC, 2001). Dentro del recuadro negro se observa la ubicación relativa de Nátaga.	50
Ilustración 10. Principales rasgos geomorfológicos a nivel regional y Perfil de elevación del casco urbano de Nátaga.....	52
Ilustración 11. Factor G.S.I para Macizos Rocosos.....	54
Ilustración 12. Afloramiento en la quebrada El Pueblo en la parte oriental de la zona de estudio.....	57
Ilustración 13. Roca intermedia de la Formación Caballos-Iodolitas (Ri-K1c-I).	58
Ilustración 14. Sondeo mecánico 3 (SMe-3) realizado en cercanías a la iglesia.....	58
Ilustración 15. Sondeo mecánico 2 (SMe-2).....	59
Ilustración 16.Suelo residual sedimentario de la Formación Caballos (Srs-K1c)	60
Ilustración 17. Suelo transportado de origen fluvial, tipo aluvial activo (Stfaa).....	61
Ilustración 18. Suelo antrópico, rellenos indiferenciados (Sarin).....	62
Ilustración 19. Fotografía tomada hacia el sureste. Suelo antrópico, relleno ingenieril (Sari) para la construcción de vías principales dentro del casco urbano.....	63

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

Ilustración 20. Fotografía tomada hacia el occidente. Depósitos antrópicos, rellenos de escombros (Sade) en laderas conformadas por acción antrópica.....	64
Ilustración 21. Suelo traslocado de inestabilidad reciente (Stir-2) en un deslizamiento rotacional contiguo a la catedral.....	65
Ilustración 22. Fotografía tomada hacia el norte. Depósitos de procesos de inestabilidad reciente (Stir) al suroriente del área de estudio, generado por un movimiento superficial tipo Reptación sobre suelo residual de la Formación Caballos.	66
Ilustración 23. Mapa geológico del municipio de Nátaga	69
Ilustración 24. Principales rasgos geomorfológicos y Perfil de elevación del casco urbano de Nátaga.....	71
Ilustración 25.. Geoforma de origen antrópico, Relleno de escombros y/o escombreras (Are)	73
Ilustración 26. Fotografía tomada hacia el oriente. Geoformas de origen antrópico, Superficie de explanación (Asp).....	74
Ilustración 27. Geoformas de origen antrópico, Planos y campos de llenos antrópicos (Ar) ubicados en el Barrio Nuevo	75
Ilustración 28. Fotografía tomada hacia el oriente. Geoformas de origen antrópico, corte en ladera (Acl) exponiendo lutitas en el talud de una cancha de fútbol ubicada en la parte norte del área de estudio.....	76
Ilustración 29. En una ladera con morfología alomada, con pendiente inclinada y de longitud moderada a larga, geoforma de origen Denudacional Ladera ondulada (Dlo). 77	
Ilustración 30. Geoforma de origen Mixto Denudacional – Agradacional, Laderas en movimiento o con inestabilidad reciente (MDAmir-1) generada por un movimiento superficial tipo Reptación	78
Ilustración 31. Geoforma de origen Mixto Denudacional – Agradacional, Laderas en movimiento o con inestabilidad reciente (MDAmir-2) generada por un deslizamiento tipo Rotacional	79
Ilustración 32. Fotografía tomada hacia el suroccidente Geoforma de origen fluvial de tipo Cauce aluvial (Fca) en la quebrada El Pueblo.....	80
Ilustración 33. Mapa geomorfología local del municipio de Nátaga.....	82
Ilustración 34. Aerofotografía 253, vuelo C-1422	84
Ilustración 35. Fotografía aérea 91, Vuelo C2336	85
Ilustración 36. Aerofotografía 124, Vuelo C-2731.....	86

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

Ilustración 37. Imagen aérea orto-rectificada del casco urbano de Nátaga. Autor: GEOCING S.A.S	87
Ilustración 38. Socavación lateral y de fondo en la quebrada El Pueblo, al sur de la zona de estudio.....	90
Ilustración 39. Fotografía tomada hacia el noroccidente. Erosión laminar y en surcos de leve a moderada magnitud en un talud realizado para la adecuación de terrenos para construcción de viviendas en la zona de expansión de Nátaga.	92
Ilustración 40. Fotografía tomada hacia el oriente. Erosión laminar y en surcos al suroriente de Nátaga.....	92
Ilustración 41. Movimiento superficial tipo reptación hacia el extremo nororiental de la zona de estudio.....	94
Ilustración 42. Movimiento superficial tipo Reptación al oriente de la zona de estudio. .	94
Ilustración 43. Movimiento superficial tipo Reptación en una cancha al norte de Nátaga.	95
Ilustración 44. Hundimientos en la vía al oriente de la iglesia	96
Ilustración 45. Deslizamiento rotacional en un predio contiguo a la iglesia. Nótese los hundimientos en forma de cuchara característicos en este tipo de deslizamientos, además de las irregularidades en la superficie del terreno que pueden indicar que el movimiento es relativamente lento. Con la flecha roja se indica el vector principal de desplazamiento, de suroriente a noroccidente	96
Ilustración 46. Fotografía tomada hacia el sureste. Movimiento complejo en la ladera oriental de la cancha de fútbol al noreste de Nátaga.	97
Ilustración 47. Mapa de Unidades Hydroestratigráficas de Colombia, IDEAM.....	99
Ilustración 48. Mapa hidrogeológico de Colombia (SGC, 1989). El polígono rojo indica la ubicación de la zona de estudio	99
Ilustración 49. Tejido urbano continuo.....	108
Ilustración 50. Tejido urbano discontinuo.	109
Ilustración 51. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados.	110
Ilustración 52 Escombreras.....	110
Ilustración 53 Parque cementerio.....	111
Ilustración 54. Instalaciones recreativas.....	111
Ilustración 55 Cultivo de Maíz.	112

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

Ilustración 56 Cultivo de Plátano.....	113
Ilustración 57 Cultivo de café.....	114
Ilustración 58. Pastos limpios.....	114
Ilustración 59. Pastos arbolados.....	115
Ilustración 60. Pastos enmalezados.....	116
Ilustración 61 Mosaico de cultivos con espacios naturales.....	117
Ilustración 62 Bosque ripario.....	118
Ilustración 63 Herbazal abierto.....	119
Ilustración 64 Arbustal.....	119
Ilustración 65 Cobertura del municipio de Nátaga.....	120
Ilustración 66 Distribución espacial de la Precipitación Anual Total.....	123
Ilustración 67 Distribución media mensual de precipitación (mm).....	124
Ilustración 68 Distribución espacial Temperatura media mensual (Isotherma).....	125
Ilustración 69 Distribución Temperatura media mensual.....	126
Ilustración 70 Distribución espacial de la Evaporación Anual Total en mm.....	126
Ilustración 71 Distribución evaporación media mensual.....	127
Ilustración 72 Distribución espacial de la Humedad Relativa (%) Anual.....	128
Ilustración 73 Distribución Humedad relativa.....	129
Ilustración 74 Distribución espacial de la Brillo solar Anual.....	130
Ilustración 75 Cuencas de los puntos críticos identificados en el municipio de Nátaga.....	131
Ilustración 76 Localización de la estación Nátaga. Polígonos de Thiessen.....	135
Ilustración 77 Localización de la exploración directa.....	144
Con el fin de conocer el perfil de suelo así como el modelo geológico-geotécnico del área de estudio, se realizaron 2 líneas de refracción sísmica, en la Tabla 43 se identifican por medio de coordenadas el inicio y el fin de cada línea y en la Ilustración 78 se observan las zonas donde se desarrolló cada ensayo.....	145
Ilustración 79 Localización Exploración Geofísica.....	145
Ilustración 80 Localización Exploración Geofísica en el municipio de Nátaga.....	148
Ilustración 81 Proceso de ejecución LRS-01.....	149

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

Ilustración 82. Modelo Simplificado LRS-01	149
Ilustración 83. Tomografía sísmica LRS-01.....	150
En general el perfil unidimensional presenta una velocidad de corte promedio Vs 467 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 /roca blanda. (Ver Ilustración 84).....	150
Ilustración 85 .Perfil bidimensional (2D) Vs MASW-01.....	150
Ilustración 86 Proceso de ejecución LRS-02.....	151
Ilustración 87 .Modelo Simplificado LRS-02.....	151
Ilustración 88. Tomografía sísmica LRS-02.....	152
En general el perfil unidimensional presenta una velocidad de corte promedio Vs 497.5 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. (Ver Ilustración 89).....	152
Ilustración 90 Perfil bidimensional (2D) Vs MASW-02.....	152
Ilustración 91.E= 1141521, N= 773231, Fotografía tomada hacia el norte. Suelo residual sedimentario de la Formación Caballos (Sr-K1c).....	153
Ilustración 92 Perfil de campo, reporte de N45 con N160.	154
Ilustración 93 Variación de las propiedades índices Wn, LL, LP e IP en profundidad..	155
Ilustración 94 Variación granulométrica y clasificación unificada de suelos en profundidad	156
Ilustración 95. Sondeo mecánico 3 (SM-3) realizado en cercanías a la iglesia.....	159
Ilustración 96 Variación de la propiedades índices Wn, LL, LP e IP en profundidad....	160
Ilustración 97 Variación granulométrica y clasificación unificada de suelos en profundidad Fuente: Geocing SAS.....	160
Ilustración 98. Roca intermedia de la Formación Caballos-Iodolitas (Ri-K1c-l)	163
Ilustración 99 Perfil Geotécnico del área de estudio.	168
Ilustración 100. Mapa de aspecto generado para el casco urbano del municipio de Nátaga.....	174
Ilustración 101. Mapa de pendientes casco urbano del municipio de Nátaga.....	175
Ilustración 102. Mapa de Ladera municipio de Nátaga.	176
Ilustración 103. Perfiles típicos para los análisis de estabilidad, municipio de Nátaga.	177
Ilustración 104 Distribución de probabilidad del Factor de Seguridad.....	180

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

Ilustración 105. Modelo geológico – geotécnico para el perfil representativo P23.	188
Ilustración 106. Análisis de estabilidad para el perfil representativo P23. Escenario 1.	189
Ilustración 107. Análisis de estabilidad para el perfil representativo P23. Escenario 2.	190
Ilustración 108. Análisis de estabilidad para el perfil representativo P23. Escenario 3.	191
Ilustración 109. Análisis de estabilidad para el perfil representativo P23. Escenario 4.	192
Ilustración 110. Análisis de estabilidad para el perfil representativo P23. Escenario 5.	193
Ilustración 111. Factor de Seguridad del perfil representativo P23. Escenario 1.	194
Ilustración 112. Factor de Seguridad del perfil representativo P23. Escenario 2.	194
Ilustración 113. Factor de Seguridad del perfil representativo P23. Escenario 3.	195
Ilustración 114. Factor de Seguridad del perfil representativo P23. Escenario 4.	195
Ilustración 115. Factor de Seguridad del perfil representativo P23. Escenario 5.	196
Ilustración 116. Mapa de amenaza por movimientos en masa del casco urbano del municipio de Nátaga.....	198
Ilustración 117. Vista en planta del área del Barrio Nuevo, afectado por la erosión hidria sobre los taludes de corte.	200
Ilustración 118. Movimiento superficial tipo Reptación al oriente de la zona de estudio, en el tanque de Gas. Nótese la inclinación de los árboles con respecto a la vertical (línea discontinua naranja) y las lobulaciones del terreno.....	200
Ilustración 119. Deslizamiento rotacional en un predio contiguo a la Iglesia.....	202
Ilustración 120. Fracturas generadas por el movimiento en masa en las paredes de la Iglesia.....	202
Ilustración 121. Movimiento complejo en la cancha de fútbol al noreste de Nátaga. ...	203
Ilustración 122. Erosión laminar y en surcos de leve a moderada magnitud en un talud realizado para la adecuación de terrenos para construcción de viviendas en la zona de expansión de Nátaga.	204
Ilustración 123. Localización general de los drenajes del municipio de Nátaga.....	206
Ilustración 124. Visualización del Terrain en HEC- RAS.....	209

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

Ilustración 125. Valores de n de manning para el municipio de Nátaga.....	211
Ilustración 126. 2D Flow Area del municipio de Nátaga en HEC- RAS.....	212
Ilustración 127. Condiciones de entrada y salida del modelo en HEC-RAS.....	213
Ilustración 128. Mancha de Inundación Tr 500 años.....	214
Ilustración 129. Variación de profundidad los Tr 100 y Tr 500 aguas abajo de la Qda El Pueblo.....	215
Ilustración 130. Variación de la profundidad para los Tr 100 y Tr 500 aguas abajo de la Qda El Putio.....	216
Ilustración 131. Variación de la velocidad para los Tr 100 y Tr 500 aguas abajo de la Qda El Putio.....	216
Ilustración 132. Mapa de Amenaza por Inundación para el Casco Urbano del municipio de Nátaga.....	218
Ilustración 133. Porcentaje de Área Categorizada con Amenaza por Inundación.....	219
Ilustración 134. Ubicación de Nátaga respecto a modelación Flow- R señalada en el círculo rojo.....	221
Ilustración 135 Diagrama vulnerabilidad	222
Ilustración 136. Diagrama de flujo del proceso propuesto para la evaluación de los pesos ponderados normalizados utilizando metodología AHP-difuzza Fuente: Geocing SAS.....	224
Ilustración 137. Calificación difusa de los criterios de calificación AHP (relación directa).	226
Ilustración 138 Calificación difusa de los criterios de calificación AHP (relación inversa).	226
Ilustración 139. Diagrama de flujo para la calificación de la susceptibilidad utilizado los métodos WLC y OWA (adaptado de Malczewski, 2006).....	229
Ilustración 140. Esquema de deslizamiento.....	234
Ilustración 141. Estimación de la distancia de viaje a partir del ángulo de fricción aparente y el volumen deslizado (Fuente: Cifuentes, 2011)	236
Ilustración 142. Modelación cinemática de movimiento para la determinación de la distancia de viaje (Fuente: Cifuentes, 2011).	236
Ilustración 143. Intensidad de deslizamiento de acuerdo a la velocidad esperada y volumen estimado (Fuente: Cifuentes, 2011).....	237

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

Ilustración 144. Ejemplo de escala de velocidad para describir el potencial de daño de un deslizamiento (Fuente: Cifuentes, 2011)	237
Ilustración 145. Niveles de agua y presiones que actúan sobre una casa para diferentes escenarios. Fuente: Kelman & Spence (2004)	240
Ilustración 146. Índice de Daño de las Viviendas de 1 Piso.	243
Ilustración 147. Índice de Daño de las Viviendas de Poca Altura.....	243
Ilustración 148. Índice de Daño de las Viviendas de Altura Intermedia.....	244
Ilustración 149. Índice de Daño de las Viviendas de Gran Altura.....	244
Ilustración 150. Índice de Daño de la Categoría de infraestructura vial	245
Ilustración 151. Distribución de las edificaciones encuestadas según su fecha de construcción.	250
Ilustración 152. Distribución de las edificaciones encuestadas según su número de pisos.....	251
Ilustración 153. Distribución de las edificaciones encuestadas según su forma de construcción	251
Ilustración 154. Distribución de las edificaciones encuestadas según su tipo de entepiso.....	252
Ilustración 155. Distribución de las edificaciones encuestadas según su tipo de cubierta.	253
Ilustración 156. Distribución de las edificaciones encuestadas según su sistema estructural.....	254
Ilustración 157. Distribución de las edificaciones encuestadas según tipo de daño.....	255
Ilustración 158. Distribución de las edificaciones encuestadas según tipo de daño.....	256
Ilustración 159. Distribución de las edificaciones encuestadas.	257
Ilustración 160 Distribución de las edificaciones encuestadas según la severidad de daños.	258
Ilustración 161. Vivienda Tipología B1 (Vivienda en materia reciclaje).	259
Ilustración 162. Vivienda Tipología B2 (Vivienda en mampostería sin estructura).	259
Ilustración 163. Vivienda Tipología B3 (Edificaciones hasta de dos (02) niveles de buena calidad de construcción (con estructura).	260
Ilustración 164. Tipología de Viviendas.....	260
Ilustración 165. Valoración del ID (potencial y actual) utilizando conjuntos difusos.	262

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

Ilustración 166. Vulnerabilidad Física predios Nátaga- Movimientos en Masa.....	264
Ilustración 167. Vulnerabilidad Física vías Nátaga- Movimientos en masa.	265
Ilustración 168. Mapa de vulnerabilidad física por movimientos en masa en el municipio de Nátaga.....	266
Ilustración 169. Vulnerabilidad Física predios Nátaga- Inundaciones.	267
Ilustración 170. Vulnerabilidad Física vías Nátaga- Avenidas Torrenciales.	268
Ilustración 171. Mapa de vulnerabilidad física por inundación en el municipio de Nátaga.	269
Ilustración 172 Distribución de la población por Lugar de Procedencia y por Pertenencia a una Minoría Étnica	272
Ilustración 173. Distribución de las edificaciones encuestadas según la cantidad de menores de edad que viven en el inmueble	274
Ilustración 174. Nivel educativo.....	276
Ilustración 175. Limitación física.....	277
Ilustración 176. Uso Actual de los Predios.....	278
Ilustración 177. Servicios Públicos	279
Ilustración 178 Distribución Servicio de Alcantarillado y Acueducto.....	280
Ilustración 179. Vulnerabilidad Social por movimientos en masa predios Nátaga.....	287
Ilustración 180. Mapa de vulnerabilidad social municipio de Nátaga.	288
Ilustración 181. Relación entre el índice de vulnerabilidad total con los índices de vulnerabilidad física y social. Fuente: Geocing SAS.	289
Ilustración 182. Vulnerabilidad Total predios Nátaga- Movimiento en Masa.	291
Ilustración 183. Mapa de vulnerabilidad total por movimientos en masa en el municipio de Nátaga.....	292
Ilustración 184. Vulnerabilidad Total predios Nátaga- Inundación.....	293
Ilustración 185. Mapa de vulnerabilidad total por inundación en el municipio de Nátaga.	294
Ilustración 186. Conjuntos difusos trapezoidales. Fuente: Geocing SAS.....	299
Ilustración 187. 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.....	301

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

Ilustración 188. Categorización del nivel de riesgo por movimientos en masa de los elementos expuestos para el escenario actual.....	303
Ilustración 189. Distribución del número de construcciones y pérdidas económicas esperadas para las categorías de riesgo por movimientos en masa.....	304
Ilustración 190. Distribución de las pérdidas económicas esperadas de la infraestructura vial que se encuentra dentro de las categorías de riesgo por movimientos en masa. .	304
Ilustración 191. Mapa de riesgo por movimientos en masa municipio de Nátaga	305
Ilustración 192. Categorización del nivel de riesgo por inundación de los elementos expuestos para el escenario actual.	306
Ilustración 193. Distribución del número de construcciones y pérdidas económicas esperadas para las categorías de riesgo por Inundación.....	307
Ilustración 194. Distribución de las pérdidas económicas esperadas de la infraestructura vial que se encuentra dentro de las categorías de riesgo por Inundación.....	307
Ilustración 195. Mapa de riesgo por inundación municipio de Nátaga.	308
Ilustración 196. Deslizamiento rotacional en un predio contiguo a la Iglesia.....	310
Ilustración 197 Cuneta longitud de la vía.	311
Ilustración 198 Tipología muro en tierra armada H 3.0 m.	312
Ilustración 199 Presupuesto para Muro mecánicamente estabilizado SMR.....	312
Ilustración 200 Localización del drenaje antiguo	313
Ilustración 201 Localización en planta de las trincheras drenantes, dispuestas en espina de pescado.....	313
Ilustración 202 Perfil de terraceo propuesto para el talud inestable junto con las trincheras drenantes.....	314
Ilustración 203. Detalle de la trinchera drenante central.	314
Ilustración 204. Esquema cunetas trapezoidales.	315
Ilustración 205 Vista en perfil de las obras de mitigación.....	315
Ilustración 206. Estabilización con las obras de mitigación FS 1.30	316
Ilustración 207 Presupuesto estimado para Descapote- Perfilaje + Retiro material antrópico.....	316
Ilustración 208 Presupuesto estimado para Trincheras drenantes.....	317
Ilustración 209. Movimiento complejo en la ladera oriental de la cancha de fútbol al noreste de Nátaga. Fuente: Geocing SAS.	318

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

Ilustración 210 Vista de los detalles de la implementación de la malla TECCO.....	319
Ilustración 211 Presupuesto estimado para la obra de mitigación.	319
Ilustración 212. Movimiento superficial tipo reptación hacia el extremo nororiental de la zona de estudio. Nótese las ondulaciones en la superficie del terreno, la vegetación inclinada y algunas pequeñas terracillas hacia la parte central de la Fotografía.....	320
Ilustración 213. Deformación de los gaviones como consecuencia del Movimiento superficial tipo reptación hacia el extremo nororiental de la zona de estudio.....	321
Ilustración 214 Dimensionamiento del Muro en Voladizo de H: 3.0 m.	322
Ilustración 215 Dimensionamiento del Muro en Voladizo de H: 3.0 m. Evidencia de Cumplimiento a Capacidad Portante, Deslizamiento, Volcamiento dinámico y estático.	323
Ilustración 216 Tabla costos para la alternativa 1. Muro en Gavión	324
Ilustración 217. Erosión laminar y en surcos de leve a moderada magnitud en un talud realizado para la adecuación de terrenos para construcción de viviendas en la zona de expansión de Nátaga.	325
Ilustración 218 Vista de los detalles de la implementación de la malla TECCO.....	326
Ilustración 219 Presupuesto estimado para la obra de mitigación.	327
Ilustración 220 Implantación de medidas estructurales por Movimientos en Masa	328
Ilustración 221 Localización de las obras de mitigación	329
Ilustración 222. Ubicación de predios en riesgo alto por Inundación.....	331
Ilustración 223 Implantación de medidas estructurales por Inundación	333
Ilustración 224 Mapa de mitigabilidad por Movimientos en masa	335
Ilustración 225 Mapa de mitigabilidad por Inundación.....	336
Ilustración 226 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..	338
Ilustración 227 Delimitación de la ronda hídrica para los drenajes presentes en el municipio de Nátaga.....	339
Ilustración 228. Relación Entre Sensibilidad y Aptitud Frente a proyectos.....	341
Ilustración 229. Mapa de zonificación Ambiental, Municipio de Nátaga.	349

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

1 INTRODUCCIÓN

Por la ubicación geográfica del municipio de Nátaga, este se ha visto afectado por la ocurrencia de eventos naturales tales como movimientos en masa, inundación y avenida torrencial dejando como consecuencia al municipio incomunicado con el resto del departamento, además en temporadas de lluvias se generan inconvenientes en la vía principal que comunica al casco urbano del municipio con algunas veredas y con el resto del departamento, debido a la crecientes de las fuentes hídricas como la Quebrada el Pueblo.

Debido a la problemática en la cual se encuentra inmersa el municipio, se elaboraron los “ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIONES Y AVENIDAS TORRENCIALES EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE NÁTAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.” el cual es objeto del presente estudio.

En los alcances de este contrato esta realizar los estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, como parte de las actividades necesarias de este estudio se realizó el levantamiento topográfico y topo-batimétrico, caracterización geológica-geotécnica, estudios hidrológicos, hidráulicos y de socavación; insumos necesarios para realizar la zonificación de amenazas por movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales a escala detallada (1:2000), análisis de vulnerabilidad de las viviendas frente a cada uno de los eventos naturales evaluados en masa escala (1:2000), análisis de riesgo y zonificación de riesgo a escala al detalle (1:2000) determinando el riesgo mitigable o no mitigable y zona sin riesgo, así como diseño y presupuesto de las obras a realizar.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE NÁTAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA</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 Nátaga en el departamento del Huila, teniendo en cuenta los lineamientos del Decreto 1077 de 2015”.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para el desarrollo del estudio, se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Recopilar y analizar información existente teniendo en cuenta antecedentes de ocurrencia de eventos naturales.
- Realizar el levantamiento topográfico y topo-batimétrico en el casco urbano del municipio.
- Determinar las condiciones hidrológicas e hidráulicas de la zona de estudio.
- Analizar las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas correspondientes al área de estudio.
- Identificar las amenazas por eventos naturales por movimientos en masa, inundación y/o avenidas torrenciales para el casco urbano a escala 1:2.000.
- Evaluar el análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo frente a los Movimientos en masa e inundaciones, avenidas torrenciales a escala (1:2.000)
- Definir la zonificación ambiental y la aptitud del suelo en la zona de estudio en escala 1:2.000.
- Plantear alternativas de obras estructurales y no estructurales para las diferentes problemáticas de eventos naturales en la zona de estudio.
- Generar las especificaciones de construcción correspondientes al estudio.
- Elaboración de los términos de referencia correspondientes al estudio.

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

3 LOCALIZACIÓN

Nátaga está localizado en la región sur-occidental del Departamento del Huila, limita por el con Paicol en la desembocadura de la quebrada Chirirí en el río Páez, Occidente: sigue por el río Negro de Narváz aguas arriba, el cual lo separa del Departamento del Cauca, por el oriente limita con Tesalia e Íquira, y limita por el Norte con la quebrada la Pedregosa; con una superficie de 132.87 Km², que equivalen a 13.286,88 Ha de las cuales solamente 44.6 pertenecen al perímetro urbano actual. (Ver Ilustración 1).

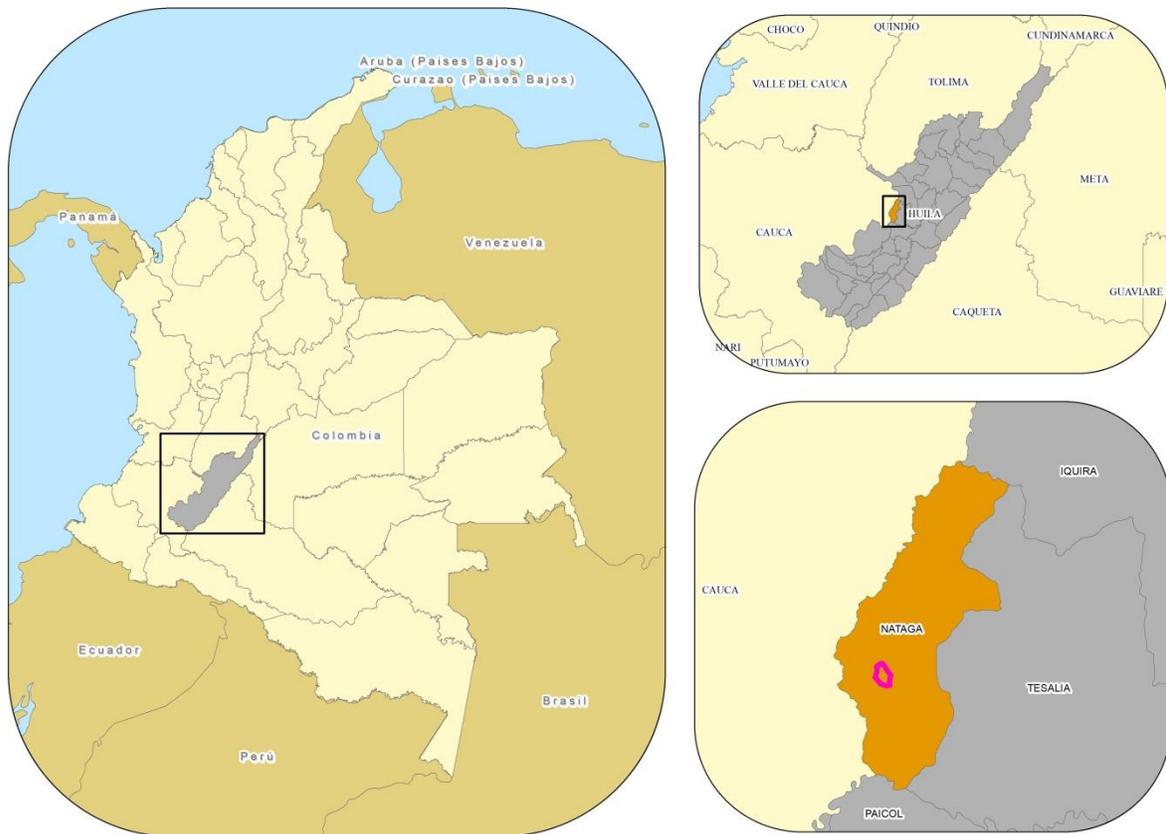


Ilustración 1 Localización general de la zona de estudio-municipio de Nátaga.
Fuente: Geocing SAS.

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN

El municipio está ubicado en una zona de amenaza sísmica alta, según el Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia publicado en 1999 por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, en cuanto a las amenazas de origen hidrometeorológico las inundaciones se constituyen el principal evento natural amenazante de origen hidroclimático identificado en el casco urbano.

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

En la cabecera municipal y a sus alrededores existen corrientes que tienen influencia en el territorio las cuales son las quebradas El Pueblo, El Putio y Tinajas. De las cuales representa amenaza alta por inundación la Quebrada El Pueblo al sur del casco urbano en un pequeño sector y amenaza baja por inundación en otras dos franjas de la Quebrada El Pueblo y sobre las márgenes de las quebradas Tinajas y El Putio.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expresado, la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena -CAM- destino recursos para la ejecución de estudios que permitan obtener el conocimiento para posteriormente 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 riesgo de la población, enmarcado dentro de lo estipulado en el Decreto 1807 del 19 de septiembre de 2014 y en cumplimiento de la Ley 1523 de 2012 como un aporte del conocimiento del riesgo que la CAM suministra a el municipio para posteriormente establecer las medidas que permitan la reducción del riesgo en zonas críticas, con el objetivo de intervenir oportunamente las situaciones de riesgo y de esta manera reducir el nivel de vulnerabilidad de la población.

3.2 ACTIVIDADES REALIZADAS

3.3 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

Se recopiló información secundaria relacionada con estudios sobre amenaza, vulnerabilidad y riesgo, extraída del EOT del municipio, estudio de Evaluación de Amenazas realizados por la CAM y la Universidad Nacional, Noticias relevantes respecto al municipio relacionadas con la gestión de riesgo, identificando las amenazas presentes en la zona de estudio, problemáticas por inundaciones, movimientos en masa, erosión fluvial, entre otras que afectan a los habitantes del municipio. A continuación se presentan la información extraída de los estudios realizados en la zona de estudio.

3.3.1 Estudios Previos

 Estudio Evaluación De Las Amenazas Potenciales De Origen Geológico (Actividad Sísmica Y Volcánica), Geomorfológico (Movimientos en Masa Y Erosión) E Hidrometeorológico (Dinámica Fluvial, Inundaciones Y Sequías), Y Caracterización Geotécnica Preliminar De Las Cabeceras Municipales Del Departamento Del Huila. (CAM - Idea UN, 1999)

De acuerdo al estudio se describen las amenazas potenciales de origen natural principalmente, así como las de origen antrópico mencionadas 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 NÁTAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA</p>

➤ **Amenazas De Origen Natural**

- ✓ Amenazas de origen geológico: El casco urbano del municipio está ubicado en una zona de amenaza sísmica alta, con el Sismo de Páez, Cauca, 6 de Junio de 1994, fueron afectadas 65 familias, 19 viviendas destruidas, 144 averiadas, 17 viviendas para reubicar, 5 centros educativos y 3 hectáreas.
- ✓ Amenazas de origen hidrometeorológico: Las amenazas identificadas son las inundaciones, que son eventos que ocurren principalmente en épocas de lluvia causando el desbordamiento de ríos y quebradas.
- ✓ Amenaza por inundación: Las quebradas analizadas y que tienen influencia en la cabecera municipal y alrededores son las quebradas El Pueblo, Tinajas y El Putio, en las cuales se hizo evaluación de su amenaza por inundación y torrencialidad.

En la cabecera municipal se identificaron varias zonas con probabilidad de ser afectadas por inundaciones, a continuación se presentan las categorías de amenaza alta (Aal) y baja (AbI):

- La Quebrada el Pueblo presenta una franja con amenaza alta por inundación, sobre la margen derecha donde se localizan una vivienda con amenaza alta por inundación (Aal).
- Quebrada Tinajas. Presenta amenaza baja por inundación (A.b.I.).
- Quebrada Tinajas. Presenta amenaza baja por inundación (A.b.I.).
- Quebrada El Putio. Presenta amenaza baja por inundación (A.b.I.).
- ✓ Amenazas de origen geomorfológico: Se consideran amenazas de origen geomorfológico a la probabilidad de ocurrencia de movimiento en masa y erosión dentro del municipio se identificaron los siguientes:

Amenaza por movimientos en masa y erosión: Dentro del municipio se identificaron algunas áreas en donde existen problemas de inestabilidad de taludes, sobre los que se localizan viviendas, haciéndose más crítica la situación en épocas invernales.

Se determinó una zona con amenaza alta por movimientos en masa (AaRM) en las viviendas de Luis Armando Zúñiga, Rodolfo Arias y de Iván Noscué sobre la carrera 4 y entre calles 2 y 3 en el sector de Pueblo Nuevo, además de la vivienda de Bernardino Rumique. Otro sector que puede representar una amenaza alta por erosión concentrada (AaEC) está localizado en la Vereda El Triunfo (Ilustración 2).

Amenaza alta por erosión concentrada (AaEC) en surcos y cárcavas en el sector de la cancha de fútbol y alrededores en el barrio Los Senderos.

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



Ilustración 2 Amenaza alta por movimientos en masa clasificados como erosión en surcos y cárcavas en la Vereda El Triunfo (CAM - Idea UN, 1999)
Fuente: Geocing SAS.

✚ Esquema de Ordenamiento Territorial Municipio de Nátaga (Alcaldía de Nátaga, 1998)

Este estudio no presenta gran información relacionada con temas de identificación de amenazas , vulnerabilidad y riesgo sin embargo se logró extraer información relacionada con las áreas expuestas a amenazas y riesgos presentes en el municipio.

Las altas pendientes que predominan, aunado a la deforestación, el mal manejo de suelos y de aguas superficiales y en especial la conformación de sus suelos (arcillas) hacen que en todo el territorio se presente una propensión a las zonas de riesgo por movimiento en masa en épocas de invierno.

Por estas mismas condiciones se dificulta la localización puntual de áreas expuestas a riesgo, sin embargo, por el comportamiento histórico se han detectado en la zona rural las áreas aledañas a la carretera que va desde Nátaga a Patio Bonito en donde se presenta en época de invierno deslizamientos por movimiento en masa que pone en riesgo varias viviendas localizadas sobre esta vía en el sector de las veredas las Mercedes y el Teniente, en esta última la misma escuela.

En la zona urbana encontramos como zona de riesgo la parte alta del barrio Pueblo Nuevo, en este sector ya se realizó la reubicación de las viviendas que se hallaban allí establecidas y se debe tener presente para que no se permita la construcción de nuevas viviendas o de infraestructura.

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

Otra zona de riesgo mitigable es en el sector del Barrio los Senderos que también tiene propensión al deslizamiento. Sin embargo, como se ha insistido, por la presencia de arcillas y la pendiente, estas se saturan fácilmente en época de invierno y se presentan pequeños deslizamientos que se traducen en agrietamientos en las estructuras de las viviendas.

Por las razones antes expuestas se deben tomar medidas preventivas en la ubicación de viviendas como es el caso de la exigencia de los diseños sismo resistentes para toda construcción y un manejo adecuado de las aguas superficiales tanto lluvias como servidas.

En cuanto a riesgo de inundación, este casi no existe, pues la misma pendiente del terreno y la profundidad de los cauces no ha permitido la ubicación de viviendas y hace casi improbable que las quebradas o ríos se desborden.

Por último se deben tener presentes las recomendaciones que se desprendan del estudio de amenazas que entregará la CAM.

3.3.2 Noticias Destacadas Respecto a la Zona de Estudio

 En los municipios de Nátaga, Nátaga, Tesalia y Paicol en el Huila sintieron el sismo de 3.4 grados en la escala de Richter, que tuvo como epicentro el occidente del departamento. (RCN radio, 15 de Marzo del 2015).¹

“El alcalde de Nátaga, Lubin Pajoy confirmó que solo una vivienda resultó afectada en su infraestructura, producto del movimiento telúrico. “El reporte es de tranquilidad pese a que se sintió fuertemente el movimiento sísmico, solo hemos conocido que una casa de las antiguas presenta algunos problemas, pero nada más. En Nátaga tenemos muchas viviendas que fueron construidas hace años pero ya luego de la evaluación solo nos reportaron esa novedad”, afirmó, el mandatario local. Los comités locales de emergencia en el Huila continúan en alerta, ante el temor que se puedan presentar nuevas réplicas de este sismo que tuvo como epicentro al municipio de Nátaga.”

 Temblor de 4.7 grados generó pánico en los habitantes de Nátaga, Huila (HSB noticias, 17 de Marzo del 2015) ²

“Un temblor con magnitud de 4.7 en la Escala de Richter generó pánico en los habitantes de Nátaga. El epicentro del sismo tuvo lugar a siete kilómetros del casco urbano de la municipalidad.

¹ RCN radio (15 de Marzo del 2015) En los municipios de Nátaga, la plata, Tesalia y Paicol en el Huila sintieron el sismo de 3.4 grados en la escala de Richter, que tuvo como epicentro el occidente del departamento. Recuperado de : <https://www.rcnradio.com/colombia/sismo-de-34-grados-no-dejo-danos-en-nataga-huila-199232>

² HBS noticias (17 de marzo del 2015) Temblor de 4.7 grados generó pánico en los habitantes de Nátaga, Huila Recuperado de : <http://hsbnoticias.com/noticias/nacional/temblor-de-47-grados-generó-pánico-en-los-habitantes-de-nátaga-huila-129805>

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

Intensas lluvias no paran en el Huila. (Diario del Huila, 31 de Marzo del 2017) ³

“Las fuertes lluvias en el municipio de Nátaga dejaron varios derrumbes que taponan las vías terciarias de la región y de la vía principal Nolasko-Nátaga, llevando a la administración municipal conjuntamente con los presidentes de las JAC, los bomberos y la Policía Nacional a la realización de los destaponamientos.

Las carreteras afectadas por la ola invernal en Nátaga son: hacia las veredas El Diamante - Yarumal; Nátaga- Río Negro- Río Chiquito; Nátaga- Honduras- San Isidro y de la carretera principal de Nolasko al casco urbano de Nátaga.”

3.4 VISITA TÉCNICA

Dentro de las actividades desarrolladas del contrato se realizó una visita técnica los días 15 y 16 de junio del 2018, con el objetivo de poder reconocer el área en cuanto a temas de seguridad, acceso, estado y conectividad. Adicionalmente se verificó la viabilidad, de realizar las diferentes actividades necesarias para la ejecución del estudio, como: exploración del subsuelo, topografía, ensayos, entre otros.

La visita fue realizada por los diferentes especialistas del proyecto, con el objetivo de verificar las zonas inestables y más vulnerables que se pudiesen llevar a verse afectadas; como lo son zonas geotécnicas inestables, inestabilidad del cauce, entre otras. Ver Ilustración 3.

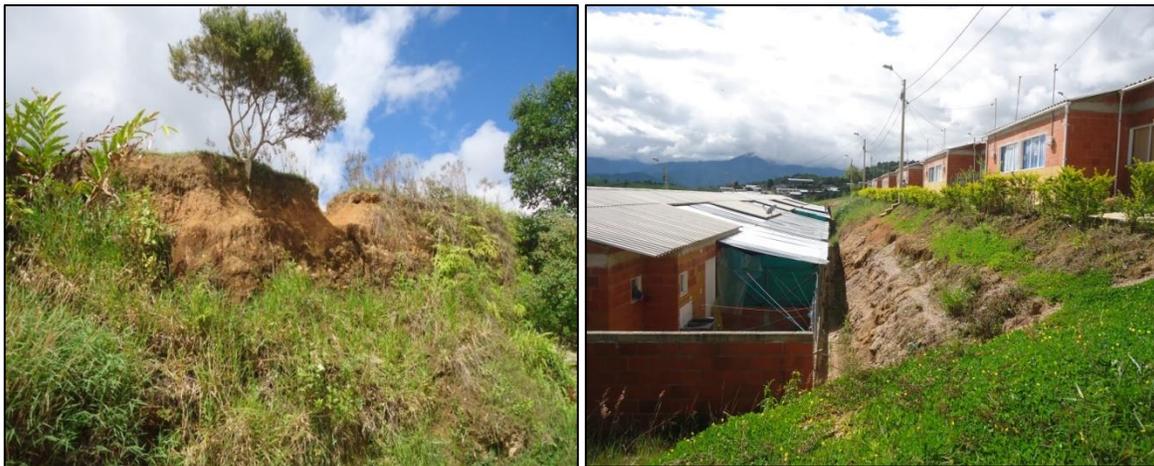


Ilustración 3. Fotografía del municipio de Nátaga
Fuente: Geocing SAS.

³ Diario del Huila (31 de Marzo del 2017) Intensas lluvias no paran en el Huila. Recuperado de: <https://www.diariodelhuila.com/regional/intensas-lluvias-no-paran-en-el-huila-cdgint20170401013637148>

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

4 TOPOGRAFÍA

Para el desarrollo de este componente se realizó topo-batimetría a 3 diferentes cauces existentes como son las Quebradas El Pueblo, Tinajas y El Putio 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. En el Anexo 6. Mapas, se localiza el mapa con código GE426-NAT-PSIG-TPG-001-00.

4.1 REGISTRO FOTOGRÁFICO LOCALIZACIÓN DE LOS GCP

Se realizó la ubicación de los puntos de referencias GCP, los levantamientos de las secciones topográficas e imágenes aéreas fueron amarrados al sistema de coordenadas; el objetivo de pintar estos puntos de referencias GCP, fue el de poder amarrar las imágenes aéreas que se tomaron empleando tecnología de Aeronaves No tripuladas UAV y la generación de la Imagen aérea orto-rectificada. La red Geodésica se encuentra materializada en 15 mojones materializados en el municipio según lo expuesto en la Tabla 1.

Tabla 1 Cuadro de puntos de amarre.

Número	Punto ID	Clase de punto	Coordenada en x (m)	Coordenada en y (m)	Altura (m)	Fecha/hora
3	GCP01	Medido con Fase GNSS en Post-Proceso	806988,923	774031,753	-	7/04/2018 14:27
5	GCP02		807288,418	774277,157	-	7/04/2018 13:59
7	GCP03		807129,217	773882,306	-	7/04/2018 14:57
9	GCP04		807832,1	773433,26	-	7/04/2018 10:27
11	GCP05		807742,22	772870,178	-	7/04/2018 15:41
13	GCP06		807329,084	772910,397	-	7/04/2018 11:44
15	GCP017		807037,008	773306,595	-	7/04/2018 13:18
17	GCP08		807160,807	773622,379	-	7/04/2018 12:45
19	GCP09		807502,9	773627,839	-	7/04/2018 8:58
21	GCP10		807422,738	773431,688	-	7/04/2018 8:27
23	GCP11		807274,375	773248,872	-	7/04/2018 7:27
25	GCP12		807587,587	773340,314	-	7/04/2018 15:47
27	GCP13		807476,546	773093,385	-	7/04/2018 7:56
29	GCP14		807756,485	773109,999	-	7/04/2018 10:58
31	GCP15		807494,127	773859,615	-	7/04/2018 9:44

Fuente: Geocing SAS.

A continuación se presenta el registro fotográfico correspondiente a la ubicación de los puntos GCP realizados para el área de estudio.

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



Ilustración 4. Procedimiento en campo toma de GCP.
Fuente: Geocing SAS.

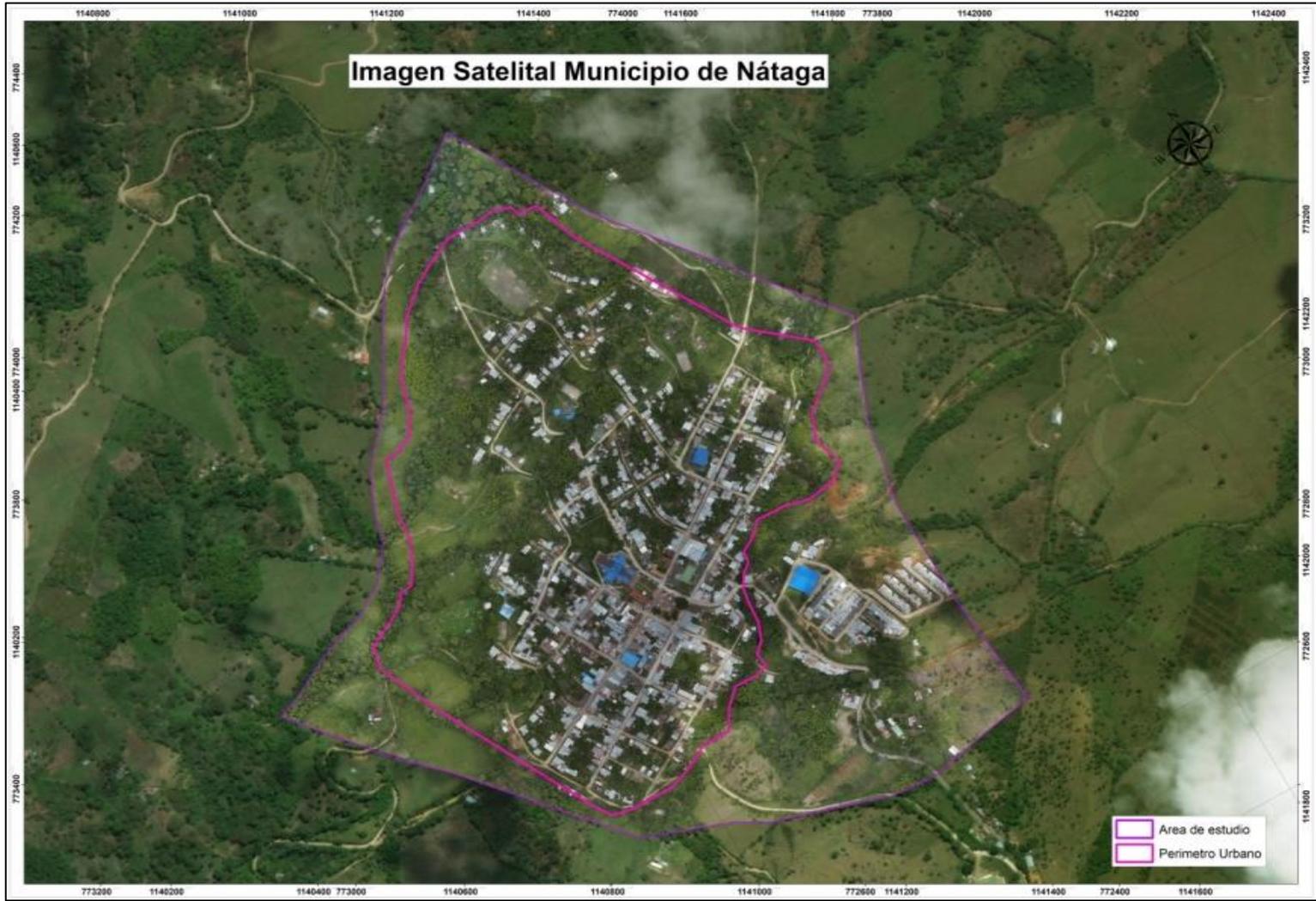
4.2 IMAGEN AÉREA ORTO-RECTIFICADA

La toma de imágenes aérea se realizó empleando la tecnología de Aeronaves No tripuladas UAV y la generación de Imagen aérea orto-rectificada geo-referenciados. A continuación se presenta la Imagen aérea orto-rectificada correspondiente, además generaron además 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 Imagen aérea orto-rectificada y del modelo digital del terreno, se tomaron las posiciones precisas de quince GPS. Estos puntos servirán para comparar la posición XYZ calculada con su posición real milimétrica medida en terreno.

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 GE426- NAT – PSIG –MD-002-00 el modelo de elevación digital del área de estudio y GE426-NAT-PSIG-ISL-003-00 se adjunta la imagen satelital. A continuación se presenta en la Ilustración 5 la imagen aérea orto-rectificado generado para el área de estudio.

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



**Ilustración 5 Imagen aérea orto-rectificada del municipio de Nátaga.
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 NÁTAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA</p>

4.3 OPERACIONES DE CAMPO

Las actividades desarrolladas en la etapa de georreferenciación 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 generen 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°, que los dos equipos capturaran 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.

Captura de datos:

El posicionamiento Geodésico fue de tipo estático. Esta labor se realizó mediante la utilización del sistema GPS (Sistema de Posicionamiento Global) con receptores satelitales de doble frecuencia (L1/ L2). Con este tipo de equipos se alcanza la mayor precisión hasta cada uno de los vértices proyectados. De esta manera se garantiza 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 existe entre el lugar de toma de datos y las estaciones permanentes del IGAC se realiza una formula aproximada de 5 minutos inicialmente más 2 minutos adicionales por cada km de distancia entre el punto y su punto de estación permanente. Dentro de los puntos de referencia en el área se establece una base y los demás puntos con distancias menores a 2 km se corregirán 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 deberá estar recogiendo datos para poder hacer parte del pos-proceso.

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

4.4 PROCESAMIENTO Y RESULTADOS

Para la determinación de las coordenadas de la red geodésica, se procesó la información de los receptores GPS instalados en campo, usando como base fija el vértice CALI. Vértices pertenecientes al Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC); esto para el punto base de nuestro caso. Posterior a este paso, ya procesado, se coloca como referencia nuestra base y se procede a pos procesar los demás puntos ubicados en el área. A continuación, se presenta una breve descripción acerca de los distintos archivos crudos que se generan 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.

4.5 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.
- CRUDO LEICA BASE GPS 002-3.
- CRUDOS LEICA BASE GPS 002-2.
- 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.

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

4.6 PROCESAMIENTO DE IMAGEN AÉREA ORTO-RECTIFICADA 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 Imagen aérea orto-rectificada del municipio de Nátaga.

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

Durante toda la fase de vuelo, se tuvo control de la aeronave por medio de la telemetría en la Estación de Control en Tierra. Para la toma de imágenes fue empleado el Software Misión Planner especializado en este tipo de actividad; este software permite ajustar el traslape 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 traslape lateral entre líneas de vuelo del 80% y traslape frontal entre fotos 75%. A continuación, se muestra un ejemplo de las líneas de vuelo y datos de vuelo en la Ilustración 6.

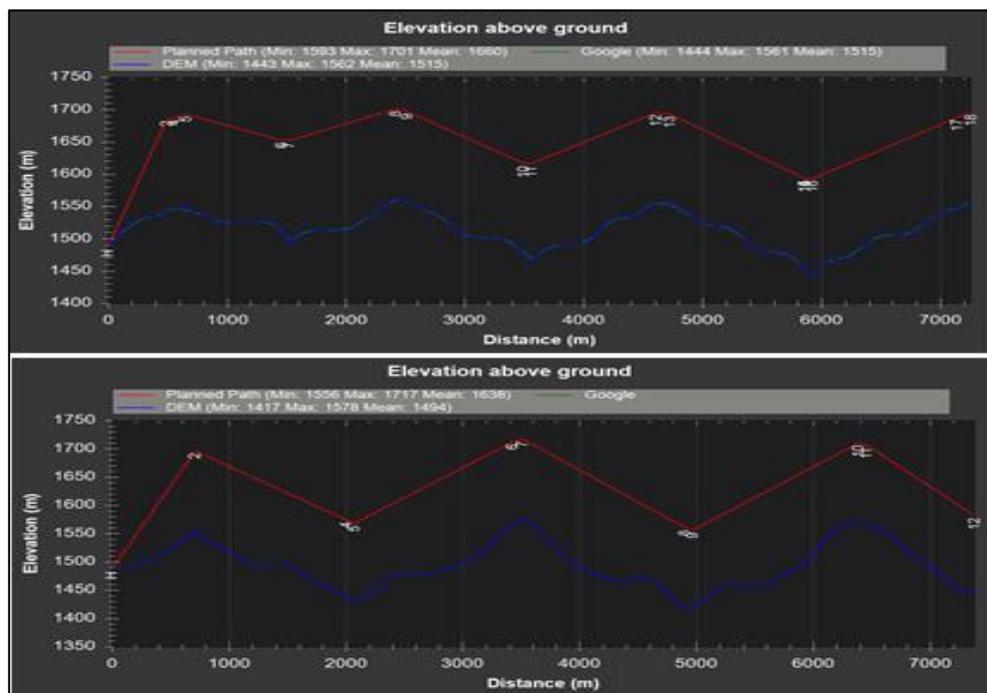


Ilustración 6. Líneas de vuelo proyecto Nátaga

Fuente: Geocing SAS.

Los sitios de lanzamiento y aterrizaje se escogieron en campo en lugares estratégicos para el lanzamiento y el aterrizaje, según los polígonos volados. Se hicieron los vuelos 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

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

y el archivo de control de vuelo, con el fin de realizar la georreferenciación de las Fotografías y el control de calidad de las mismas.

Etapas del procesamiento

- 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 pudieron alinear.
- Verificación de calidad de las imágenes. En esta etapa se determinó el número de pixeles por foto y se depuraron aquellas imágenes que no tuvieron una calidad suficiente.

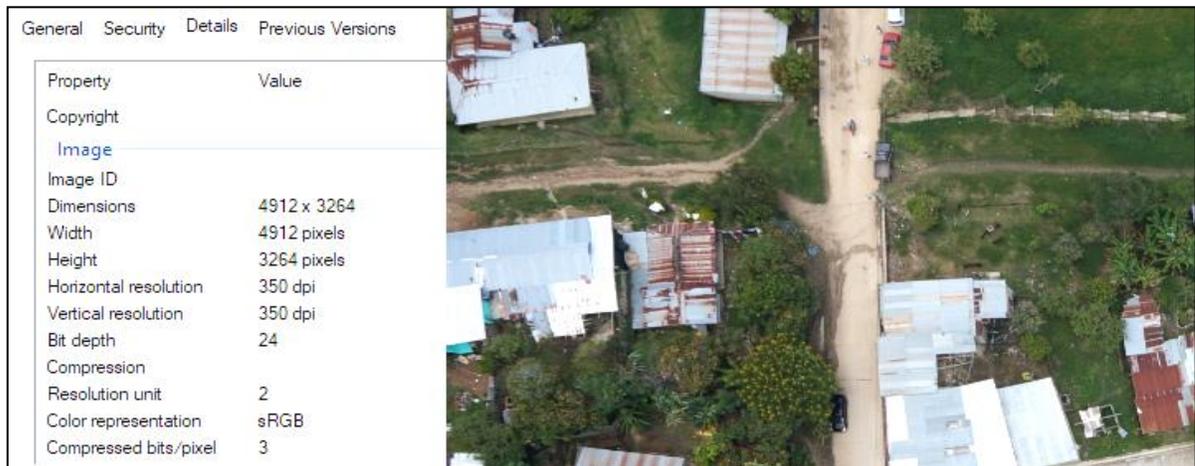


Ilustración 7. Resolución de la imagen.

Fuente: Geocing SAS.

- Generación de triangulación. Una vez las imágenes estuvieron alineadas se realizó la generación de una grilla por medio de triangulación, estableciendo el número de vértices acorde al tamaño del área del proyecto.
- Generación de la nube de puntos. Se generó una nube de puntos, con base en la generación de pares estereoscópicos por medio de software especializado. En este punto, el Software calculó diferencia de alturas con base en la vista estereoscópica y la respectiva altura de vuelo.
- Generación de la textura. Con base en la nube de puntos se generó una textura la cual corresponde a la base para la generación de la Imagen aérea orto-rectificada, el DSM y el DTM. En el Anexo 6. Mapas GE426-NAT-PSIG-MD-002-00 con el modelo de elevación digital.

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

5 GEOLOGÍA

A continuación se describen las características geológicas del sitio, que permiten determinar un diagnóstico Geológico - Geotécnico de los diferentes aspectos de estabilidad presentes y/o potenciales. La caracterización geológica del sitio se desarrolla bajo tres aspectos fundamentales:

- A nivel regional, obtener su 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, identificar, clasificar y cartografiar los diferentes tipos de materiales rocosos (suelos y rocas), y, si es de existir, la medición de los diferentes elementos estructurales del macizo rocoso (discontinuidades, etc.), lo cual permita su caracterización y aplicación desde el punto de vista para propósitos en la ingeniería geotécnica.
- Desde el punto de vista geomorfológico, analizar la evolución de los terrenos, identificando las diferentes geoformas y elementos geomorfológicos, y movimientos en masa.
- Los mapas temáticos del estudio (geológico y geomorfológico), así como los perfiles geológicos, se presentan en escala local (Esc. 2.000).

5.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO

La realización del presente informe se desarrolló con base en el análisis de la información secundaria aportada en:

- ✓ Mapas Geológicos de: Departamento del Huila, Esc. 1: 350.000 (SGC, 2001), Plancha 344, "Tesalia", Esc. 1: 100.000 (SGC, 2006), con sus respectivas memorias.
- ✓ Información secundaria de las cabeceras municipales del Departamento del Huila (Convenio CAM y UN, 1999), así como aerofotografías de diferentes años del IGAC y Imagen aérea orto-rectificadas (Anka, 2018).
- ✓ Información de reconocimientos de campo, elementos procesados y analizados para la obtención de los resultados temáticos correspondientes.
- ✓ Recopilación y análisis de la información de referencia existente y temática básica, tales como: planos, Fotografías aéreas (Tabla 2), geología, así como estudios geotécnicos disponibles en algunas entidades, Servicio Geológico Colombiano (SGC), CAM, UN, ICAG, entre otros.

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

- ✓ Análisis de la información tanto secundaria como la recolectada en campo, las cuales conforman los elementos temáticos básicos de la Geología y Geomorfología.
- ✓ 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 2. Relación de Aerofotografías utilizadas para el estudio de Geología y Geomorfología del municipio de Nátaga, Huila.

MUNICIPIO	VUELO	SOBRE	FOTOS	FECHA	ESCALA
NÁTAGA	C-2336	S-34596	90-93	01/03/1988	1:30900
NÁTAGA	C-2731	S-39571	123-126	03/06/2004	1:10500
NÁTAGA	C-2336	S-34597	117-119	01/03/1988	1:33800
NÁTAGA	C-2650	S-38043	138-141	02/08/1998	1:10950

Fuente: Geocing SAS.

5.2 GEOLOGÍA REGIONAL

A continuación, se realizó una descripción regional de la geología y geomorfología, 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 344 Tesalia del SGC 2002, 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 de las cabeceras municipales del Departamento del Huila"; así como los realizados por el INGEOMINAS (actualmente, SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, SGC).

El municipio se encuentra ubicado en la región occidental del departamento del Huila en cercanías con al límite con el Departamento del Cauca; en esta región la geomorfología se encuentra directamente relacionada con procesos denudativos y agradacionales que han llevado a exponer una zona con una depresión evidente en la cual se encuentra ubicado el casco urbano municipal. En términos generales, la región se encuentra en el flanco occidental del Anticlinal de Nátaga.

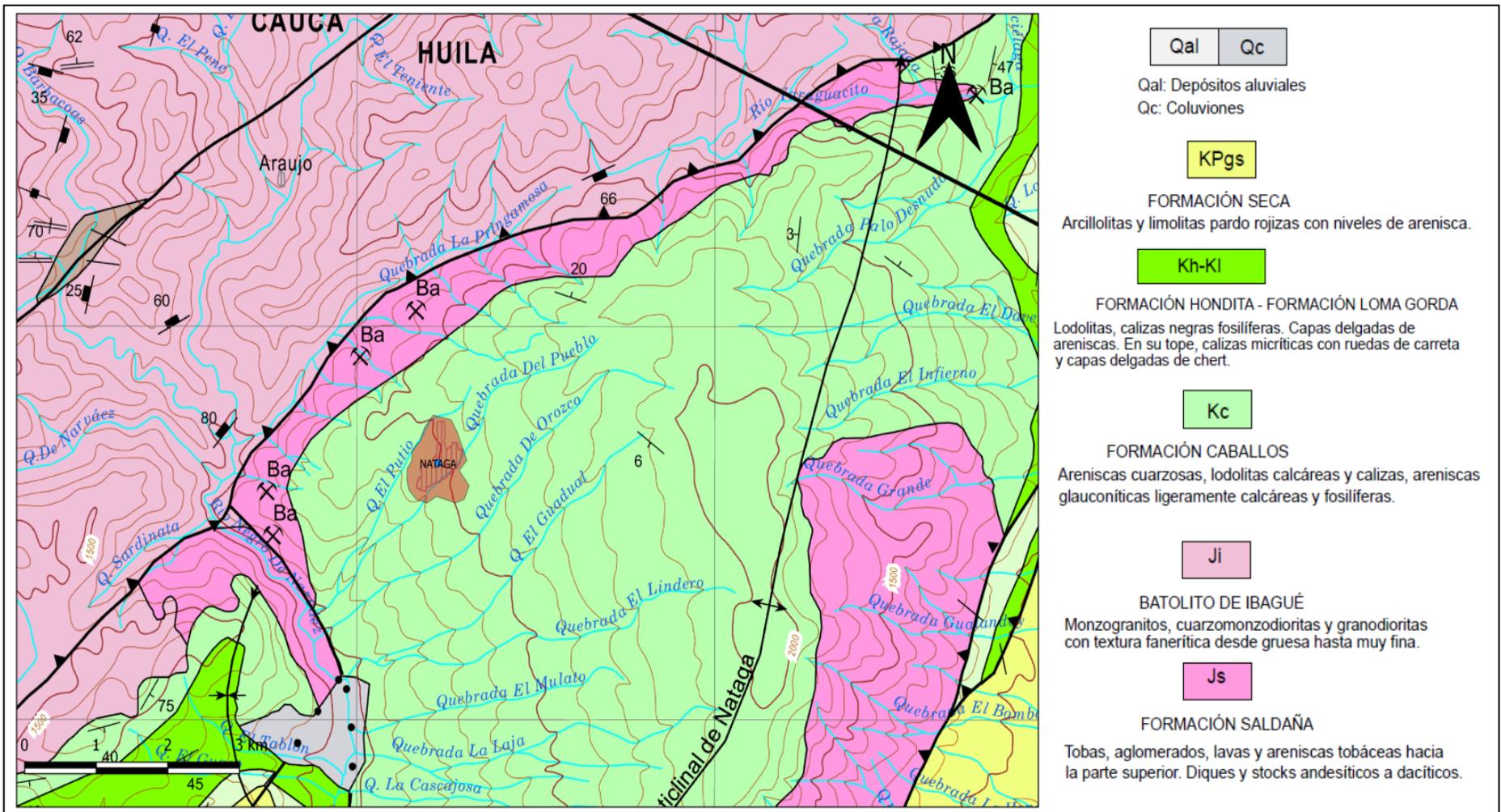


Ilustración 8. Vista a nivel regional de los aspectos geológicos, litológicos y estructurales más importantes que han interactuado en conjunto, otorgándole la configuración actual que presenta la zona del casco urbano del poblado de Nátaga, con su respectiva leyenda. Tomado y modificado de la plancha geológica 344 "Tesalia" a escala 1: 100.000 del SGC.

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

Como se puede identificar en la Ilustración 8, el municipio reposa sobre rocas de la Formación Hondita y de la Formación Loma Gorda, que por su litología presentan una competencia muy baja, y por tal motivo es común encontrar regiones morfológicamente suavizadas y con algunas depresiones.

En el Departamento del Huila se han llevado a cabo numerosos estudios geológicos por diferentes autores e instituciones, con criterios diferentes según los intereses particulares de cada uno de ellos. En estos estudios se han utilizado diferentes nomenclaturas para las unidades geológicas, lo cual ha llevado a dar distintas denominaciones o nombres para referirse a la misma unidad, generando desconcierto.

Con el fin de no aumentar esta última, los códigos de las unidades en el presente estudio, han sido modificados de acuerdo con las normas del Código Estratigráfico Internacional y con la nomenclatura estratigráfica empleada por el Servicio Geológico Colombiano, SGC, antiguo INGEOMINAS (Hernández, 2001, Hernández et al., 2002, Rodríguez y Londoño, 2002, Arias y Morales, 2002).

5.2.1 Estratigrafía

Las unidades estratigráficas que se describen a continuación con base en la memoria explicativa de la plancha 344 (SGC, 2012), se encuentran organizadas por edad de más antigua a más reciente abarcando un rango temporal desde la parte alta del Jurásico hasta el Cretácico Superior.

La Tabla 3 muestra las correlaciones posibles de las unidades mostradas en la Plancha 344 Tesalia con la propuesta Consorcio PMAA Magdalena 2017.

Tabla 3. Correlación de Formaciones propuesta para la plancha 344 Tesalia.

Estratigrafía Plancha 344 Servicio Geológico Colombiano	Propuesta Estratigráfica, Consorcio PMAA Magdalena 2017
Formaciones Hondita (Kh) y Loma Gorda (Kl)	Formación Villeta (Kv)
Formación Seca (Kpgs)	Formación Guaduas (KEg)

Fuente: Geocing SAS.

- **Rocas del Jurásico**

Formación Saldaña (Js)

La Formación Saldaña posee una morfología de montañas erosionales bajas, cubiertas en su mayor parte por vegetación baja y pastos. Se reconoce en el núcleo del Anticlinal de Nátaga, al occidente de la población de Tesalia y por la carretera que conduce desde el puente del río Páez hasta Nátaga. En el departamento del Huila es muy común encontrar esta formación con un alto grado de meteorización y deformación por la fuerte actividad tectónica. Litológicamente se encuentra constituido por tobas de tipo

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

vítreo a cristalino y líticas con algunas variaciones en su composición y textura. La Formación Saldaña se encuentra instruida por El Batolito de Ibagué.

La Formación Saldaña infrayace, en forma discordante, a las Formaciones Yaví y Caballos de edad cretácica, como se observa al occidente de Tesalia en el Anticlinal de Nátaga, por la sección del río Yaguaracito.

De acuerdo con Cediel et al. (1980) la edad de esta unidad es triásico-jurásico.

Batolito de Ibagué (Ji)

El Batolito de Ibagué aflora al occidente de Nátaga, Pacarní. Íquira y Teruel; este cuerpo está limitado al oriente por la Falla de Nátaga del Sistema de Fallas de Chusma; hacia el sur instruye rocas metamórficas precámbricas del Ortogranito de Nátaga, en otros sectores, el batolito instruye la Formación Saldaña.

Su composición es monzogranítica y cuarzomonzodiorítica, los minerales principales son cuarzo (23%), plagioclasas (39 %) y feldespato potásico (microclima y ortosa) (26%). Como minerales accesorios se presentan biotita, hornablenda, opacos, circón, esfena y rutilo. Los minerales de alteración son: clorita, sericita, epidota, caolín, saussurita, hematita, calcita y leucoxeno. Localmente se encuentra atravesado por enjambres de diques de composición diorítica. El color de estas rocas es blanco-grisáceo con una textura fanerítica granular de grano fino a medio.

Por medio de dataciones radiométricas de rocas pertenecientes al intrusivo han mostrado edades de 131 ± 2 Ma hasta 183 ± 5 Ma (Priem et al. 1989), que corresponden a Jurásico temprano – Jurásico tardío.

- **Rocas del Cretácico**

Formación Caballos (Kc)

La unidad fue definida como una secuencia arenosa cuyo depósito se da en un ambiente transgresivo a marino somero; para este trabajo se utilizó la definición de Beltrán & Gallo (1968) el cual separa la unidad en tres miembros que se extienden en todo el Valle Superior del Magdalena.

Litológicamente la parte inferior está constituida por arenitas cuarzo-feldespáticas de grano medio y conglomerático, hacia la base, con intercalación de arcillas. En la parte media se tienen arcillolitas con intercalaciones de cuarzo arenitas de grano grueso, con grano decrecimiento hacia la parte alta. En la parte superior está constituido por cuarzo arenitas con intercalaciones de delgados niveles de arcillolitas.

El contacto superior es con la Formación Saldaña, esta es neto para concordante y está ubicado en la base de la primera capa de arenisca cuarzo – feldespática, dispuesta sobre tobas líticas de la Formación Saldaña. El contacto superior con la Formación

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

Hondita es concordante y neto, y se ubicó en la capa arenítica más alta sobre la cual descansan arcillolitas y limolitas laminadas de la Formación Hondita.

De acuerdo con Mendivelso (1993) y Renzoni (1994a), reportan una edad entre Albiano temprano y Albiano medio – temprano.

Formación Hondita y Loma Gorda (Kh – Kl)

Las formaciones Hondita y Loma Gorda fueron descritas por Porta (1965), estas afloran en la mitad oriental de la Plancha 344, como cinturones orientados en sentido noreste, morfológicamente está representada por áreas ligeramente onduladas y con poca pendiente. Aflora en los dos flancos del Anticlinal de La Hocha, en el extremo norte del flanco oriental del Anticlinal de Nátaga.

La Formación Hondita y Loma Gorda, en su parte inferior se encuentra una sucesión de lutitas calcáreas y carbonosas, intercaladas con niveles delgados de cuarzo-arenitas, además se presentan algunas intercalaciones de capas delgadas de calizas micríticas hacia la base. En la parte media de la unidad se caracteriza por presentar niveles de lutitas y shales calcáreos, con abundantes concreciones. El segmento superior está constituido por intercalaciones de lutitas y lodolitas silíceas. Hacia el tope de la secuencia se encuentran capas delgadas de lutitas intercaladas con chert.

El contacto inferior con la Formación Caballos es concordante neto y fue marcado en la base de las lodolitas arenosas monótonas, que predominan en las formaciones Hondita y Loma Gorda. El contacto superior con el Grupo Oliní es neto y marcado por la aparición de la primera capa de chert de la Lidita Inferior. Según Patarroyo (1993), la Formación Hondita abarca desde el Albiano medio hasta el Coniaciano y la Formación Loma Gorda es de edad Coniaciano, de acuerdo al contenido fósil reportado por varios autores.

- **Rocas del Cretácico – Paleógeno**

Formación Seca (Kpgs)

Porta (1965) propuso el nombre de esta unidad para definir una sucesión de arenitas y lutitas rojizas que estratigráficamente está intercalada entre las formaciones Cimarrona y Hoyón y cuya sección tipo se localiza en la quebrada Seca, ubicada al sur de la población de Cambao. En la plancha 344 se ha utilizado este nombre para describir el conjunto de lodolitas y arenitas rojizas, que se encuentran intercaladas entre las rocas sedimentarias del Grupo Oliní – Formación la Tabla y la secuencia rudítica continental del Paleógeno, que conforma el Grupo Chicoral.

Esta unidad está caracterizada por la alternancia de lutitas y arcillolitas rojizas intercaladas con capas de arenitas líticas de grano fino a medio. La parte inferior está constituida de la unidad está constituida principalmente por arenitas y lodolitas, la parte

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

superior de la unidad es más arenítica en donde se encuentran capas de hasta 5 metros de secuencias grano decrecientes.

El contacto inferior con la Formación La Tabla es de carácter neto y se define con la aparición del primer paquete de cuarzo arenitas de la Formación La Tabla, el contacto superior es discordante, marcado en la última capa de arenisca de color gris que infrayace la arenisca de grano medio a conglomerático de tono rojizo con que inicia el Grupo Chicoral. Según Porta (en Julivert, 1968) la edad de la formación es Maastrichtiano – Paleoceno.

- **Depósitos recientes**

Depósitos Coluviales (Qc)

Son producto de movimientos en masa (caídas y pequeños deslizamientos), los cuales corresponden a materiales que se acumularon en la parte baja de las laderas, afectadas por la acción conjunta de la gravedad y sobrecarga. Se encuentra distribuido sobre la parte media baja de la cuenca, producto principalmente de los suelos residuales de roca ígnea intrusiva. Están compuestos principalmente por suelos mayoritariamente arenosos, en ocasiones mezclados con cenizas y otros materiales de origen volcánico. También pueden presentar gravas o guijarros heterométricos, con una matriz arcillo – limosa por descomposición de los materiales volcánicos.

Presentan coloraciones habanas claras a oscuras, con parches o vetas de oxidación de color naranja a rojo. Pueden tener un espesor aproximado entre los 5 a 20 m dependiendo del volumen del material desprendido. Es importante resaltar que estos materiales se encuentran desconfiados y disgregados. La mayoría de estos depósitos no son cartográficos a la escala de trabajo planteada.

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 23 se reconoce rocas de la Formación Villeta, que corresponde a una secuencia de lutitas grises a negras, ricas en materia orgánica. Concreciones de calizas fosilíferas, Albiano – Campaniano.

5.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Desde el punto de vista estructural, en el área de estudio se comprobó la actividad tectónica que ha dado la expresión actual del sistema montañoso de Los Andes del Norte, especialmente la porción que corresponde a la diferenciación entre Los Andes Ecuatorianos y Los Andes de Colombia. Estos procesos tectónicos se han interpretado como originados por diferentes mecanismos geodinámicos, como por ejemplo la migración del sistema de cabalgamiento sub andino que comenzó en el Mesozoico y

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

continuó progresivamente durante el Cenozoico, aun en el Cuaternario (Noblet et al., 1996, en Velandia, 2001) o como tectonismo de plegamiento de antepaís, con avance principal hacia el oriente desde Perú en dirección a Ecuador y Colombia (Butler, 1983; Mojica & Franco, 1992; Coney & Evenchick, 1994, en Velandia, 2001).

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

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

El Sistema de Fallas de Chusma integra las fallas de cabalgamiento que con vergencia al suroriente actuaron desde el Eoceno para el levantamiento de la Cordillera Central sobre el Valle Superior del Magdalena. El sistema incluye también las fallas de retro cabalgamiento asociadas que se presentan hacia la parte alta de la cordillera. El trazo principal de este sistema es la Falla Nátaga-Chusma, tal y como se observa en la Ilustración 9.

El área comprendida dentro de la Plancha 344 abarca la región sur occidental del valle superior del Magdalena y el borde oriental de la Cordillera Central, está repartida en dos regiones morfo estructurales cuyo límite es la Falla de Nátaga que se extiende del noreste al suroeste. A continuación se describen las principales fallas y estructuras geológicas que influyen en la zona.

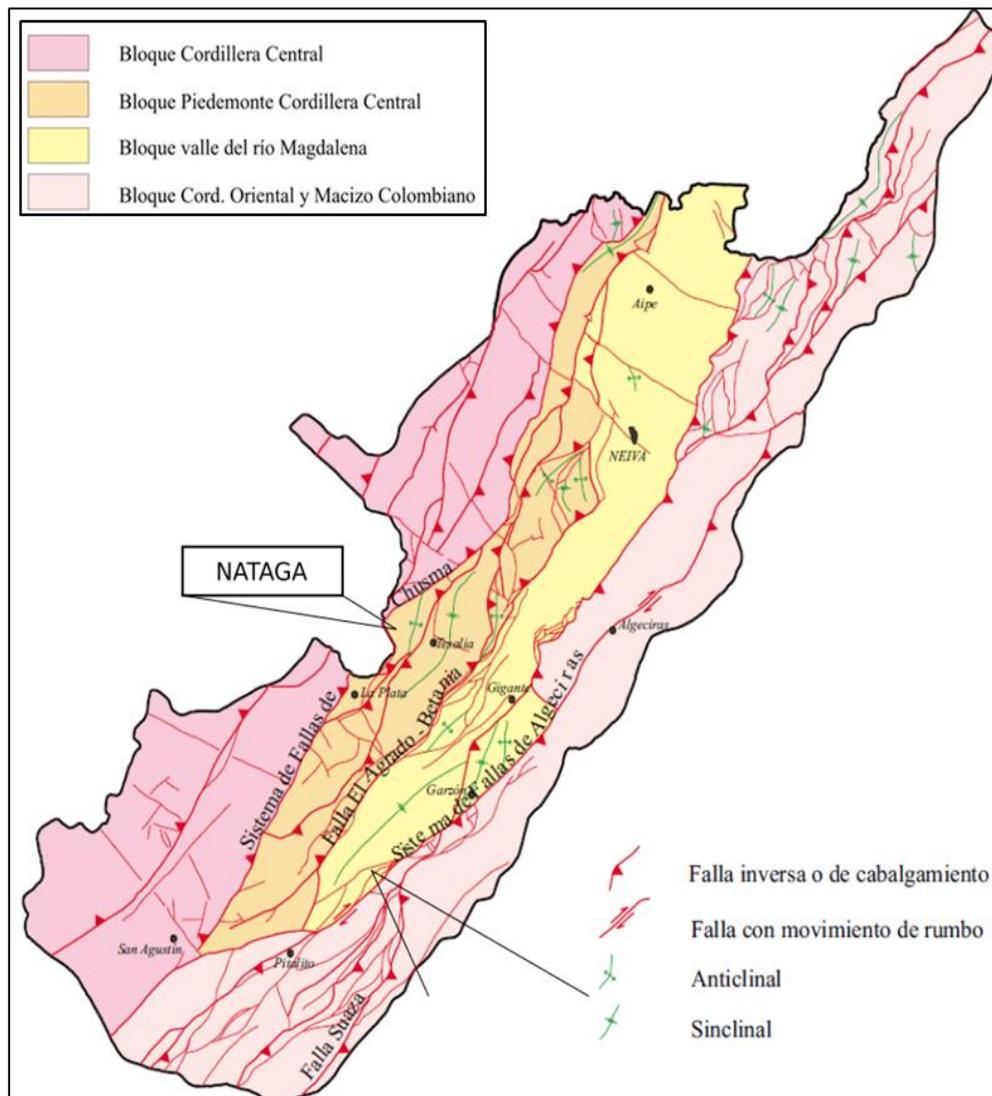


Ilustración 9. Esquema estructural del Departamento del Huila. Tomada y modificada de la memoria del mapa geológico del Departamento del Huila, Esc. 1: 300.000 (SGC, 2001). Dentro del recuadro negro se observa la ubicación relativa de Nátaga.

5.3.1 La Falla Nátaga-Chusma

Según la memoria del mapa geológico escala 1:300000 del departamento del Huila la Falla Nátaga 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 Nátaga 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 Nátaga 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

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

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 e 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.

5.3.2 Anticlinal de Nátaga

Es una estructura amplia y asimétrica, limitada al oeste por las fallas de Nátaga e Itaibe y al este por la Falla de Pacarní. Su eje tiene una dirección noreste -suroeste y desaparece al norte, bajo el plano de Falla de Nátaga. Este anticlinal involucra rocas de las formaciones Saldaña y Caballos, y cubre la mayor parte del área, y las formaciones Hondita, Seca y el Grupo Olini, con menor extensión, y está en la parte NE de la estructura.

5.3.3 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.

La zona sobre la cual se ubica la población de Nátaga, se caracteriza por presentar una morfología altamente peneplanizada, con laderas de pendientes suaves, contrastante con la morfología quebrada y marcada de las unidades ígneas aflorantes hacia el noroeste (Batolito de Ibagué). La naturaleza alargada de la ladera en cuestión, se relaciona con la homogeneidad de material sobre el cual esta se desarrolla, el cual en su totalidad corresponde a rocas de las Formaciones Hondita y Loma Gorda. Así mismo, sobre esta ladera, múltiples drenajes menores generan valles amplios en donde se evidencia que el potencial de socavamiento de los mismos no es muy considerable.

Como se puede observar en la Ilustración 10, el municipio se encuentra ubicado sobre una ladera la cual alcanza una inclinación máxima de 24 %, lo que según Carvajal (2012) corresponde a una pendiente inclinada (10 – 15 ° de inclinación). Utilizando la

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

metodología de Van Zuidam (1986), quien clasifica las laderas a partir de su longitud, caracteriza la ladera del límite occidental del municipio, como una ladera “muy larga” (500 – 1000m).

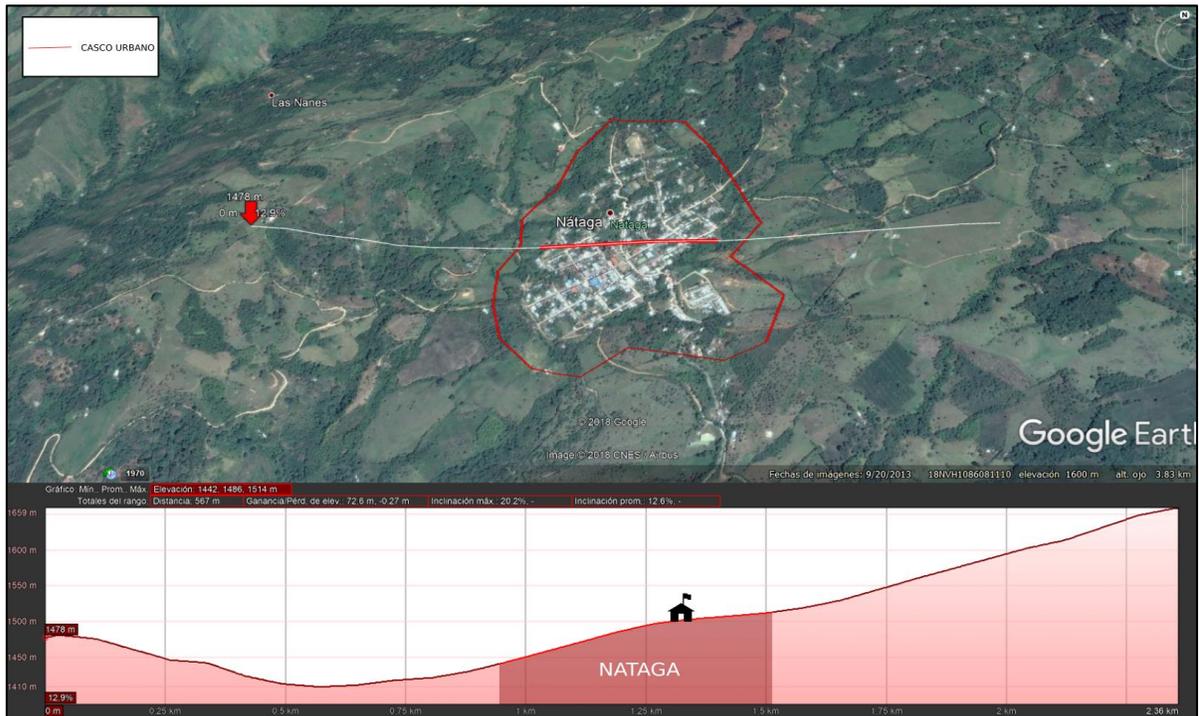


Ilustración 10. Principales rasgos geomorfológicos a nivel regional y Perfil de elevación del casco urbano de Nátaga

Fuente: Geocing SAS.

5.4 GEOLOGÍA LOCAL

Para el desarrollo del estudio, 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 1:2000) y su caracterización correspondiente. Para esto se anudaron las observaciones y descripciones técnicas, realizadas sobre el terreno, la descripción de los núcleos de perforación de aproximadamente tres (3) sondeos mecánicos que alcanzaron hasta los diez y seis (16) metros de profundidad, la descripción de los núcleos de perforación obtenidos en tres (3) barrenos manuales que alcanzaron los cuatro, ocho (4,8) metros de profundidad, y la interpretación de dos (2) líneas de refracción sísmica, así como información obtenida con ayuda de imágenes satelitales y de fotografías aéreas que cubren el sector 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 NÁTAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA</p>

5.4.1 Aspectos locales

Con base en la fotointerpretación y análisis de imágenes satelitales, se generó un plano fotogeológico, 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.

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. Influye en la formación de los suelos residuales, estabilidad de las laderas y en la acción de la erosión, al igual que sobre las propiedades físico–mecánicas de las rocas, tales como densidad, resistencia a la compresión simple, porosidad, permeabilidad, deformabilidad y consistencia. Como se observa en la Tabla 4, para definir el grado de meteorización de las rocas se utilizó el perfil generalizado de Dearman (1974, 1991).

Tabla 4. Perfil de meteorización utilizado para agrupar los materiales geológicos en el mapa de unidades Geológicas de ingeniería. Tomado y modificado de Dearman (1974, 1991).

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

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE NÁTAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
GEOCING <small>Geociencias e Ingeniería SAS</small>	INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA

Unidad usada en el mapa	Grado de meteorización	Nombre	Descripción
		meteorizada	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: Geocing SAS.

✓ 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 (Ilustración 11).

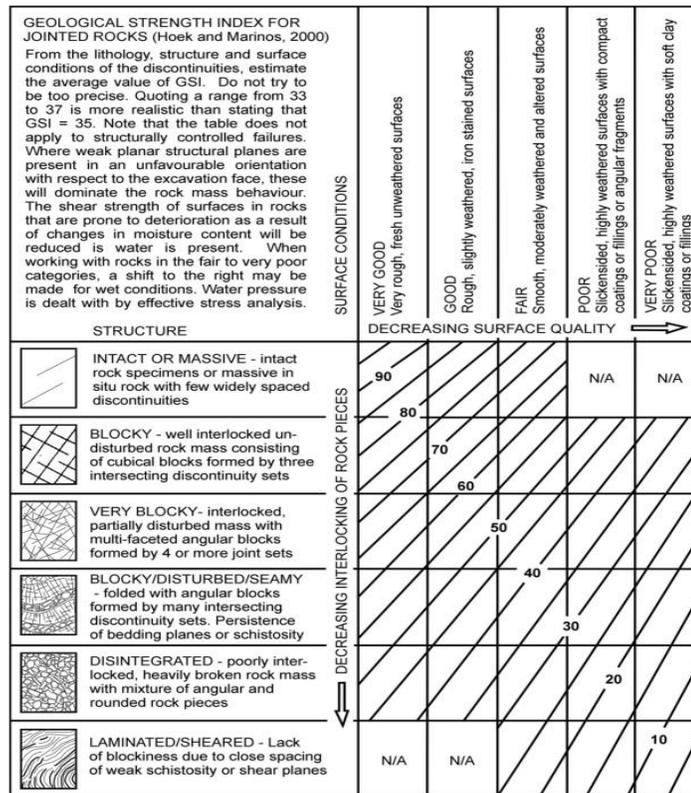


Ilustración 11. Factor G.S.I para Macizos Rocosos

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

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

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

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 trabajaran con materiales de espesores de 2 metros.

✓ **Origen y litología**

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

Esta clasificación permitió 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**

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

Una vez establecidas las posibles UGI, identificadas 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) presentes en la zona de estudio; su extensión se observa en el Plano de Unidades Geológicas para Ingeniería, UGI GE426-NAT-PSIG-GE-006-00.

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

5.4.2 Unidades de roca

Para la caracterización y clasificación de las rocas se tuvo en cuenta como parámetros geológicos principales: la Génesis u origen, composición litológica, resistencia, grado de fracturamiento y grado de meteorización, entre otros.

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

- **Roca dura, Formación Caballos – Areniscas (Rd-K1c-a):**

Areniscas de grano medio a grueso, limpias, con porosidad alta de coloración blanca a naranja por oxidación. Presenta grano crecimiento hacia el tope del afloramiento.

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

Esta unidad se observa puntualmente en el lecho de la quebrada El Pueblo, en capas muy gruesas con espesores aproximados de hasta 2 metros, medianamente fracturadas y con un bajo grado de meteorización, tabulares, con límites erosivos, e intercaladas con capas medias de lodolitas negras físciles (Ilustración 12).

También se identifica a través de sondeos mecánicos (Sme) y las Líneas de Refracción Sísmica (LRS) realizados en el área. En el SME-1 se observa desde los 10m hasta los 15m, en el SME-2 en la parte final de la perforación (a partir de los 15 m) y en el SME-3 desde los 13 m hasta el final de la perforación. En la LRS2 se observan velocidades de Vs de 637 m/s desde los 20m hasta el final de la exploración, velocidades que son atribuidas a areniscas de la Formación Caballos.



Ilustración 12. Afloramiento en la quebrada El Pueblo en la parte oriental de la zona de estudio
Fuente: Geocing SAS.

De acuerdo a los sondeos mecánicos, a los análisis de laboratorio y a las observaciones de campo, se observa que esta unidad es bastante competente, que a medida que se profundiza las areniscas toman un color completamente blanco.

- **Roca intermedia, Formación Caballos-lodolitas (Ri-K1c-I)**

Compuesta por lodolitas físciles grises a negras con patinas naranjas por oxidación, de baja resistencia (ver Ilustración 13)

Esta unidad se observa en uno de los taludes hechos para la construcción de una cancha de fútbol al noreste de la zona de estudio. Se caracteriza por presentar una morfología de laderas residuales con contornos muy suavizados. En el Sondeo Mecánico 2 (SMe-2) se observan estas rocas desde los 11m hasta el final de la perforación (15 m) y en el SME-3 se presentan desde los 10m hasta los 13m de profundidad, suprayaciendo areniscas de la misma unidad. En la LRS-1, se interpretan

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

desde los 12 hasta los 30m de profundidad, rocas de la Formación Caballos (Iodolitas) con una velocidad V_s promedio de 480 m/s, mientras que en la LRS-2 la velocidad V_s promedio es de 535 m/s para esta litología en las profundidades entre 12m y 20m.



Ilustración 13. Roca intermedia de la Formación Caballos-Iodolitas (Ri-K1c-I).
Fuente: Geocing SAS.

En los sondeos mecánicos se observa que a medida que se profundiza, esta unidad se vuelve más competente, disminuyen los rasgos de meteorización (pátinas de color naranja) y de color más oscuro (hasta llegar a negro), además de la completa ausencia de granos de mayor tamaño al de arcilla (Ilustración 14).

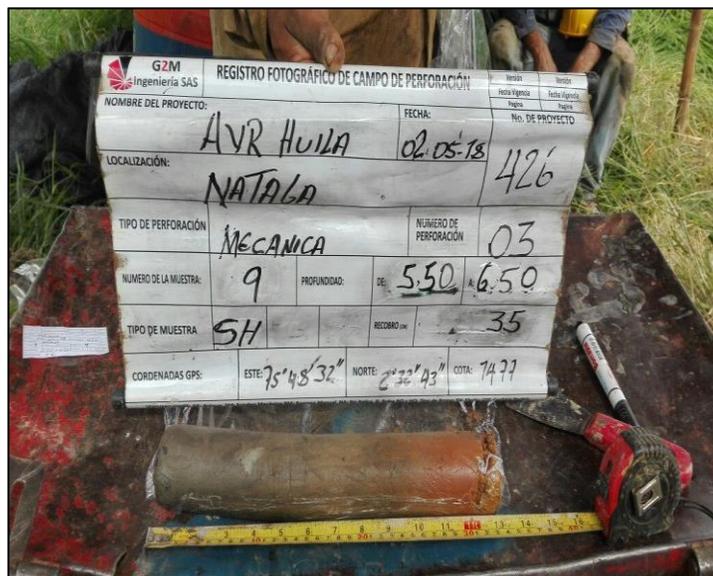


Ilustración 14. Sondeo mecánico 3 (SME-3) realizado en cercanías a la iglesia.
Fuente: Geocing SAS.

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

- **Roca intermedia, Formación Caballos - roca meteorizada (Ri-K1c-rm)**

Corresponde a intercalaciones de capas medias de areniscas y lodolitas, que reportaron valores de SPT's (suma de las dos últimas secciones) entre 25 golpes y rechazo. Las lodolitas son de alta plasticidad y baja compresibilidad. Su coloración entre el marrón claro, y gris oscuro (Ilustración 15). Se identifica este material en el Sme01 entre los 5,5 m y 7,5 m. En el Sme02 entre los 7,5 m y 10 m. En el Sme03, entre los 5,5 m y 10m.



Ilustración 15. Sondeo mecánico 2 (SMe-2).
Fuente: Geocing SAS.

5.4.3 Unidades de suelos

Se definen como suelos aquellos materiales sueltos compuestos de una mezcla de materia orgánica, fragmentos de roca, arcilla y minerales, producto de la descomposición *in situ* del material rocoso o de sedimentos transportados por diferentes medios.

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

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

- **Suelo residual sedimentario de la Formación Caballos (Srs-K1c)**

Son el resultado de la degradación debida a agentes meteorológicos: físicos, químicos y biológicos, sobre rocas de la Formación Caballos, ya sea sobre lodolitas o areniscas

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

de esta unidad, por lo que presentan textura variable entre arcillosa y limosa, de color marrón a naranja por oxidación. Presentan escasos fragmentos de lodolitas redondeados. Los valores de SPT's para esta unidad varían entre los 9 y 44 golpes, y la humedad mayor al 15%.

Este material aflora en la mayor parte del casco urbano (ver Ilustración 16), pero debido a que la meteorización del material es diferente en zonas planas y zonas de pendiente, sus espesores son muy variables a lo largo del área. En el SMe-1 se observa un suelo residual de textura arcillosa hasta los 5 m de profundidad, seguido de un suelo de textura arenosa desde los 5 m hasta los 5,5 m; el SMe-2 muestra suelos de textura arenosa desde los 0,5 m hasta los 6,0 m, suprayaciendo suelos de textura arcillosa que van desde los 6 m hasta los 7,5 m de profundidad, y por último en el SMe-3 se observan aproximadamente 5 m de suelos residual de la Formación Caballos, desde los 2,5 m hasta los 7,5 m de profundidad.

La LRS1, reporta en los 12 primeros metros, este material con velocidad de 427 m/s, la LRS reporta en los primeros 12 metros este material, con velocidades entre 400 y 426 m/s.



Ilustración 16. Suelo residual sedimentario de la Formación Caballos (Srs-K1c)
Fuente: Geocing SAS.

Al momento de la visita se observó que el material presentaba plasticidad media, consistencia blanda y humedad baja.

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

- **Suelo transportado fluvial, aluvial activo (Stfaa)**

Son los materiales generados por las dinámicas de las quebradas El Putio, El Pueblo, Las Tinajas y La Pita, que se depositan en los cauces (por lo general se encuentran bajo la tabla de agua de estos).

Se encuentran conformados por clastos heterométricos redondeados a subredondeados de rocas sedimentarias (principalmente arcillolitas y areniscas) mezclados con vestigios de materia orgánica como troncos, ramas y raíces, embebidos en una matriz limo arcilloso con tonalidades marrón claro y oscuras. Son de poca extensión, de porosidad alta y se presentan en terrenos con pendientes suaves (ver Ilustración 17) ubicados en diversos sectores del área de estudio (principalmente al norte y al sur), en ocasiones formando pequeñas y aisladas terrazas con escalas no cartografiables, contantemente interactuando con los suelos residuales de la Formación Caballos.

Se observó escorrentía actualmente fluyendo por estos cauces, por lo que se asume que las aguas que se infiltran al terreno también fluctúan a nivel subsuperficial.



Ilustración 17. Suelo transportado de origen fluvial, tipo aluvial activo (Stfaa).

Fuente: Geocing SAS.

- **Suelos Antrópicos, rellenos indiferenciados (Sarin)**

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

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

Existen sectores puntuales (hacia las márgenes de las viviendas), donde se ubican depósitos de estos materiales sin compactación, los cuales quedaron como remanentes de actividades precias de construcción, del desarrollo urbanístico del barrio, residuos inorgánicos y basura, entre otros. Por lo general presentan espesores entre 1 m y 3 m, poca extensión y se ubican discontinuamente en el sector de estudio, principalmente en el casco urbano. Su composición está dominada por una matriz limo arcillosa abundante, con tamaños arenas, gravas, guijarros y bloques (de cualquier procedencia o composición) embebidos en esta. Con coloraciones marrón oscuro, negro y rojizas además de parches de colores debido a los materiales inorgánicos que muchas veces tienen incluidos. Pueden contener cantidades variables de materia orgánica, se utiliza esta mezcla de materiales sin conformar para asentar las placas base de las construcciones que se hicieron sobre explanaciones en la ladera original (ver Ilustración 18).



Ilustración 18. Suelo antrópico, rellenos indiferenciados (Sarin).
Fuente: Geocing SAS.

Algunas construcciones civiles se encuentran asentadas sobre esta configuración de materiales, y por falta de mantenimiento, en algunos sectores se han producido procesos erosivos considerables. Por tal motivo, el factor antrópico juega un papel detonante en la inestabilidad en la zona de estudio.

- **Suelo antrópico, relleno ingenieril (Sari)**

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

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

discontinua en el casco urbano, debido a que la población de Nátaga las vías pavimentadas en su totalidad.

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

Los depósitos utilizados para la construcción de vías y andenes (Sari-1), contienen clastos tamaño gravas, bloques y arena bien seleccionados, separados y compactados generalmente con coloraciones grises a marrón claro. Para la realización de obras civiles como parques o plazas (Sari-2) se utilizan materiales con una matriz arcillo limosa, con lentes de arenas, gravas y en ocasiones materia orgánica. Por lo general tiene coloraciones marrón claro a oscuro.

Posiblemente estos materiales se encuentran suprayaciendo suelo residual de la Formación Caballos, su saprolito o embebido dentro de este, ya que generalmente se usa esta mezcla de materiales sin conformar para asentar las placas base de los andenes que se construyeron sobre explanaciones en la ladera original (ver Ilustración 19).



Ilustración 19. Fotografía tomada hacia el sureste. Suelo antrópico, relleno ingenieril (Sari) para la construcción de vías principales dentro del casco urbano
Fuente: Geocing SAS.

- **Suelos antrópicos, depósitos de escombros (Sade)**

Corresponde a los depósitos de desechos originados por las actividades de construcción o del desarrollo urbanístico del casco urbano (vías, edificaciones, etc.) y residuos orgánicos e inorgánicos, entre otros.

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

Pueden presentar espesores variables, de 0,3 m hasta 3 m aproximadamente, tiene poca extensión y se ubican discontinuamente en el sector de estudio (principalmente hacia el noroccidente).

Su composición está dominada por una matriz arcillo limosa, con clastos y fragmentos tamaños gravas, guijarros y bloques (de cualquier procedencia y composición), con coloraciones marrón oscuro, negro y rojizas. Pueden contener cantidades variables de materia orgánica (ver Ilustración 20).



Ilustración 20. Fotografía tomada hacia el occidente. Depósitos antrópicos, rellenos de escombros (Sade) en laderas conformadas por acción antrópica.

Fuente: Geocing SAS.

- **Suelos traslocados, inestabilidad reciente – Deslizamiento Rotacional (Stir – 2)**

Hace referencia a los materiales originados por movimientos en masa tipo deslizamientos. Se encuentran distribuidos en diversos sectores dentro de la zona de estudio, actuando indiferentemente sobre suelos residuales y/o rocas de la Formación Caballos.

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

En cambio, cuando el proceso ocurre sobre suelo de relleno (indiferenciado o ingenieril), se observan depósitos de bloques angulosos heterogéneos y

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

heterométricos, dentro de una matriz areno arcillosa, generalmente reposando en superficies moderadamente inclinadas a escarpadas (Ilustración 21).



Ilustración 21. Suelo traslocado de inestabilidad reciente (Stir-2) en un deslizamiento rotacional contiguo a la catedral

Fuente: Geocing SAS.

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

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

Se encuentran distribuidos de forma aleatoria dentro de la zona de estudio, principalmente hacia el suroccidente y noroccidente.

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, que paulatinamente pasan a más gruesos, con algunos pequeños fragmentos de areniscas, con coloraciones que van desde el gris al naranja por oxidación.

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



Ilustración 22. Fotografía tomada hacia el norte. Depósitos de procesos de inestabilidad reciente (Stir) al suroriente del área de estudio, generado por un movimiento superficial tipo Reptación sobre suelo residual de la Formación Caballos.

Fuente: Geocing SAS.

A continuación, en la Tabla 5 se describen en forma resumida las características principales de la unidades geológicas ingenieriles (UGI) presentes en el área de estudio.

Tabla 5. Unidades geológicas de Ingeniería (UGI)

UNIDAD GEOLÓGICA BÁSICA/EDAD	UNIDAD GEOLÓGICA INGENIERIL	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
Cuaternario	Suelo traslocado, inestabilidad reciente (Reptación)	Stir-1	Materiales originados por movimientos superficiales tipo reptación donde se deforma la parte superficial del terreno. A este tipo de procesos se les atribuyen factores como el material aflorante que es de textura principalmente arcillosa, la inclinación de las laderas donde sucede que por lo general varían entre inclinadas y abruptas, y el cambio en el uso del suelo.
	Suelo traslocado, inestabilidad reciente	Stir-2	Materiales originados por movimientos en masa tipo deslizamientos. Se encuentran distribuidos en diversos sectores dentro de la zona de estudio, actuando indiferentemente sobre suelos residuales
	Suelo antrópico, depósitos de escombros	Sade	Corresponde a materiales de desechos originados por las actividades de construcción o del desarrollo urbanístico, también pueden estar compuestos por residuos orgánicos e inorgánicos, basura, entre otros, dispuestos en forma caótica en lugares determinados dentro de la zona de estudio.
	Suelo		Son materiales seleccionados y compactados, donde se desarrolla construcción de obras ingenieriles. Litológicamente están conformados generalmente por mezclas de materiales granulares y cohesivos,

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

UNIDAD GEOLÓGICA BÁSICA/EDAD	UNIDAD GEOLÓGICA INGENIERIL	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	antrópico, rellenos ingenieriles	Sari	heterométricos en matriz que varía entre areno-limosa a limo-arenosa.
	Suelo antrópico, rellenos indiferenciados	Sarin	Materiales sin selección y posteriormente compactados, donde se desarrollaron obras civiles de medianas a bajas especificaciones técnicas. Su composición está dominada por una matriz arcillo limosa abundante, con fragmentos tamaño arena, gravas, guijarros y bloques (de cualquier procedencia o composición).
	Suelo transportado fluvial, aluvial activo	Stfaa	Son materiales no consolidados, originados por la dinámica de las quebradas El Putio, El Pueblo, Las Tinajas y La Pita, que se depositan actualmente en los cauces y en las orillas de estos.
	Suelo residual de la Formación Caballos	Sr-K1c	Son el resultado de la degradación debida a agentes meteorológicos, sobre rocas de la Formación Caballos, ya sea sobre lodolitas o areniscas de esta unidad, por lo que presentan textura variable entre arcillosa y limosa, de color marrón a naranja por oxidación.
Cretáceo	Roca intermedia de la Formación Caballos-roca meteorizada	Rb-K1c-rm	Corresponde a intercalaciones de capas medias de areniscas y lodolitas, que reportaron valores de SPT entre 25 golpes y rechazo. Las lodolitas son de alta plasticidad y baja compresibilidad. Su coloración entre el marrón claro, y gris oscuro.
	Roca intermedia de la Formación Caballos-lodolitas	Ri-K1c-l	Compuesta por lodolitas físciles grises a negras con patinas naranjas por oxidación, de baja resistencia. Esta unidad se observa en uno de los taludes hechos para la construcción de una cancha de fútbol al noreste de la zona de estudio. Se caracteriza por presentar una morfología de laderas residuales con contornos muy suavizados.
	Roca dura de la Formación Caballos-areniscas	Rd-K1c-a	Areniscas de grano medio a grueso, limpias, con porosidad alta de coloración blanca a naranja por oxidación. Presenta granocrecimiento hacia el tope del afloramiento.

Fuente: Geocing SAS.

5.4.4 Condiciones Estructurales Locales

En los sectores donde afloran rocas de la Formación Caballos, fue posible realizar mediciones azimut de buzamiento / buzamiento (estratificación), y de valores representativos de Familia de diaclasas, valores que son consignados en la Tabla 6.

Tabla 6. Mediciones de estratificación y familia de diaclasas en el terreno

Estación	Coordenadas			Estratificación E	D1	D2
	E	N	Altura			
47	1141335	773188	1494	200/10	235/75	168/88

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

Estación	Coordenadas			Estratificación E	D1	D2
	E	N	Altura			
60	1141163	773769	1533	260/15	042/81	065/80
697	1141340	773195	1507	220/13	230/75	178/88
702	1141317	772889	1491	285/25	222/70	173/70

Fuente: Geocing SAS.

Como se puede observar, la dirección de buzamiento de los planos de estratificación de la Formación Caballos varía entre 200 y 285, mientras que su ángulo de buzamiento está entre 10 y 25. A continuación se presenta el mapa de geología local. (Ilustración 23). En el Anexo 6. Mapas se encuentra el mapa GE426-NAT-PSIG-GE-006-00.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA

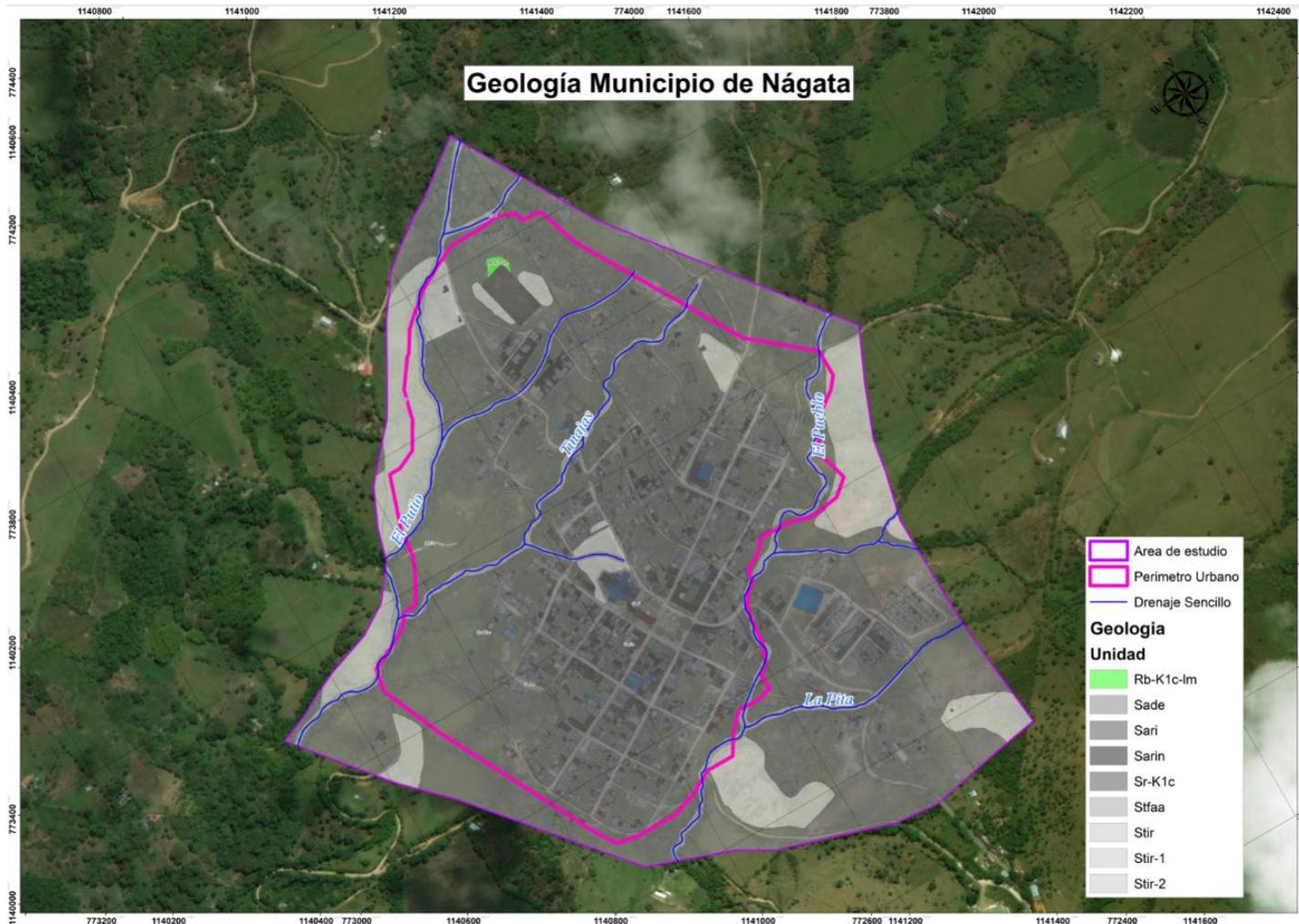


Ilustración 23. Mapa geológico del municipio de Nátaga
Fuente: Geocing SAS.

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

6 GEOMORFOLOGÍA

6.1 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

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

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

La zona sobre la cual se ubica la población de Nátaga, se caracteriza por presentar una morfología altamente peneplanizada, con laderas de pendientes suaves, contrastante con la morfología quebrada y marcada de las unidades ígneas aflorantes hacia el noroeste (Batolito de Ibagué). Esta morfología suavizada se genera a partir de eventos denudacionales que homogenizan la superficie de la unidad cretácea allí aflorante, generando una ladera suave y alargada que finaliza en el Río Narvéez, drenaje principal de la región. La naturaleza alargada de la ladera en cuestión, se relaciona con la homogeneidad de material sobre el cual esta se desarrolla, el cual en su totalidad corresponde a rocas de las Formaciones Hondita y Loma Gorda. Así mismo, sobre esta ladera, múltiples drenajes menores generan valles amplios en donde se evidencia que el potencial de socavamiento de los mismos no es muy considerable. La región se caracteriza por presentar una gran cantidad de zonas agrícolas y una densidad baja de vegetación.

Como se puede observar en Ilustración 24, el municipio se encuentra ubicado sobre una ladera la cual alcanza una inclinación máxima de 24 %, lo que según Carvajal (2012) corresponde a una pendiente inclinada (10 – 15 ° de inclinación). Utilizando la metodología de Van Zuidam (1986), quien clasifica las laderas a partir de su longitud, caracteriza la ladera del límite occidental del municipio, como una ladera “muy larga” (500 – 1000 m).

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

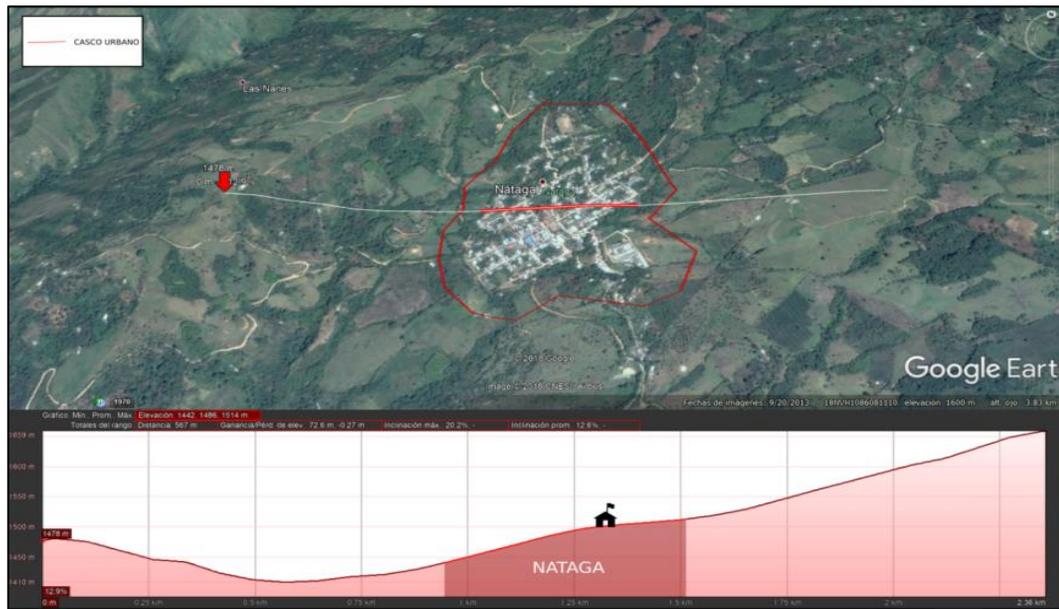


Ilustración 24. Principales rasgos geomorfológicos y Perfil de elevación del casco urbano de Nátaga
Fuente: Geocing SAS.

6.2 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

En la zona de estudio confluyen ambientes morfogenéticos de tipo: Antrópico, Denudacional, Mixto Denudacional-Agradacional, Fluvial y Volcánico, donde se describen las siguientes unidades geomorfológicas y cuya extensión se observa en el Plano de Geomorfología Local y sus principales características en la Tabla 7.

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.

Tabla 7. Inclinación de laderas. Vargas (2001).

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

Fuente: Geocing SAS.

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

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 válidas y se deben analizar en conjunto con otros atributos que califican la ladera. En Tabla 8, se indica la categorización de las longitudes de ladera según Van Zuidam (1986).

Tabla 8. Longitud de laderas, Van Zuidam (1986)

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

Fuente: Geocing SAS.

La nomenclatura y colores, de las unidades geomorfológicas locales, se realizó con base y modificada, de la Propuesta Metodológica Sistemática para la Generación de Mapas geomorfológicos Analíticos Aplicados a la Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa Escala 1:100.000 (SGC. 2012). A continuación se presenta la descripción de las subunidades y elementos o geoformas presentes en el sitio de estudio, ordenadas según su origen

6.2.1 Antrópico

Corresponden a geoformas originadas como resultado de la intervención del hombre sobre el terreno. Para este caso en particular, las actividades antrópicas para construcción de infraestructura civil y vial, modifican la morfología natural del terreno. Dentro del área de estudio, se ubican actualmente zonas muy modificadas e intervenidas por construcciones y demás actividades asociadas, donde inciden directamente los factores antropogénicos. El procesamiento de los materiales depositados o extraídos genera gran cantidad de residuos que en ocasiones han sido dispuestos sobre las laderas o explanaciones de la zona en análisis sin ningún tipo de control. Debido a su composición litológica y su ubicación espacial, estas geoformas son de tipo:

- **Rellenos de escombros y/o escombreras (Are):**

Generado por todo tipo de residuos sólidos, resultante de demoliciones, reparación de inmuebles, construcción de obras civiles y actividad minera; es decir, los sobrantes de

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

cualquier acción que se ejerza en las estructuras urbanas, en donde su proceso de disposición puede darse de forma adecuada o no (técnica o no técnica). Tienen una morfología de pendiente abrupta a escarpada (16° - 45°) y una longitud de pendiente muy corta ($<50\text{m}$). Presenta poca extensión y se encuentran distribuidas principalmente en la parte norte del área de estudio. Presenta nula vegetación y se observa erosión hídrica laminar de leve a moderada intensidad sobre estas geoformas (ver Ilustración 25). Estas geoformas presentan alta susceptibilidad a movimientos en masa tipo deslizamiento y moderada a alta susceptibilidad a erosión hídrica ya que estos materiales se encuentran desprovistos de vegetación.



Ilustración 25. Geoforma de origen antrópico, Relleno de escombros y/o escombreras (Are)
Fuente: Geocing SAS.

- **Superficie de explanación (Asp):**

Planos de allanamiento hecho en laderas de sustrato rocoso con el fin de adecuar el terreno para la construcción o con fines de estabilización de laderas, mediante la explanación o terracedos que disminuyen la pendiente del terreno.

Tienen una morfología de pendiente inclinada a muy inclinada (6° a 15°) y una longitud de pendiente corta a moderadamente larga (entre 50m y 500m). Presenta amplia extensión y continuidad, y se encuentran distribuidas principalmente en la parte central de la zona de estudio (Ver Ilustración 26). Presentan moderada susceptibilidad a movimientos en masa y moderada susceptibilidad a erosión hídrica.

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



Ilustración 26. Fotografía tomada hacia el oriente. Geformas de origen antrópico, Superficie de explanación (Asp)

Fuente: Geocing SAS.

- **Planos y campos de llenos antrópicos (Ar):**

Planos hechos artificialmente con material de relleno para acondicionar terrenos anegadizos para la construcción de viviendas. Técnicamente son de gravas y arena compactadas, sin embargo comúnmente son de escombros y desechos de construcción. Tiene una morfología de pendiente inclinada a muy inclinada (6° a 15°) y una longitud de pendiente generalmente corta (entre 50m y 250 m). Presenta amplia extensión y continuidad y se encuentran distribuidas en gran parte de la zona de estudio (ver Ilustración 27).

Presentan moderada susceptibilidad a movimientos en masa y moderada a alta susceptibilidad a erosión hídrica en taludes aledaños a las viviendas y en zonas desprovistas de vegetación.

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



Ilustración 27. Geoformas de origen antrópico, Planos y campos de llenos antrópicos (Ar) ubicados en el Barrio Nuevo
Fuente: Geocing SAS.

- **Corte en ladera (Acl)**

Planos inclinados realizados para la adecuación de una cancha de fútbol, sobre laderas de sustrato rocoso de la Formación Caballos; con el fin de adecuar el terreno. Pueden estar hechos de manera manual o con maquinaria pesada.

Tiene una morfología de pendiente inclinada a abrupta (entre 10° y 30°). Estas geoformas presentan una leve extensión y continuidad, poseen un relieve irregular con contornos quebrados o angulares debido a la composición de la roca y la erosión diferencial que la afecta. Presentan longitudes cortas (entre 50m y 250m) (ver Ilustración 28). Presentan alta susceptibilidad a movimientos en masa y moderada a alta susceptibilidad a erosión hídrica en zonas desprovistas de vegetación.

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



Ilustración 28. Fotografía tomada hacia el oriente. Geoformas de origen antrópico, corte en ladera (Acl) exponiendo lutitas en el talud de una cancha de fútbol ubicada en la parte norte del área de estudio.
Fuente: Geocing SAS.

6.2.2 Denudacional

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

- **Ladera ondulada (Dlo):**

Superficie en declive de morfología alomada o colinada, pendiente inclinada a escarpada, y longitud de pendiente corta a moderadamente larga (50m a 500m) y una inclinación entre inclinada a muy inclinada (6° a 15°). El patrón de drenaje es subdendrítico a subparalelo. Estas laderas se pueden formar en suelos residuales y depósitos coluviales (ver Ilustración 29).

Presentan moderada a alta susceptibilidad a movimientos en masa y moderada a alta susceptibilidad a erosión hídrica en zonas desprovistas de vegetación.

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



Ilustración 29. En una ladera con morfología alomada, con pendiente inclinada y de longitud moderada a larga, geoforma de origen Denudacional Ladera ondulada (Dlo).

Fuente: Geocing SAS.

6.2.3 Mixto Denudacional – Agradacional

- **Laderas en movimiento o inestabilidad reciente (MDAmir-1)**

Hace referencia a las geoformas originadas por movimientos superficiales tipo reptación y se puede presentar en pendientes de inclinadas a muy escarpadas (desde 10° a mayores de 45°).

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

En la Ilustración 30 se observa una geoforma tipo MDAmir-1 generada por un movimiento superficial tipo reptación sobre una pendiente de 60m de longitud aproximadamente y con pendiente muy inclinada a abrupta.

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



Ilustración 30. Geoforma de origen Mixto Denudacional – Agradacional, Laderas en movimiento o con inestabilidad reciente (MDAmir-1) generada por un movimiento superficial tipo Reptación
Fuente: Geocing SAS.

- **Laderas en movimiento o inestabilidad reciente (MDAmir-2):**

Hace referencia a las geoformas originadas por movimientos en masa recientes, de origen variado; con pendientes de inclinadas a muy escarpadas (desde 10° a mayores de 45°). El material se desprende en conjunto, deslizándose por pendientes abruptas, hasta que finalmente se emplaza sobre pendientes suaves a ligeramente inclinadas que le otorgan una condición relativa de estabilidad, o se depositan en las corrientes de agua. Para el caso de los deslizamientos, las geoformas son generalmente redondeadas y alargadas como especies de lóbulos o montículos (MDAmir 2).

En la Ilustración 31 Se observa una geoforma tipo MDAmir-2 generada por un deslizamiento tipo rotacional sobre una pendiente de 60 m de longitud aproximadamente y con una pendiente inclinada a abrupta.

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



Ilustración 31. Geoforma de origen Mixto Denudacional – Agradacional, Laderas en movimiento o con inestabilidad reciente (MDAmir-2) generada por un deslizamiento tipo Rotacional
Fuente: Geocing SAS.

6.2.4 Fluvial

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

- **Cauce aluvial (Fca)**

Canal de forma irregular excavado por erosión de las corrientes perennes o estacionales, puede presentarse dentro de los macizos rocosos y/o en sedimentos aluviales. Dependen de factores como la pendiente, resistencia del lecho, carga de sedimentos y caudal entre otros; pueden persistir por grandes distancias (ver Ilustración 32).

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



Ilustración 32. Fotografía tomada hacia el suroccidente Geoforma de origen fluvial de tipo Cauce aluvial (Fca) en la quebrada El Pueblo
Fuente: Geocing SAS.

Presenta moderada a alta susceptibilidad a movimientos en masa y moderada a alta susceptibilidad a erosión hídrica lateral y socavación de fondo. Es susceptible a crecientes en temporada de lluvias con aguaceros de gran intensidad y de larga duración. A continuación, en Tabla 9 se presentan de forma resumida las características principales de las unidades geomorfológicas presentes en el área de estudio y posteriormente el mapa de geomorfología local (ver Ilustración 33). En el Anexo 6. Mapas se encuentra el mapa GE426-NAT-PSIG-GM-007-00.

Tabla 9. Unidades geomorfológicas

Unidad/Origen	Elemento/Geoforma	Símbolo	Descripción	Procesos
Antrópico	Rellenos de escombros y/o escombreras	Are	Resultante de demoliciones, reparación de inmuebles, construcción de obras civiles y actividad minera; es decir, los sobrantes de cualquier acción que se ejerza en las estructuras urbanas.	Alta susceptibilidad erosión hídrica
	Superficie de explanación	Asp	Explanación o terracedos que disminuyen la pendiente del terreno. Tienen una morfología de pendiente inclinada a muy inclinada (6° a 15°) y una longitud larga (50m a 500m).	Moderada susceptibilidad erosión hídrica
	Planos y campos de llenos antrópicos	Ar	Planos hechos artificialmente con material de relleno para acondicionar terrenos anegadizos con una morfología de pendiente inclinada a muy inclinada (6° a 15°) y una longitud de pendiente generalmente corta (50m a 250m).	Moderada a alta susceptibilidad a erosión hídrica en taludes

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

Unidad/Origen	Elemento/Geoforma	Símbolo	Descripción	Procesos
	Corte en ladera	Acl	Tienen una morfología de pendiente inclinada a abrupta (entre 10° y 30°), leve extensión y continuidad, poseen un relieve irregular con contornos quebrados.	aledaños a las viviendas Alta susceptibilidad a movimientos en masa.
Denudacional	Ladera ondulada	Dlo	Superficie de morfología alomada o colinada, con pendientes inclinadas a escarpadas y longitud corta a moderadamente larga (50m a 500m). Tiene una inclinación que varía entre inclinada a muy inclinada (6° a 15°)	Moderada a alta susceptibilidad a movimientos en masa y erosión hídrica
Mixto Denudacional - Agradacional	Laderas en movimiento o con inestabilidad reciente	MDAmir -1	Geoformas originadas por movimientos en masa recientes, superficiales con pendientes de inclinadas a muy escarpadas (desde 10° a aprox. 45°).	Actualmente se presentan inestabilidad
		MDAmir -2	Geoformas originadas por movimientos en masa recientes de origen variado; con pendientes de inclinadas a muy escarpadas (desde 10° a aproximadamente 45°).	Actualmente se presentan inestabilidad
Fluvial	Cauce aluvial	Fca	Canal de forma irregular excavado por erosión de las corrientes perennes o estacionales, puede presentarse dentro de los macizos rocosos y/o sedimentos aluviales.	Moderada a alta susceptibilidad a movimientos en masa y erosión hídrica

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 NÁTAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA

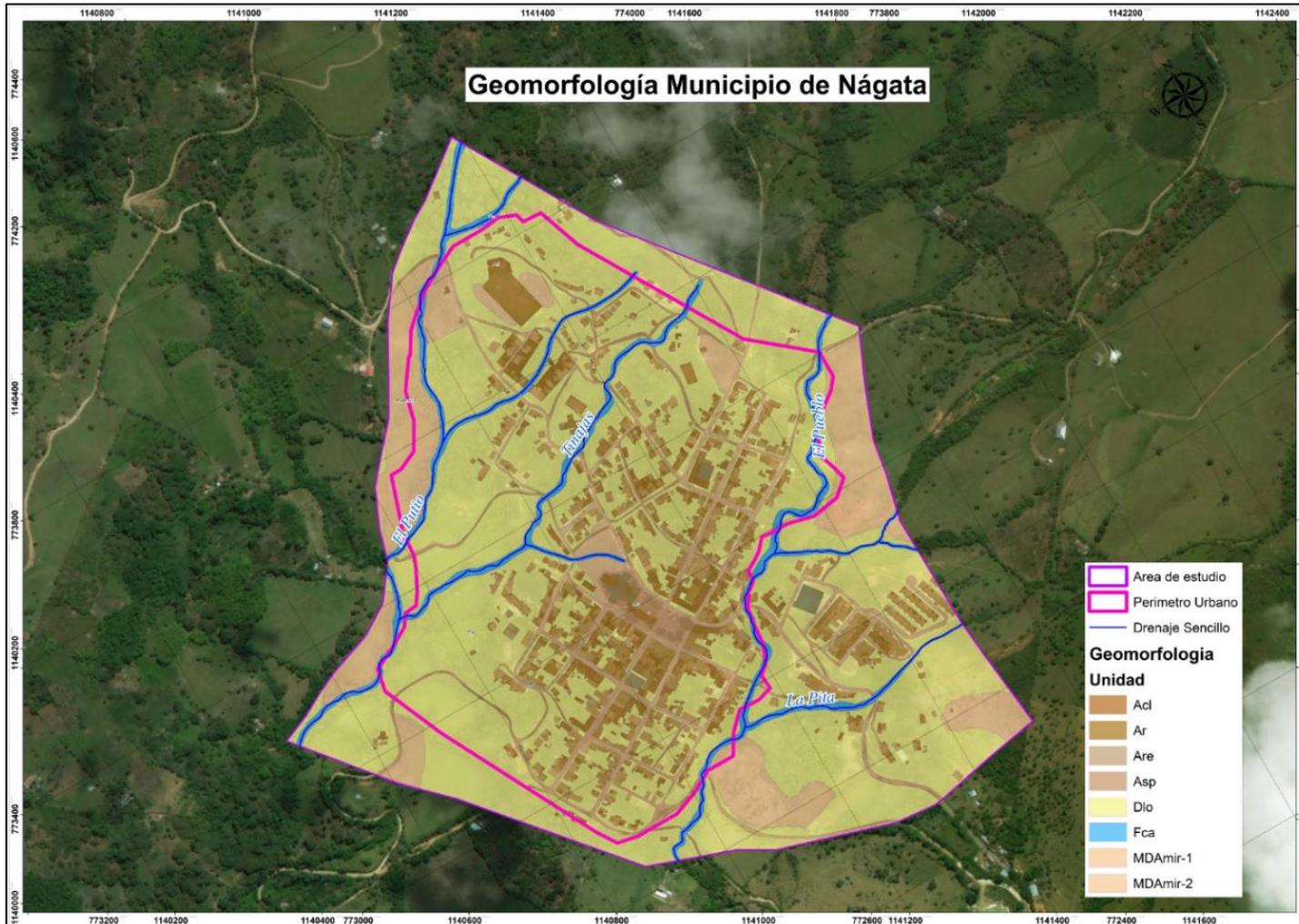


Ilustración 33. Mapa geomorfología local del municipio de Nátaga
Fuente: Geocing SAS.

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

6.3 ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE AEROFOTOGRAFÍAS

A los diferentes vuelos de aerofotografías seleccionadas (ver Tabla 10), 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 10. Relación de Fotografías aéreas e imágenes empleadas en el desarrollo de este capítulo

Año	Sobre	Vuelo	Escala	Fotos	Procedencia
1972	S-26312	C-1422	1:32.000	252-253-254	IGAC
1988	S-34596	C-2336	1:30.900	90-93	IGAC
2004	S-39571	C-2731	1:10.500	123-126	IGAC
2018					GEOCING S A S

Fuente: Geocing SAS.

6.3.1 Año 1972

Para el año de 1972, fecha para la cual se tiene el primer registro fotográfico de la región, el municipio se caracteriza por tener una población distribuida en 9 manzanas urbanas, las cuales se desarrollan utilizando como ejes principales las vías que comunican el poblado hacia el sur y el occidente, este casco urbano se localiza a media ladera, sobre la margen derecha de la quebrada El Pueblo, hasta la margen izquierda de la quebrada El Putio.

Para esta época la iglesia marcaba el límite del costado suroccidental del casco urbano. De esta se desprende una escorrentía hacia el suroccidente.

La zona urbana de Nátaga se encuentra sobre una pendiente levemente inclinada y con buzamiento predominante hacia el occidente, la cual se encuentra disectada por múltiples drenajes con patrón subparalelo que la atraviesan hasta llegar al río Negro de Narváez.

Se observa que se están realizando cortes para lo que se llamará “Barrio Nuevo”. También se observan obras de adecuación de lo que será la cancha de futbol donde al parecer se cortó parte de la ladera, y se rellenó, para conformar la cancha.

Hacia el noroccidente se diferencia una unidad litológica relativamente blanda ya que ya que presenta patrón de drenaje subdendrítico muy denso. Tiene cadenas montañosas cortas y subparalelas entre sí. Hacia este sector se identifica un escarpe de gran tamaño, que se genera a partir de una divisoria y termina en uno de los valles de los drenajes menores (ver Ilustración 34).

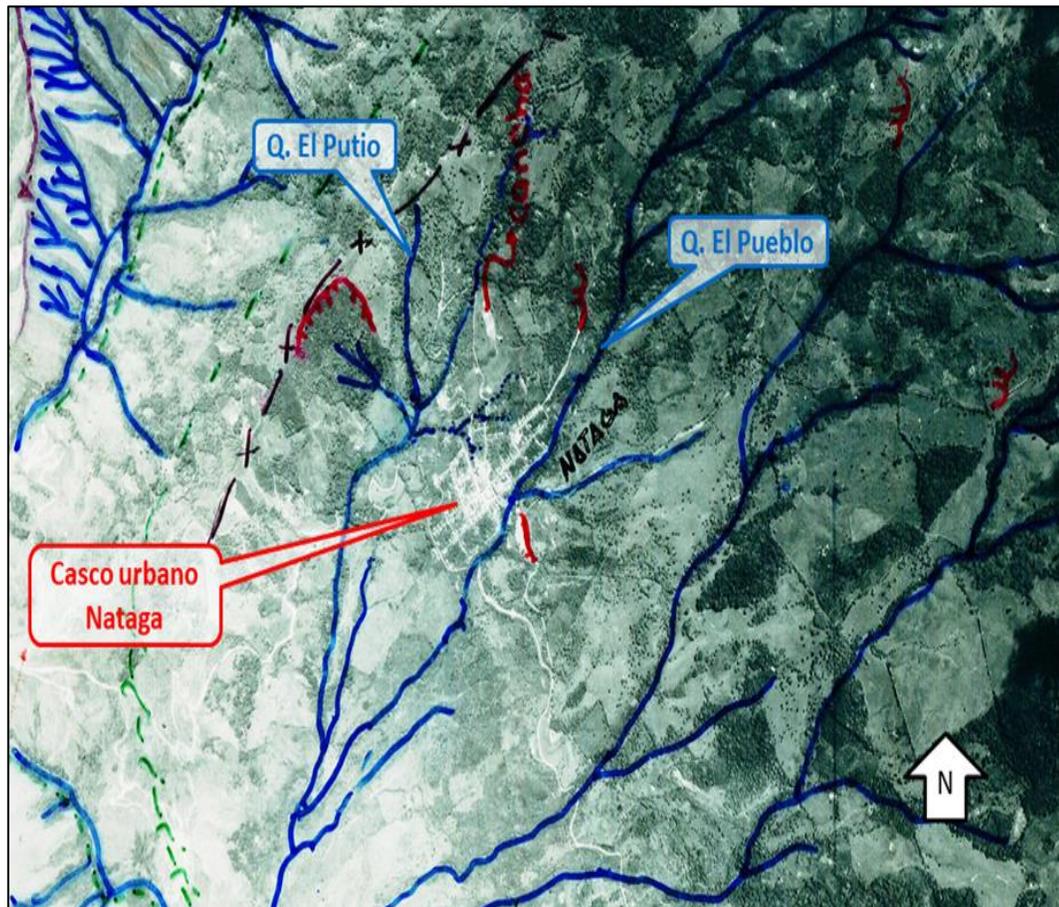


Ilustración 34. Aerofotografía 253, vuelo C-1422

6.3.2 Año 1988

Con base en esta imagen se observa que los cambios más notorios son un crecimiento en unidades de vivienda hacia el costado nororiental y noroccidental del casco urbano (Ilustración 35).

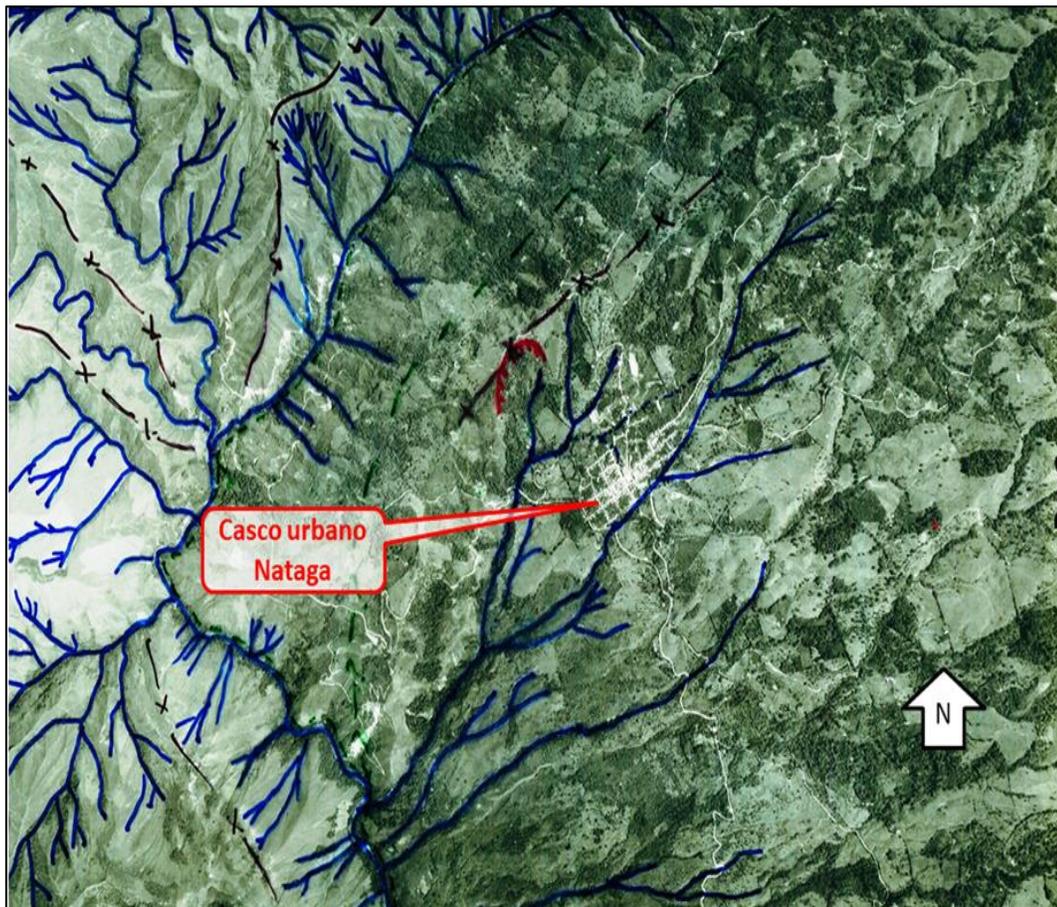


Ilustración 35. Fotografía aérea 91, Vuelo C2336

6.3.3 Año 2004

El último registro fotográfico con el que se cuenta es del año 2004, que tiene una escala 1:10.500 lo que ofrece mayor detalle de la zona de estudio. Además del centro urbano, se observan múltiples caseríos de tamaño poco considerable a lo largo de las principales vías de comunicación del poblado.

En círculos discontinuos de color negro se marcan las zonas en donde hubo mayor desarrollo demográfico, concentrándose principalmente en la parte norte del municipio. Para esta época, ya se encuentra construido el denominado Barrio nuevo, en este sector se identifica acción erosiva tipo laminar y en cárcavas. Ya conformada la cancha de fútbol. En la parte norte de la misma se observa un muro en gaviones construido, y reptación en escarpe.

Hacia el costado suroccidental de la cancha de fútbol, se observa un escarpe en sentido noroccidente – suroriente, que indica inestabilidad en este sector. Se observa una vía perimetral, inferior, a la cancha por el costado sur de la misma. Abajo de esta vía se observa unas vías hasta la vía Nátaga – Rionegro (nombre tomado del programa

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

Google Earth); estas viviendas al día de hoy no están. En contraste con las fotografías de años anteriores, se resalta el aumento de vías de comunicación entre municipios (principalmente hacia norte y el sur) y la mejora de las ya existentes (Ver Ilustración 36). Se observa una alta densidad de sectores deforestados principalmente para el desarrollo de actividades agropecuarias.

Crecimiento de unidades de vivienda al costado occidental del casco urbano, al noroccidente de la iglesia. Al costado norte, donde se realizó la adecuación del terreno para la implantación del tanque de gas, se tiene la presencia de varias viviendas, principalmente en la parte alta y al oriente de este predio.

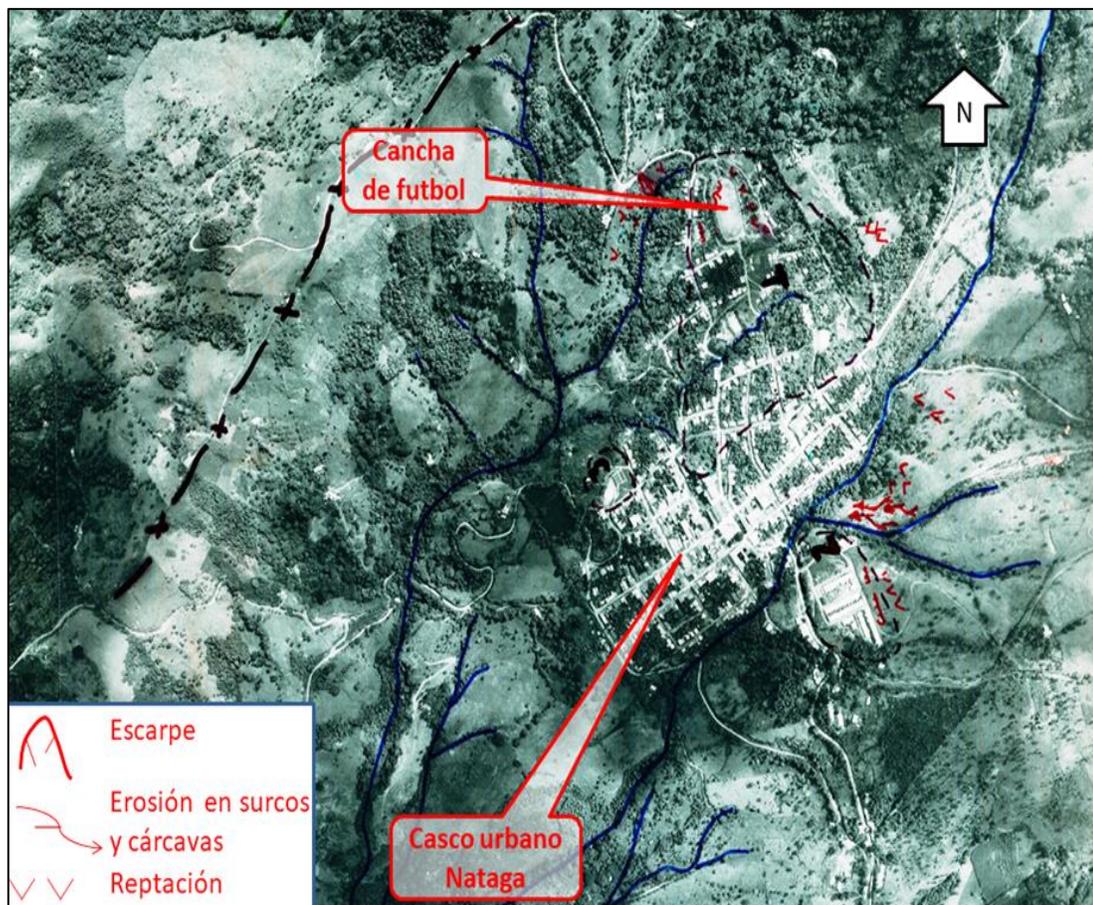


Ilustración 36. Aerofotografía 124, Vuelo C-2731

6.3.4 Año 2018

Erosión en el sector del Barrio Nuevo que no han sido controlado y erosión en laderas, al igual de ellas circundantes al casco urbano.

Unidades de vivienda en el costado oriental del predio del tanque de gas, ya no existen. Vía perimetral, inferior, del costado sur de la cancha de futbol, ya no existe. Viviendas

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

entre la vía perimetral de la cancha de Fútbol y la Vía Nátaga – Rio negro, ya no existe. Crecimiento de unidades de vivienda al costado norte del casco urbano (Ilustración 37).



Ilustración 37. Imagen aérea orto-rectificada del casco urbano de Nátaga. Autor: GEOCING S.A.S

6.3.5 Resumen Multitemporal Años 1972 a 2018

Con base en los 46 años evaluados, observamos un casco urbano, construido a media ladera, entre la margen derecha de la quebrada El Pueblo y la margen izquierda de la quebrada El Putio, en un ambiente de rocas sedimentarias, con buzamiento en dirección similar al de la topografía. En estos años se ha observado un crecimiento del casco urbano hacia el oriente (sector del Barrio Nuevo), y el occidente.

Se observa desde la primera ilustración, adecuación para la construcción de la cancha de fútbol., pero en ilustraciones siguientes, se observa proceso de inestabilidad que han afectado la misma y algunas viviendas aledañas.

6.4 MORFODINÁMICA

De acuerdo con los reconocimientos de campo, las características y, condiciones geológicas y geomorfológicas presentes en el área de estudio, se realizó una

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

identificación, localización y caracterización de los movimientos de inestabilidad tanto antiguos como recientes, cuyo objetivo es obtener los elementos básicos de utilidad de la temática geomorfológica para su aplicación en la ingeniería geotécnica. Para la clasificación y caracterización de inestabilidad se siguió la metodología de Movimientos en Masa de Varnes (1978), (ver Tabla 11).

Tabla 11. Tipos de Movimientos en Masa de Varnes (1978) (Tomado y adaptado de Carvajal, 2005)

TIPO DE MOVIMIENTO			TIPO DE MATERIAL ASOCIADO		
			ROCA	SUELO DE INGENIERÍA	
				Predominante Grueso	Predominante Fino
CAÍDAS			de Roca	de Detritos	de Tierra
VOLCAMIENTOS			Volc. de Roca	de Detritos	de Tierra
DESGLAZAMIENTOS	ROTACIONAL	Pocas Unidades	Hundimiento de roca	Hundimiento de Detritos	Hundimiento de Tierra
			Deslizamiento de bloques de Roca	Deslizamiento de bloques de detritos	Deslizamiento de bloques de tierra
	TRASLACIONAL	Muchas unidades	Deslizamiento de Roca	Deslizamiento de Detritos	Deslizamiento de Tierra
PROPAGACIÓN LATERAL			Roca	Detritos	Tierra
FLUJOS			Flujo de Roca (creep profundo)	de Detritos	de Tierra
				(creep de suelo)	
REPTAMIENTO (Creep) (áreas de gran extensión)			(creep profundo)	(creep de suelo)	
COMPUESTOS O MÚLTIPLES			Combinación de dos o más de los tipos anteriores		

Fuente: Geocing SAS.

Se observaron movimientos en masa dentro del sector en estudio, generalmente donde se realizaron cortes sobre las laderas para asentamientos, donde posteriormente se construyó infraestructura de tipo civil, tales como andenes, casas, vías, entre otros.

Los taludes expuestos por cortes realizados, generalmente no presentan cubrimiento vegetal o este es muy escaso, y sobre los sitios expuestos por movimientos en masa se han generado erosión laminar, surcos y hasta cárcavas. Hacia los extremos de la zona de estudio, principalmente hacia el suroriente y nororiente de la zona se observó

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

reptación de moderada a alta magnitud y extensión; y en la parte central del casco urbano se observaron algunos deslizamientos complejos de moderada magnitud y extensión.

Actualmente, gran cantidad de viviendas sobre ambas vertientes del sector en estudio, sirven sus aguas servidas (aunadas a las pluviales) hacia las laderas adyacentes sin ningún tipo de control. Principalmente sobre suelos residuales de la Formación Caballos.

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

- **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 (Bahamón y Gaitán, 1981).

Los terrenos del área de estudio donde se han realizado explanaciones, conformaciones y/o rellenos conformados por depósitos de escombros, están compuestos generalmente por materiales de cualquier procedencia, por lo que muchas veces se recurre a reciclar otros materiales, dando como resultado depósitos altamente heterogéneos, en matriz arcillo limosa con clastos de composición y tamaños variables. Estos materiales pueden permitir la transmisión de fluidos por canales preferenciales y/o el almacenamiento de los mismos.

En los sectores desprovistos de vegetación, las escorrentías superficiales empiezan poco a poco a degradar el material disgregado del cual se componen los suelos residuales o rellenos en el sector, ocasionando láminas y posteriormente surcos que van debilitando la estructura del suelo, los cuales pueden originar inestabilidades generales sobre el terreno a futuro.

6.4.1 Socavación lateral

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

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

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 escarpes o taludes de los márgenes, 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, 1981).

En la Ilustración 38 se observa un ejemplo de erosión lateral y de fondo en la quebrada El Pueblo, por la salida hacia el sur de Nátaga, que también se presentan en otras quebradas menores y tributarios presentes en el municipio, como son La Pita, Las Tinajas y El Putio.

Las márgenes de estos cauces al estar compuestas por un material no consolidado (suelos residuales de la Formación Caballos) son altamente susceptibles a la erosión hídrica.



**Ilustración 38. Socavación lateral y de fondo en la quebrada El Pueblo, al sur de la zona de estudio
Fuente: Geocing SAS.**

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

6.4.2 Erosión 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).

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

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

En la Ilustración 39 se observó erosión hídrica laminar y en surcos en los taludes realizados para la adecuación del terreno en la zona de expansión del municipio. Estos cortes dejan expuesto el suelo residual, y al tener una pendiente abrupta son altamente susceptibles a este tipo de erosión que con el tiempo puede afectar la estructura del suelo originando posibles inestabilidades del terreno.



Ilustración 39. Fotografía tomada hacia el noroccidente. Erosión laminar y en surcos de leve a moderada magnitud en un talud realizado para la adecuación de terrenos para construcción de viviendas en la zona de expansión de Nátaga.

Fuente: Geocing SAS.



Ilustración 40. Fotografía tomada hacia el oriente. Erosión laminar y en surcos al suroriente de Nátaga

Fuente: Geocing SAS.

6.4.3 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 se desplazan como una sola unidad o en

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

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 y 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 movimientos en masa.

La geología, incluyendo no sólo el tipo de litología, sino también la presencia estructuras tales como fallas, diaclasas, actividad sísmica y la actividad volcánica, puede condicionar o no la ocurrencia de remociones en masa.

Las condiciones meteorológicas pueden 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 la erosión 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 la inestabilidad en suelos que en cierta medida son vulnerables a esta clase de eventos.

Movimientos superficiales (Reptación o Creep)

- Son movimientos lentos, que se dan sobre niveles superficiales del terreno y se encuentran estrechamente relacionados con la variación de humedad en el suelo, ya que el agua favorece este movimiento actuando como una especie de lubricante en las zonas de cambio de material, además de contribuir a un aumento en el peso que debe soportar el perfil del suelo.
- Se manifiestan en formas de pequeñas ondulaciones del terreno, pequeños escarpes y /o inclinaciones de los árboles los cuales ayudan a inferir la dirección del movimiento. Suelen ser signo de una futura inestabilidad generalizada.
- Un factor que contribuye a este tipo de movimiento es la expansión y contracción alternantes del material superficial, causadas por la humectación y sequedad posterior en la zona, debido a la gran cantidad de material fino que posee la matriz en esta zona
- Estos se presentan en profundidades de entre 2 a 3 m aproximadamente, son de modera a alta extensión y magnitud y afectan generalmente suelos residuales de la Formación Caballos, así como algunos rellenos indiferenciados.

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

- Los movimientos superficiales de tipo reptación, aparecen distribuidos aleatoriamente sobre toda el área en estudio, principalmente hacia la parte central, norte y noreste. Se presenta en un sector de laderas inclinadas a muy escarpadas (ver Ilustración 41 e Ilustración 43).



**Ilustración 41. Movimiento superficial tipo reptación hacia el extremo nororiental de la zona de estudio.
Fuente: Geocing SAS.**



**Ilustración 42. Movimiento superficial tipo Reptación al oriente de la zona de estudio.
Fuente: Geocing SAS.**

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



Ilustración 43. Movimiento superficial tipo Reptación en una cancha al norte de Nátaga.
Fuente: Geocing SAS.

Deslizamientos rotacionales

- Como factores contribuyentes importantes se encuentran: la infiltración y el paso superficial de escorrentía por aguas residuales o servidas, la naturaleza heterogénea de los materiales involucrados (contacto suelo – roca), las variaciones en el nivel freáticos, la configuración tectónica regional, entre otros. El vector principal de desplazamiento de este deslizamiento va de suroriente a noroccidente.
- Posiblemente el factor detonante este asociado principalmente a la pendiente y la altura del talud afectado, el cual fue expuesto por cortes realizados en el sector, afectando su geometría y desestabilizando el terreno

Este deslizamiento se presenta en la parte central del área de estudio, en un predio ubicado al norte de la iglesia.

Se observa un hundimiento desde la vía al costado oriental de la iglesia la cual ha sido reparada varias veces, pero el hundimiento es constante. Este hundimiento se presenta en forma de “cuchara” o como una concavidad que se extiende hasta el predio, además de presentar lobulaciones a través de la superficie de este terreno.



Ilustración 44. Hundimientos en la vía al oriente de la iglesia
Fuente: Geocing SAS.



Ilustración 45. Deslizamiento rotacional en un predio contiguo a la iglesia. Nótese los hundimientos en forma de cuchara característicos en este tipo de deslizamientos, además de las irregularidades en la superficie del terreno que pueden indicar que el movimiento es relativamente lento. Con la flecha roja se indica el vector principal de desplazamiento, de suroriente a noroccidente
Fuente: Geocing SAS.

Deslizamiento complejo

- Se identificó una posible combinación de varios tipos de deslizamientos (Movimiento complejo), evidenciado por las grietas y los hundimientos y montículos en

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

el terreno. Este proceso se presenta en la ladera oriental de la cancha de fútbol ubicada al noreste de Nátaga. En la ladera se observan hundimientos, pequeños escarpes no cartografiados e inclinación de la vegetación, por lo que se infiere que están actuando más de un movimiento (superficiales y un poco más profundos) (Ilustración 46).

- Se pueden generar por la presencia de una inestabilidad generalizada de la zona o porque el proceso activo en general es sometido a otro movimiento en masa generalmente por acción antrópica. Cabe destacar que este proceso de mayor extensión, cambia sus propiedades como de cohesión, fricción, etc con respecto al material estable.



Ilustración 46. Fotografía tomada hacia el sureste. Movimiento complejo en la ladera oriental de la cancha de fútbol al noreste de Nátaga.

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

7 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 realizó una breve síntesis teórica, que persigue como único fin clarificar algunos conceptos básicos necesarios para la correcta comprensión del trabajo.

7.1 HIDROGEOLOGÍA REGIONAL

Con base en la Ilustración 47, tomada del Mapa de Unidades Hidroestratigráficas de Colombia, del Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales (IDEAM, 2010), la zona de estudio se localiza en un sector de acuíferos con recursos limitados o sin recursos por porosidad primaria, en rocas ígneas y metamórficas con baja a ninguna productividad.

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

El concepto de unidad 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, unificada y delimitada con base en sus características hidrológicas observables relacionadas con sus intersticios. Indican que los dos términos, tanto "unidad

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

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



Ilustración 47. Mapa de Unidades Hidroestratigráficas de Colombia, IDEAM.

Con base en el Mapa Hidrogeológico de Colombia (SGC, 1989) (ver Ilustración 48), la zona de estudio se localiza en un sector con rocas con porosidad primaria de interés hidrogeológico, en acuíferos locales de extensión variable en rocas calcáreas e ígneas altamente fracturadas. Generalmente contiene aguas de calidad química regular, generalmente duras.



Ilustración 48. Mapa hidrogeológico de Colombia (SGC, 1989). El polígono rojo indica la ubicación de 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 NÁTAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA</p>

7.2 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 arcillas, arcillas plásticas, arcillas limosas, etc). Se asumen como materiales impermeables.
- Acuífugos: 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.

7.2.1 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 primaria con recursos limitados o sin recursos

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

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
Rocas de la Formación Caballos	I1	Rb/Ri/Rd-K1c	Areniscas de grano medio a grueso intercaladas con lodolitas físis negras.	Acuífero multicapa (intercalación de capas permeables e impermeables) de amplia extensión, con recarga directa.
Depósitos aluviales no consolidados	I2	Stfaa	Correlaciona con depósitos aluviales activos y recientes	Su recarga es directa. Son acuíferos libres, de extensión limitada y baja productividad.
Suelos antrópicos, rellenos de escombros	I3	Sade	Mezclas heterogéneas de escombros de construcción y otros	Constituyen Acuíferos locales, con recarga directa, de extensión limitada.
Suelos antrópicos, ingenieriles e indiferenciados	II2	Sari - Sarin	Materiales seleccionados y compactados para el desarrollo de construcciones ingenieriles	Representan Acuíferos locales, con recarga directa, de corta extensión y baja productividad.
Suelo residual de la Formación Caballos	II3	Sr-K1c	Materiales resultantes de la meteorización del macizo rocoso. Suelos arcillo limosos con algunos clastos tamaño arena gruesa y gravas de lodolitas	Rocas compactas que no permiten el almacenamiento ni la transmisión de agua. Conforman Acuíferos

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

8 CONDICIONES SISMOLÓGICAS

De acuerdo con la Norma Colombiana Sismoresistente de Construcción 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.”

Por lo anterior y de acuerdo a la NSR-10, se encuentra localizada en una zona de amenaza sísmica Alta, con un coeficiente de Aceleración pico efectiva A_a de 0.25 g.

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

Tabla 13 Coeficientes de diseño sísmico

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

Fuente: Geocing SAS.

El valor para análisis pseudoestáticos, de acuerdo con la Norma Sismo Resistente de 2010 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 Tabla 14.

Tabla 14 Valores de K_{ST}/a_{max}

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 téreos	0.67	Amplificación de onda unidimensional en dos columnas y promediar
Todos los materiales téreos	0.50	Amplificación de onda bidimensional

Fuente: Norma Sismo Resistente de 2010.

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 0.20 g.

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

9 COBERTURA Y USO DEL SUELO

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 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.

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, así como se identifican los usos que tienen una función de equilibrio en el ecosistema o que deterioran el suelo, 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 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 y uso de suelo se puede encontrar en el Anexo 6. Planos, GE426-NAT-PSIG-CS-005-00.

9.1 METODOLOGÍA

La metodología empleada para la determinación de la cobertura y uso de 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.

9.1.1 *Caracterización de la cobertura vegetal*

Para la realización del mapa de cobertura se desarrolló una metodología que 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 NÁTAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA</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.

9.2 RECOPIACIÓN, REVISIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

9.2.1 *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 Imagen aérea orto-rectificadas, 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.

9.2.2 *Estudio general de mosaico e Imagen aérea orto-rectificada*

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

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

9.2.3 *Análisis de Imagen aérea orto-rectificadas*

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.). 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 15).

Tabla 15. Sistema de coordenadas utilizadas en el mapa de cobertura municipio de Nátaga

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

Sistema de Coordenadas Proyectado	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.

9.2.4 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 Imagen aérea orto-rectificada ajustadas, y comparadas simultáneamente con imágenes satelitales de la zona de estudio; inicialmente se tuvo en cuenta la coloración y forma tamaño y contexto de las imágenes para diferenciar los diferentes tipos de coberturas. Una vez identificado los elementos característicos de las Fotografías aéreas, se procedió a realizar el reconocimiento de los diferentes tipos de cobertura y uso de 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.

9.2.5 Sistema de clasificación y leyenda

Como ya se mencionó anteriormente para la elaboración del mapa de cobertura vegetal y uso actual del suelo del 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.

9.2.6 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.

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

9.2.7 Fase Ejecutoria

Durante esta fase se realizó la fotointerpretación de la Imagen aérea orto-rectificada.

9.2.8 Fase de campo

Teniendo como base el mapa de cobertura del municipio de Nátaga 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 de cobertura vegetal.

9.3 CARACTERIZACIÓN DE COBERTURAS

9.3.1 Análisis de Información

Para la generación del mapa de cobertura, 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 en el 2010. Se encontraron veintidós clases de coberturas las cuales se observan en la 14 Las coberturas del municipio se encuentran en los niveles 3 y 4 de detalle manejados a una escala 1:2.000.

Tabla 16. Leyenda del mapa de cobertura a escala 1:2.000 para el municipio de Nátaga.

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	1.1. Zonas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo	
		1.1.2. Tejido urbano discontinuo	
	1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	1.2.1. Zonas industriales o comerciales	1.2.1.1. Zonas industriales
		1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	1.2.2.1. Red vial
	1.3. Zonas de extracción mineras y escombreras	1.3.1. Zonas de extracción minera	1.3.2.2. Escombreras
		1.4.1. Zonas verdes urbanas	1.4.1.1. Otras zonas verdes urbanas
			1.4.1.2. Parques cementerios
	1.4. Zonas verdes artificializados, no agrícolas	1.4.2. Instalaciones recreativas	1.4.1.5. Parques urbanos
2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS	2.1. Cultivos transitorios	2.1.1. Otros cultivos transitorios	
		2.1.2. Cereales	2.1.2.2. Maíz
	2.2. Cultivos permanentes	2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	2.2.1.3. Plátano y Banano
		2.2.2. Cultivos	2.2.2.2. Café

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

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
	2.3 Pastos	permanentes arbustivos	
		2.3.1. Pastos limpios	
		2.3.2. Pastos arbolados	
	2.3.3. Pastos enmalezados		
3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales	
		3.1.4 Bosque de galería y ripario	
	3.2 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.2.1 Herbazal	3.2.1.2. Herbazal abierto
		3.2.2 Arbustal	3.2.2.2. Arbustal abierto
3.3 Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	3.3.3 Tierras desnudas y degradadas		

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

A continuación, se describen cada una de las coberturas encontradas en el área de estudio siguiendo la metodología de Caracterización de la cobertura vegetal descrita en el numeral 0 del presente informe.

Una vez realizado lo anteriormente descrito se obtuvo la Leyenda de Actualización del mapa de cobertura a escala 1:2.00 (Ver Tabla 17). La actualización de la cobertura dio como resultado 3 coberturas generales, 11 tipos de cobertura con nivel (3) y 11 tipos de coberturas con nivel (4) de detalle; Para un total de 22 coberturas del suelo, para mayor detalle en el Anexo 6. Mapas GE 426 – NAT –PSIG –CS-005-00 el mapa final de cobertura.

Tabla 17. Leyenda de Actualización del mapa de cobertura a escala 1:2.000 del área del municipio de Nátaga

Tabla De Coberturas Del Municipio De Nátaga			
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, ferroviarias y terrenos asociados	Rv
	1.3.2.2.	Escombreras	Es
	1.4.1.1.	Otras Zonas Verdes Urbanas	Oz
	1.4.1.2.	Parques cementerios	Pc
	1.4.1.5.	Parques urbanos	Pur
	1.4.2.	Instalaciones recreativas	Irc
	2.1.1.	Otros Cultivos Transitorios	Oct
2. Territorios Agrícolas	2.1.2.2.	Maíz	Miz
	2.2.1.3.	Plátano y banano	Plat
	2.2.2.	Cultivos permanentes arbustivos	Cpa
	2.2.2.2.	Café	Caf
	2.3.1.	Pastos limpios	PI
	2.3.2.	Bosque abierto	Pa
	2.3.3.	Pastos enmalezados	Pe
	2.4.5.	Mosaico de cultivos con espacios naturales	Mcen
3. Bosque y Áreas Seminaturales	3.1.4.	Bosque de galería y ripario	Bgr
	3.2.1.2.	Herbazal abierto	Hza
	3.2.2.2.	Arbustal abierto	Ara
	3.3.3.	Tierras desnudas y degradadas	Tdd

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

9.3.2 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). En el municipio se pueden encontrar los tipos de territorios artificializados que se describen a continuación:

✓ 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 49.



Ilustración 49. Tejido urbano continuo

Fuente: Geocing SAS. (Imagen aérea municipio de Nátaga)

✓ 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). En la Ilustración 50 se puede observar esta cobertura.

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



Ilustración 50. Tejido urbano discontinuo.

Fuente: Geocing SAS. (Imagen aérea municipio de Nátaga)

✓ Zonas industriales (1.2.1.1)

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

✓ Red vial (1.2.2.1)

Son espacios artificializados con infraestructuras de comunicaciones como carreteras, autopistas y vías férreas; se incluye la infraestructura conexa 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 ci debe ser superior a 50 metros (IDEAM, 2010). En la Ilustración 51 se presenta un ejemplo de este tipo de cobertura para el municipio de Nátaga.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA



Ilustración 51. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados.

Fuente: Geocing SAS. (Imagen aérea municipio de Nátaga)

✓ **Escombreras (1.3.2.2.)**

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



Ilustración 52 Escombreras.

Fuente: Geocing SAS. (Imagen aérea municipio de Nátaga)

✓ **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

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

apreciable. En general, estas zonas verdes son áreas resultantes de planificación urbana.



Ilustración 53 Parque cementerio.

Fuente: Geocing SAS. (Imagen aérea municipio de Nátaga)

✓ 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). En la Ilustración 54 se presenta un ejemplo de este tipo de cobertura para el municipio de Nátaga.



Ilustración 54. Instalaciones recreativas.

Fuente: Geocing SAS. (Imagen aérea municipio de Nátaga)

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

✓ **Territorios agrícolas**

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

✓ Otros cultivos transitorios (2.1.1)

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

1. 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.



Ilustración 55 Cultivo de Maíz.

Fuente: Geocing SAS. (Imagen aérea municipio de Nátaga)

2. 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.

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

El plátano se puede cultivar en casi todos los pisos térmicos (desde el nivel del mar hasta los 2.000 msnm).



Ilustración 56 Cultivo de Plátano.

Fuente: Geocing SAS. (Imagen aérea municipio de Nátaga)

✓ Cultivos permanentes (2.2.2)

Comprende los cultivos dedicados a cultivos cuyo ciclo vegetativo es mayor en un año, produciendo varias cosechas sin necesidad de volverse a plantar, se incluyen en esta categoría los cultivos herbáceos como caña de azúcar, caña panelera, plátano y banano (IDEAM, 2010).

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.



Ilustración 57 Cultivo de café.

Fuente: Geocing SAS. (Imagen aérea municipio de Nátaga)

✓ Pastos limpios (2.3.1)

Esta cobertura comprende las tierras ocupadas por pastos limpios con un porcentaje de cubrimiento mayor a 70%; la realización de prácticas de manejo (limpieza, encalamiento y/o fertilización, etc.) y el nivel tecnológico utilizados impiden la presencia o el desarrollo de otras coberturas contempladas en la Leyenda CORINE Land Cover 2010 (IDEAM, 2010). En la Ilustración 58 se puede observar un ejemplo de esta cobertura.



Ilustración 58. Pastos limpios

Fuente: Geocing SAS. (Imagen aérea municipio de Nátaga)

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

✓ Pastos arbolados (2.3.2)

Cobertura que incluye las tierras cubiertas con pastos, en las cuales se han estructurado potreros con presencia de árboles de altura superior a cinco metros, distribuidos en forma dispersa. La cobertura de árboles debe de ser mayor a 30% y menor a 50% del área total de la unidad de pastos (IDEAM, 2010). En Ilustración 59 se puede observar un ejemplo de esta cobertura.



Ilustración 59. Pastos arbolados

Fuente: Imagen aérea municipio de Nátaga Geocing S A S.

✓ Pastos enmalezados (2.3.3)

Son las coberturas representadas por tierras con pastos y malezas conformando asociaciones de vegetación secundaria, debido principalmente a la realización de escasas prácticas de manejo (IDEAM, 2010). En la Ilustración 60 se puede observar un ejemplo de esta cobertura.

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



Ilustración 60. Pastos enmalezados

Fuente: Geocing SAS. (Imagen aérea municipio de Nátaga)

✓ **Mosaico de cultivos y 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. En esta unidad, los espacios naturales se presentan como pequeños parches o relictos que se distribuyen en forma irregular y heterogénea, a veces entremezclada con las áreas de cultivos, dificultando su diferenciación. 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.



Ilustración 61 Mosaico de cultivos con espacios naturales.
Fuente: Geocing SAS. (Imagen aérea municipio de Nátaga)

✓ **Bosques y áreas seminaturales**

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 territorios artificializados:

✓ **Bosque de galería y ripario**

Se refiere a las coberturas constituidas por vegetación arbórea ubicada en los 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.



Ilustración 62 Bosque ripario.

Fuente: Geocing SAS. (Imagen aérea municipio de Nátaga)

✓ **Herbazal abierto**

Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente herbáceos desarrollados en forma natural en diferentes sustratos, los cuales forman una cobertura abierta (30% a 70% de ocupación). Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original ni sus características funcionales (IGAC, 1999). Una hierba es una planta no lignificada o apenas lignificada, de manera que tiene consistencia blanda en todos sus órganos, tanto subterráneos como epigeos (Font Queur, 1982). (Ver Ilustración 65)

✓ **Arbustal abierto**

Cobertura de cobertura 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. Un arbusto es una planta perenne, con estructura de tallo leñoso, con una altura entre 0,5 y 5 m, fuertemente ramificado en la base y sin una copa definida (FAO, 2001). (Ver Ilustración 66)



Ilustración 63 Herbazal abierto.

Fuente: Geocing SAS. (Imagen aérea municipio de Nátaga)



Ilustración 64 Arbustal.

Fuente: Geocing SAS. (Imagen aérea municipio de Nátaga)

✓ Tierras desnudas y degradadas (3.3.3)

Esta cobertura corresponde a las superficies de terreno desprovistas de vegetación, debido a la afectación generada por los agentes climáticos se desarrolla erosión que llegan hasta la formación de cárcavas (IDEAM, 2010).

Finalmente en el Anexo 6. Mapas GE 426 – NAT –PSIG –CS-005-00 el mapa final de cobertura.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA

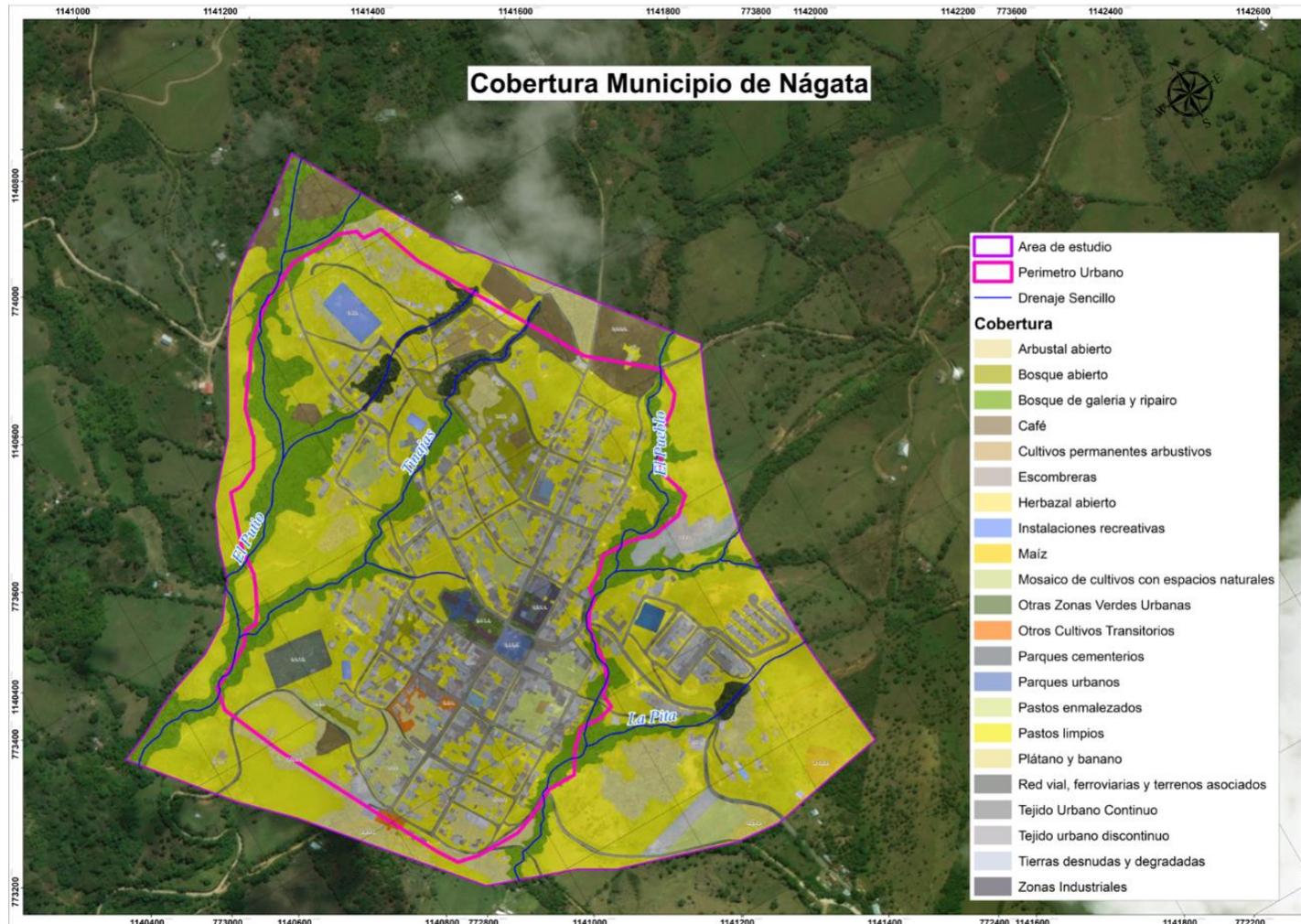


Ilustración 65 Cobertura del municipio de Nátaga.
Fuente: Geocing SAS.

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

10 HIDROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA

El estudio hidrológico de las cuencas y los puntos críticos identificados, requirió la información secundaria disponible en el IGAC e IDEAM con el fin de obtener los datos cartográficos y meteorológicos de la zona. La información cartográfica del IGAC se relaciona en la Tabla 18, donde se establece la única plancha en la cual se presentan los datos correspondientes al municipio.

Tabla 18: Información cartográfica en el municipio de Nátaga

PLANCHA	ESCALA
344IIIB	1:25000

Fuente: Geocing SAS.

Adicionalmente, en los archivos del IDEAM se identificaron las estaciones con información disponible, estableciendo que no se encontraban estaciones limnimétricas ni limnigráficas que permitieran obtener registros de los caudales y niveles de los drenajes ubicados en el municipio, mientras que los registros de precipitación se relacionaron a partir de la información de las estaciones de la Tabla 19, donde se relacionan las estaciones climatológicas aledañas.

Tabla 19: Información hidrometeorológica

CÓDIGO	NOMBRE	CATEGORÍA	MUNICIPIO
21050090	NÁTAGA	PM	NÁTAGA
21050170	YARUMAL	PM	NÁTAGA
21055070	INZA AUTOMÁTICA	CP	INZÁ (CAUCA)
21055020	ESC AGR NÁTAGA	CP	NÁTAGA
21050070	BALCÁZAR	PM	PÁEZ (CAUCA)
21050220	SAN LUIS	PM	PÁEZ (CAUCA)
21080120	HDA BUENAVISTA	PG	ÍQUIRA
21085040	TARPEYA COLOMBIA	CO	ÍQUIRA
21050150	PAEZ PAICOL RADIO	PM	PAICOL
21050290	TESALIA 2	PM	TESALIA
21085020	IQUIRA	CO	ÍQUIRA
21080110	HDA SAN JOSE	PG	TESALIA
21080070	HDA STA ROSA	PM	YAGUARÁ

Fuente: Geocing SAS.

10.1 CLIMATOLOGÍA

El presente capítulo está referido al estudio climatológico para el Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa, Inundación en el Área Urbana 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

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

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

Se buscó describir el comportamiento de las principales variables que describen el clima, tales como: precipitación total anual (mm); temperatura media anual (°C); evaporación total multianual (mm), humedad relativa media anual (%); brillo solar medio anual (horas); punto de rocío media (°C). Algunos valores medios de las variables se reportan con base en los registros de las estaciones más cercanas al casco urbano, aunque también se muestra su variación espacial cuando el nivel de información lo permitió. La Tabla 20 relaciona las estaciones más cercanas.

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)
Nátaga	1480	20.6 km	Terpeya Colombia	1650	Íquira	2°39'46.1"	75°39'56"

Fuente: Geocing SAS.

10.1.1 *Precipitación*

La precipitación anual total varía entre 1425 mm y 1650 mm, como se logra identificar en la Ilustración 66, Nátaga contiene una precipitación de (1620 mm), como se muestra en I presenta con mayor detalle la distribución espacial de la precipitación anual total.

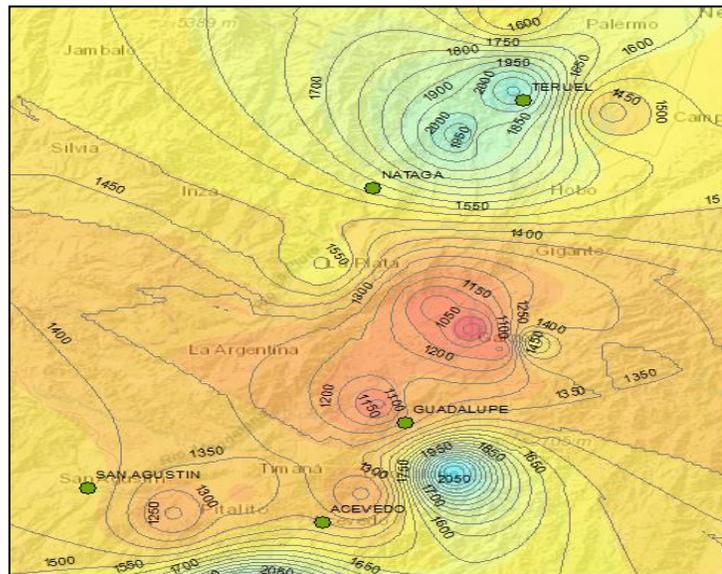


Ilustración 66 Distribución espacial de la Precipitación Anual Total.
Fuente: Geocing SAS.

En la Tabla 36 se muestra la variación temporal de la lluvia a nivel mensual, cuyo comportamiento se muestra en la Ilustración 67. Como se observa, la distribución temporal de la precipitación a lo largo del año es de tipo bimodal; es decir, se presenta al inicio y a mediados del año períodos secos y en medio de ellos se presentan períodos húmedos.

Tabla 21: Valores de Precipitación Mensual.

Precipitación media mensual (mm)							
Municipio	Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Nátaga	Terpeya Colombia	216.9	204.6	269.2	222.6	182	90.3
Municipio	Estaciones	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Nátaga	Terpeya Colombia	70.2	46.5	89.9	171.7	261.9	230

Fuente: Geocing SAS.

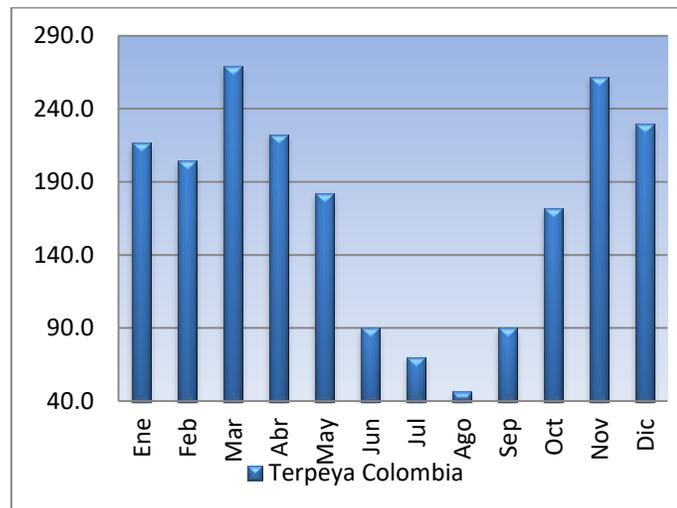


Ilustración 67 Distribución media mensual de precipitación (mm).

Fuente: Geocing SAS.

Como se observa en la Ilustración 67 el municipio Nátaga que se encuentra al norte de la zona de estudio representadas por la estación y Tarpeya Colombia, se caracteriza por tener un comportamiento bimodal con dos periodos de lluvias más intensos, el primero entre los meses de marzo y abril, el segundo periodo de lluvias se presenta entre los meses de octubre a diciembre. Los periodos secos se presentan principalmente entre junio y septiembre, y el segundo periodo menos intenso en enero y febrero. En este municipio los picos de precipitación son muy altos así mismo los periodos secos presentan muy poca precipitación en el mes teniendo una gran diferencia entre los periodos de lluvia y los periodos secos.

10.1.2 *Temperatura.*

La altitud del municipio condiciona el valor y la diferencia de la temperatura; Nátaga que se encuentra a una altura 1150 msnm, presenta una temperatura de 21.8 °C. La distribución espacial de la temperatura media anual se observa en la Ilustración 68, mediante isotermas que se establecieron con base en la información de las estaciones con información climatológica en la zona de estudio. Se observa, que el municipio que presenta (21.8 °C).

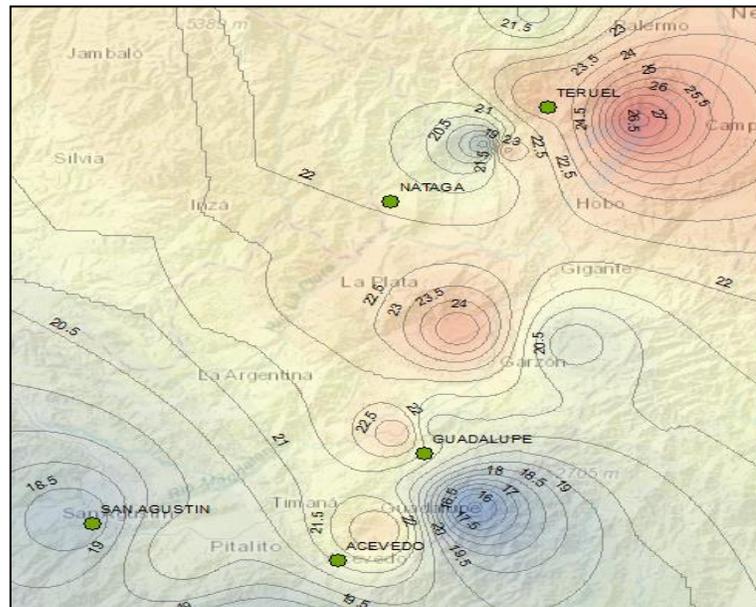


Ilustración 68 Distribución espacial Temperatura media mensual (Isotherma).
Fuente: Geocing SAS.

La variación temporal de la temperatura a lo largo del año se presenta en la Tabla 22 ; su comportamiento se puede examinar en la Ilustración 69. Se observa que la temperatura media no tiene una correlación directa con los cambios de precipitación.

Tabla 22: Valores Medios de Temperatura Mensual.

		Temperatura (°C)					
Municipio	Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Nátaga	Terpeya Colombia	18.7	18.9	18.7	18.9	18.9	18.8
Municipio	Estaciones	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Nátaga	Terpeya Colombia	18.6	19	19.4	19	18.5	18.4

Fuente: Geocing SAS.

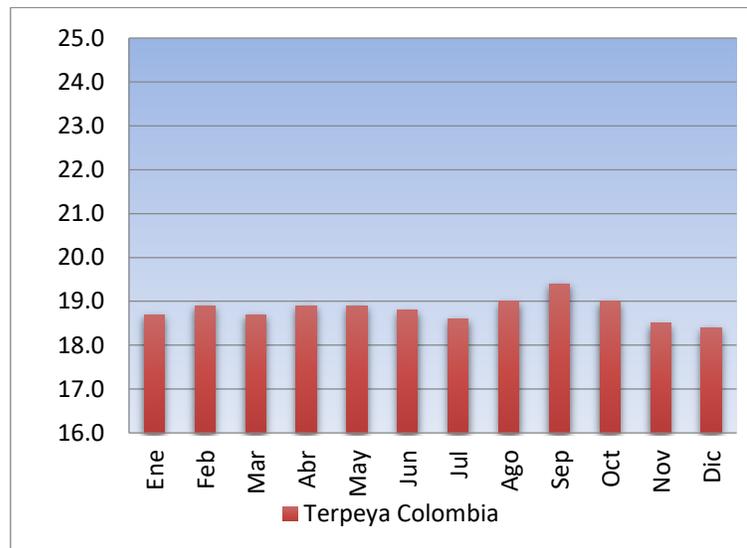


Ilustración 69 Distribución Temperatura media mensual.
Fuente: Geocing SAS.

10.1.3 *Evaporación.*

La Evaporación Total anual en los municipios bajo estudio varía entre 1210 mm. La Ilustración 70 muestra la variación espacial de la evaporación, la cual presenta una correlación muy directa con el comportamiento de la temperatura, mientras mayor sea la temperatura media, mayor es la evaporación. De esta manera se observa, hacia el sur en la cuenca alta del río suaza se presenta la menor evaporación de la zona mientras que hacia el norte en inmediaciones a la represa de Betania se encuentra la mayor evaporación.

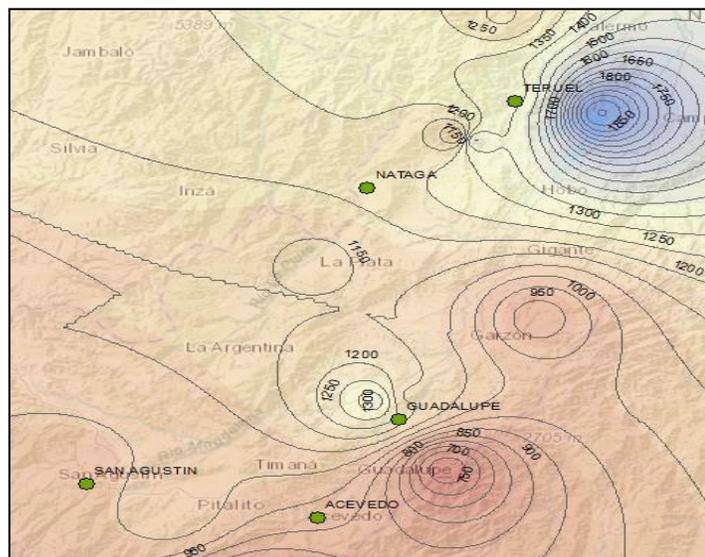


Ilustración 70 Distribución espacial de la Evaporación Anual Total en mm.
Fuente: Geocing SAS.

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

En la Tabla 23 se presenta la variación temporal a lo largo del año mediante los valores medios mensuales y la Ilustración 71 muestra su comportamiento.

Tabla 23: Valores Totales de Evaporación Mensual.

		Evaporación (mms)					
Municipio	Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Nátaga	Terpeya Colombia	84.5	86.5	94.8	82.5	89.1	91.7
Municipio	Estaciones	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Nátaga	Terpeya Colombia	98.8	109.9	111.3	96.4	74.4	79.1

Fuente: Geocing SAS.

La distribución temporal de la evaporación mensual está inversamente relacionada con la distribución de precipitación, y directamente relaciona con la temperatura promedio mensual; ya que cuando comienza a aumentar la precipitación, la evaporación descende y en caso contrario, la evaporación aumenta. La distribución temporal de la evaporación a lo largo del año se caracteriza por ser bimodal con un comportamiento inverso de la distribución de la precipitación.

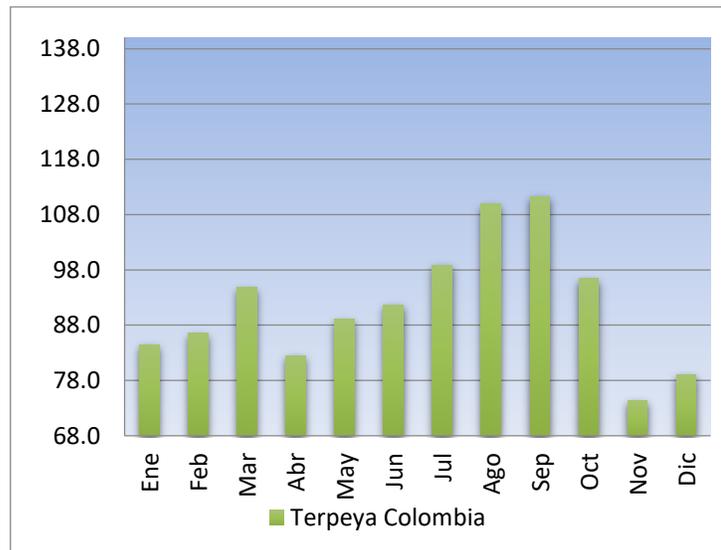


Ilustración 71 Distribución evaporación media mensual.

Fuente: Geocing SAS.

10.1.4 *Humedad Relativa.*

Es la relación entre cantidad de vapor de agua contenida en el aire y la máxima cantidad que el aire sería capaz de contener a temperatura ambiente. La Humedad relativa media anual del municipio en la zona de estudio varía entre 77.2% y 81%. En la Ilustración 72 muestra la variación espacial de la humedad relativa media anual. Hacia el norte se presenta la menor humedad relativa mientras que en general al sur son mayores los registros de humedad.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA

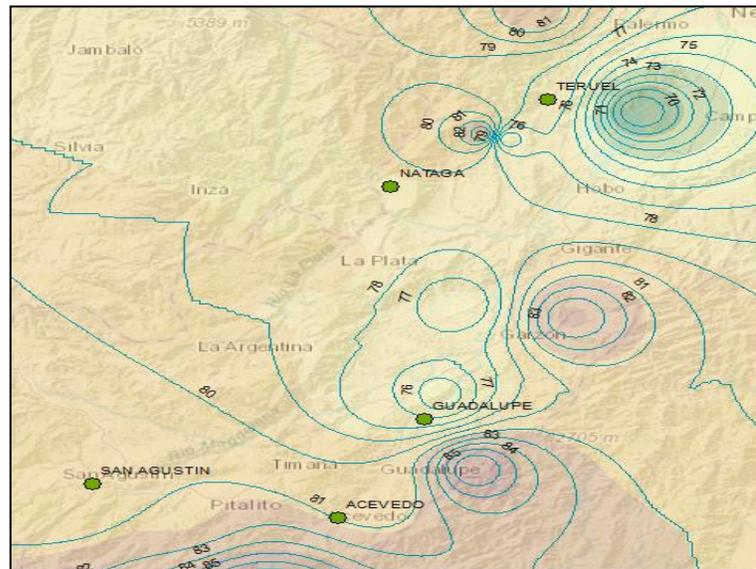


Ilustración 72 Distribución espacial de la Humedad Relativa (%) Anual.

Fuente: Geocing SAS.

En la Tabla 24 presenta la variación temporal de la humedad relativa a lo largo del año y la Ilustración 73 muestra su comportamiento. De lo anterior, se observa que los registros de humedad relativa tienden a ser directamente proporcionales a la distribución de la precipitación, y tienen una relación inversa con la temperatura; a mayor temperatura menor humedad relativa y a menor temperatura mayor humedad relativa.

Tabla 24: Valores Medios mensuales de Humedad Relativa.

		Humedad Relativa (%)					
Municipio	Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Nátaga	Terpeya Colombia	87	86	87	86	85	81
Municipio	Estaciones	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Nátaga	Terpeya Colombia	79	74	75	82	88	88

Fuente: Geocing SAS.

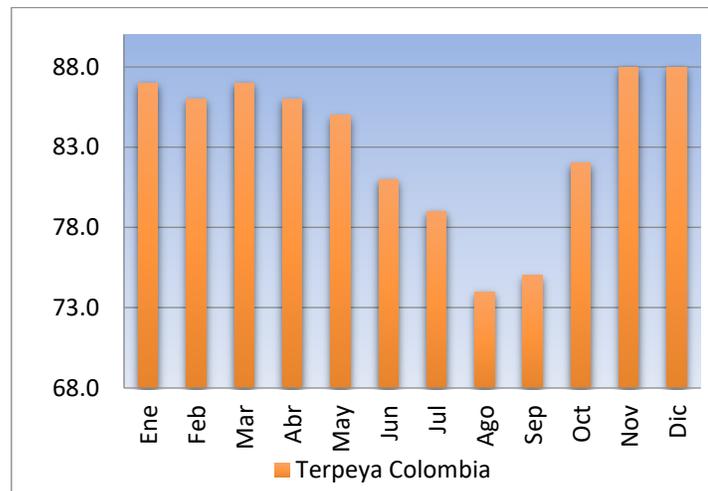


Ilustración 73 Distribución Humedad relativa.
Fuente: Geocing SAS.

Al norte de la zona de estudio representada por la estación Tarpeya Colombia; se caracteriza por tener un comportamiento bimodal con dos periodos de humedad relativa intensos, el primero entre los meses de marzo y abril, el segundo periodo de humedad alto se presenta entre los meses de noviembre a diciembre. Por otra parte, se presenta principalmente en agosto y septiembre un porcentaje de humedad relativa bajo.

10.1.5 *Brillo solar.*

El brillo solar indica las horas de sol efectivo en el día, en el municipio 1490 Horas BS, En la Ilustración 74 se muestra la distribución espacial del brillo solar en el área de estudio. En el sur oriente en la zona montañosa los registros de brillo solar son menores que hacia el resto del territorio especialmente en la zona baja por donde transita el rio suaza y en inmediaciones de la represa de Betania.

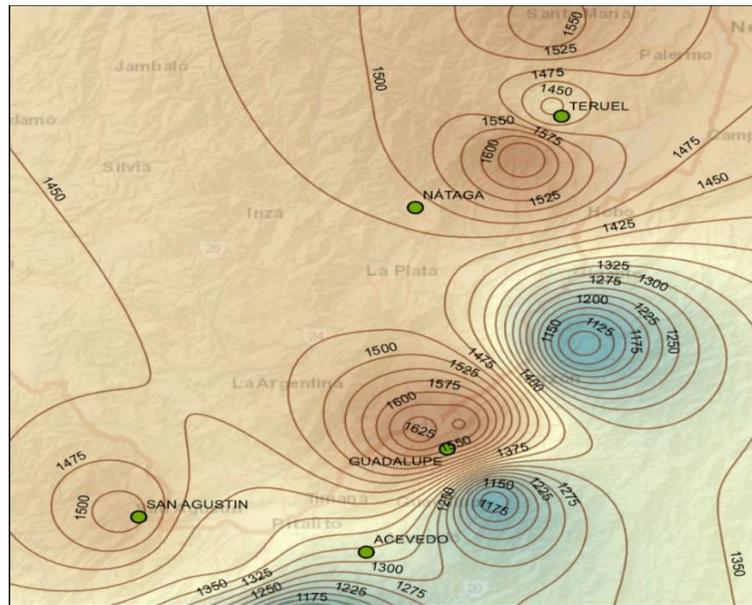


Ilustración 74 Distribución espacial de la Brillo solar Anual.

Fuente: Geocing SAS.

10.1.6 *Punto de Rocío.*

Se define como la temperatura a partir de la cual empieza a condensarse el vapor de agua contenido en el aire produciendo rocío, neblina, o en el caso de que la temperatura sea inferior a 0°C, escarcha. En el municipio del área de estudio el punto de rocío 17.8 °C.

10.2 IDENTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LAS CUENCAS DE DRENAJE.

Con base en la información cartográfica recopilada, se identificaron y delimitaron las cuencas de drenaje en cada una de las corrientes y en cada punto crítico objeto de estudio.

Para las ocho cuencas delimitadas se midieron los siguientes parámetros morfométricos con el propósito de estimar el tiempo de concentración de la cuenca en cada uno de los puntos críticos:

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

La Ilustración 75 presenta las cuencas delimitadas en cada uno de los puntos críticos estudiados y en la Tabla 25 se reportan los valores de los parámetros medidos con el propósito de estimar el tiempo de concentración de la cuenca.

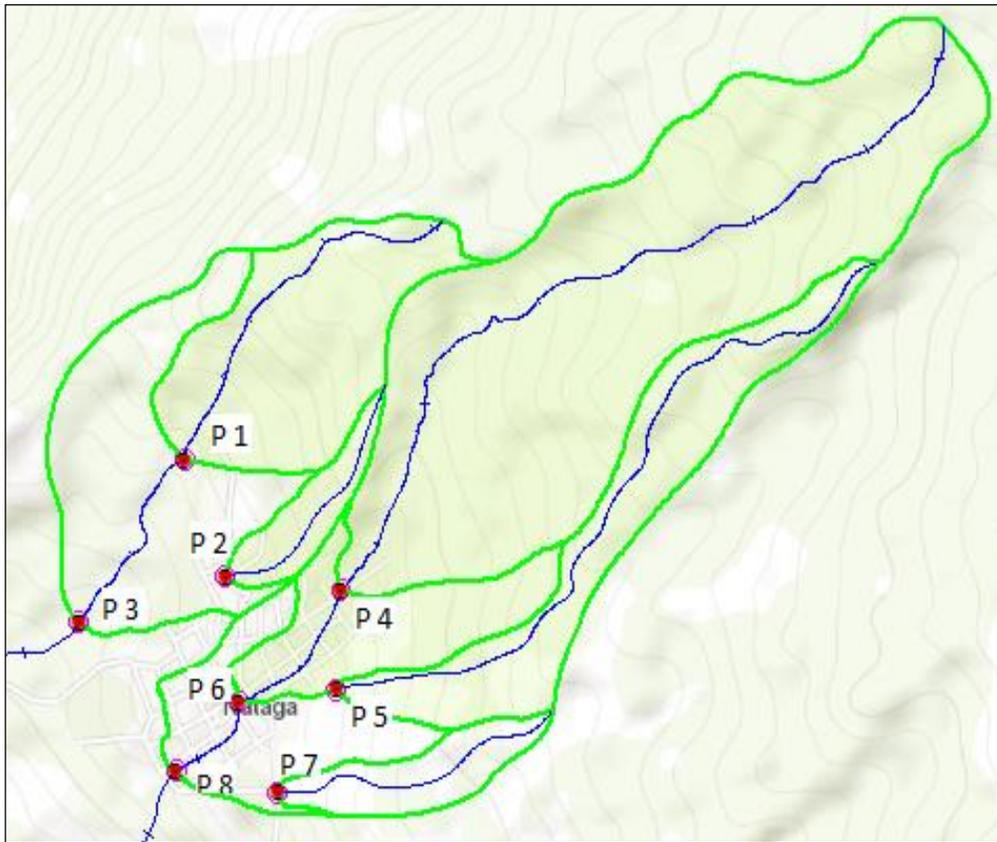


Ilustración 75 Cuencas de los puntos críticos identificados en el municipio de Nátaga.
Fuente: Geocing SAS.

Tabla 25: Parámetros morfométricos obtenidos en las cuencas de los puntos críticos

Punto Crítico	Corriente	Área (km ²)	L (m)	S (m/m)
1	Q. el Putio	0.43	1192.2	0.1678
2	Q. Tinajas	0.09	807.1	0.192
3	Q. el Putio	0.98	1809.6	0.1243
4	Q. del Pueblo	1.4	2766.6	0.1247
5	Sin nombre	0.38	2315.4	0.1188
6	Q. del Pueblo	1.63	3244.5	0.1233
7	Q. La Pita ⁴	0.12	954.2	0.1551
8	Q. del Pueblo	2.37	3556.6	0.1237

Fuente: Geocing SAS.

⁴ Se hace la aclaración de que la quebrada que se localiza en el punto crítico 7 según el EOT del municipio (año 1999) y en la información IGAC 1:25.000 no presenta nombre. Sin embargo, localmente se conoce por la comunidad como quebrada La Pita por lo que se adoptó ese nombre para denominarla en el presente estudio y en la cartografía.

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

10.3 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.
C coeficiente de escorrentía.
L longitud del cauce principal en m.
S pendiente media del cauce principal en m/m.

Criterio de Kerby:

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

Dónde:

- T_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.

Según lo anterior, la siguiente Tabla 26 presenta el valor de los coeficientes utilizados y el resultado obtenido para cada uno de los criterios expresados atrás; en la última columna se presenta el valor del tiempo de concentración adoptado, el cual corresponde al promedio de los valores que resultaron similares.

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

Tabla 26: Estimación de los tiempos de concentración de las cuencas de los puntos críticos

Punto Crítico	C	m	a	Kirpich	Kerby	US FAA	SCS	Tc (h)
1	0.35	0.45	1.6	0.15	0.69	0.55	0.51	0.58
2	0.35	0.45	1.6	0.11	0.55	0.44	0.32	0.44
3	0.35	0.6	1.2	0.23	1.02	0.75	1.19	0.99
4	0.35	0.6	1.2	0.32	1.24	0.93	1.81	1.33
5	0.35	0.6	1.2	0.29	1.16	0.87	1.56	1.19
6	0.35	0.45	1.6	0.37	1.18	1.01	1.6	1.26
7	0.35	0.45	1.6	0.13	0.63	0.51	0.42	0.52
8	0.35	0.6	1.2	0.39	1.4	1.06	2.34	1.6

Fuente: Geocing SAS.

10.4 ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS Y CURVA PDF E IDF.

El comportamiento de la precipitación máxima en 24 horas se estudió en cada una de las estaciones recopiladas, realizando un análisis de frecuencia de las series anuales que permita establecer la función de distribución de probabilidades que presente el mejor 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.

Según los valores estimativos de precipitación máxima en 24 horas para diferentes períodos de retorno, se construyeron las curvas de Precipitación – Duración – Frecuencia (PDF) y las de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) en cada estación. Para el resultado 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

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.

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

establecido la relación entre duración – lluvia obtenida en Estados Unidos y otros países, la cual puede ser aplicada en otras regiones del mundo en donde las características geográficas y climáticas son muy variadas.

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, las cuales se presentan a continuación en la Tabla 27.

Tabla 27 Duraciones de lluvia periodos de retorno

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.

Por otra parte, D.M. Hershfield y W.T. Wilson establecieron las siguientes relaciones entre la lluvia de 1 hora y la de 24 horas para una amplia variedad de climas del mundo, y tomadas como guía para este análisis, ver Tabla 28.

Tabla 28 Relaciones entre lluvia y tiempo

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 anteriormente mencionadas, se construyeron las curvas PDF e IDF para cada una de las estaciones.

10.4.1 *Análisis de Precipitación Máxima y Curvas PDF e IDF*

A continuación, se presentan los análisis de frecuencia realizados con los registros de precipitación registrados y la determinación de las curvas de Precipitación – Duración – Frecuencia (PDF) e intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) obtenidas para las estaciones seleccionadas como representativas en las cuencas estudiadas.

10.4.2 *Análisis de Precipitación Máxima en 24 horas*

La Ilustración 62 representa la localización de las estaciones aledañas a las cuencas de estudio, y la distribución de los polígonos de Thiessen para cada una, identificando que la estación Nátaga es la única que presenta influencia respecto a las cuencas establecidas (Ver Tabla 19).

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

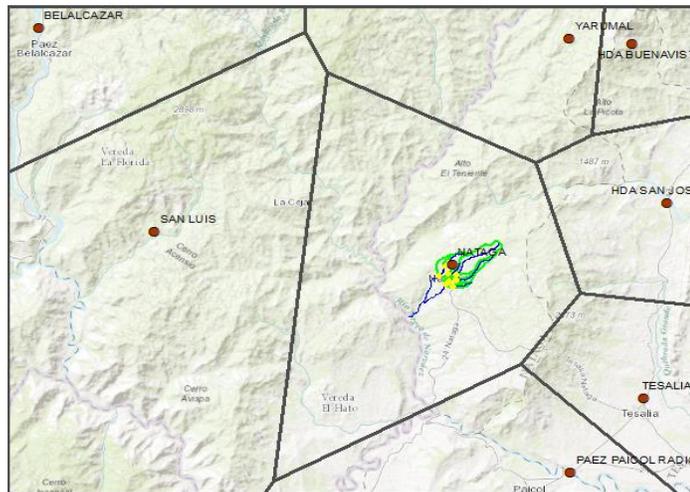


Ilustración 76 Localización de la estación Nátaga. Polígonos de Thiessen.
Fuente: Geocing SAS.

Con base en los registros recopilados de la estación de Nátaga, se estableció la serie anual de precipitación máxima en 24 horas desde 1972 hasta el 2017, la cual se presenta en Tabla 29.

Tabla 29: Serie Anual de Precipitación Máxima en 24 horas. Estación Nátaga.

Año	Pmax24h(mm)	Año	Pmax24h(mm)	Año	Pmax24h(mm)
1974	111	1990	135	2005	70.1
1975	70	1991	87	2006	61.4
1976	99	1992	100	2007	70.2
1977	80	1993	62	2008	66.3
1978	66	1994	130	2009	75.1
1979	99	1995	76	2010	132
1980	65	1996	100	2011	75
1981	47	1997	72	2012	117
1982	84	1998	77	2013	70
1983	69	1999	92	2014	88
1984	55	2000	88	2015	90
1985	40	2001	65	2016	72
1986	45	2002	109.6	2017	98
1987	130				

Fuente: Geocing SAS.

La anterior serie se ajustó a las funciones de distribución de probabilidad Gumbel Tipo I, Log Normal y Normal; obteniendo los resultados de la Tabla 30.

Tabla 30: Ajuste a funciones de distribución de probabilidades. Estación Nátaga.

año	P max(mm)	Orden	Gumbel		Normal		Log Normal		
			yi	P(x≤xi)	Z	P(x≤xi)	Log(Q)	Z	P(x≤xi)
1985	40	1	1.3481	0.0057	1.8965	0.0289	1.6021	-2.5223	0.0058
1986	45	2	1.1496	0.0179	-1.6799	0.0465	1.6532	-2.0991	0.0179



año	P max(mm)	Orden	Gumbel		Normal		Log Normal		
			yi	P(x≤xi)	Z	P(x≤xi)	Log(Q)	Z	P(x≤xi)
1981	47	3	1.0122	0.0263	-1.5933	0.0556	1.6721	-1.9429	0.026
1984	55	4	-0.9017	0.0872	-1.2467	0.1063	1.7404	-1.3782	0.0841
2006	61.4	5	-0.8068	0.1701	-0.9695	0.1662	1.7882	-0.9827	0.1629
1993	62	6	-0.7219	0.1792	-0.9435	0.1727	1.7924	-0.9478	0.1716
1980	65	7	-0.6441	0.2277	-0.8135	0.208	1.8129	-0.778	0.2183
2001	65	8	-0.5714	0.2277	-0.8135	0.208	1.8129	-0.778	0.2183
1978	66	9	-0.5025	0.2447	-0.7702	0.2206	1.8195	-0.7232	0.2348
2008	66.3	10	-0.4367	0.2499	-0.7572	0.2245	1.8215	-0.7069	0.2398
2003	68.5	11	-0.3731	0.2887	-0.6619	0.254	1.8357	-0.5896	0.2777
1983	69	12	-0.3113	0.2977	-0.6403	0.261	1.8388	-0.5635	0.2865
1975	70	13	-0.2509	0.3158	-0.5969	0.2753	1.8451	-0.5118	0.3044
2013	70	14	-0.1915	0.3158	-0.5969	0.2753	1.8451	-0.5118	0.3044
2005	70.1	15	-0.1329	0.3177	-0.5926	0.2767	1.8457	-0.5067	0.3062
2007	70.2	16	-0.0747	0.3195	-0.5883	0.2782	1.8463	-0.5016	0.308
1997	72	17	-0.0168	0.3524	-0.5103	0.3049	1.8573	-0.4106	0.3407
2016	72	18	0.0411	0.3524	-0.5103	0.3049	1.8573	-0.4106	0.3407
1972	75	19	0.099	0.4075	-0.3803	0.3518	1.8751	-0.2639	0.3959
2011	75	20	0.1573	0.4075	-0.3803	0.3518	1.8751	-0.2639	0.3959
2009	75.1	21	0.2161	0.4093	-0.376	0.3535	1.8756	-0.2592	0.3978
1995	76	22	0.2756	0.4258	-0.337	0.368	1.8808	-0.2164	0.4144
1998	77	23	0.336	0.4438	-0.2937	0.3845	1.8865	-0.1694	0.4327
1973	80	24	0.3974	0.497	0.1638	0.435	1.9031	-0.0321	0.4872
1977	80	25	0.46	0.497	0.1638	0.435	1.9031	-0.0321	0.4872
1988	80	26	0.5242	0.497	0.1638	0.435	1.9031	-0.0321	0.4872
1982	84	27	0.59	0.5641	0.0095	0.5038	1.9243	0.1432	0.5569
1991	87	28	0.6579	0.6109	0.1395	0.5555	1.9395	0.2693	0.6061
2000	88	29	0.728	0.6258	0.1828	0.5725	1.9445	0.3103	0.6218
2014	88	30	0.8008	0.6258	0.1828	0.5725	1.9445	0.3103	0.6218
2015	90	31	0.8767	0.6543	0.2694	0.6062	1.9542	0.3911	0.6521
1999	92	32	0.956	0.6813	0.3561	0.6391	1.9638	0.47	0.6808
2004	96.7	33	1.0395	0.7382	0.5596	0.7121	1.9854	0.649	0.7418
2017	98	34	1.1277	0.7525	0.616	0.731	1.9912	0.697	0.7571
1979	99	36	1.3219	0.763	0.6593	0.7451	1.9956	0.7335	0.7684
1992	100	37	1.4303	0.7731	0.7026	0.7588	2	0.7696	0.7792
1996	100	38	1.5485	0.7731	0.7026	0.7588	2	0.7696	0.7792
2002	109.6	39	1.6789	0.8528	1.1184	0.8683	2.0398	1.0989	0.8641
1974	111	40	1.8247	0.862	1.1791	0.8808	2.0453	1.1445	0.8738
1989	115	41	1.9909	0.8855	1.3524	0.9119	2.0607	1.2717	0.8983
2012	117	42	2.185	0.8958	1.439	0.9249	2.0682	1.3336	0.9088
1987	130	43	2.4197	0.9442	2.0021	0.9774	2.1139	1.7122	0.9566
1994	130	44	2.7187	0.9442	2.0021	0.9774	2.1139	1.7122	0.9566
2010	132	45	3.1353	0.9493	2.0888	0.9816	2.1206	1.767	0.9614
1990	135	46	3.8394	0.9562	2.2187	0.9867	2.1303	1.8478	0.9677

Fuente: Geocing SAS.

De acuerdo con el criterio de Kolmogorov – Smirnov, se obtiene que para la estación Nátaga, la función que mejor ajusta la serie anual de precipitación máxima en 24 horas es la Log Normal. Según la distribución Log Normal se estimaron las precipitaciones máximas en 24 horas asociadas a los periodos de retorno de 2.33, 5, 10, 15, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años de la Tabla 31.

Tabla 31: Precipitación Máxima en 24 horas estimada en la Estación Nátaga.

Tr	P _{max24h} (mm)	Tr	P _{max24h} (mm)
----	--------------------------	----	--------------------------

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

2.33	84.8	50	143
5	102	100	154.2
10	115.3	200	165.3
15	122.6	500	179.8
25	131.4	1000	190.8

Fuente: Geocing SAS.

10.4.3 Curvas PDF e IDF de las estaciones representativas

Según la metodología expuesta anteriormente y los registros de precipitación para la estación Nátaga se establecieron las curvas de Precipitación- Duración- Frecuencia (PDF) e Intensidad- Duración- Frecuencia (IDF) para los periodos de retorno de 2.33, 5, 10, 15, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años que se presentan en la Tabla 32.

Tabla 32: Curvas de Precipitación – Duración – Frecuencia (PDF) de la Estación Nátaga.

Tr (años)	Duración (min)							
	5	10	15	30	45	60	120	1440
2.33	10.7	19.7	25	34	39.3	43.1	52.1	84.4
5	12.9	23.7	30.1	40.9	47.3	51.8	62.6	102
10	14.6	26.8	34	46.3	53.4	58.5	70.8	115
15	15.5	28.5	36.2	49.2	56.8	62.2	75.2	122
25	16.6	30.6	38.8	52.7	60.9	66.7	80.7	131
50	18.1	33.3	42.2	57.4	66.3	72.6	87.8	142
100	19.5	35.9	45.5	61.9	71.5	78.3	94.7	153
200	20.9	38.5	48.8	66.3	76.6	83.9	102	165
500	22.7	41.9	53	72.2	83.3	91.3	110	179
1000	24.1	44.4	56.3	76.5	88.4	96.8	117	190

Nota: Precipitación en mm.

Tabla 33: Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) de la Estación Nátaga.

Tr (años)	Duración (min)							
	5	10	15	30	45	60	120	1440
2.33	129	119	100	68.1	52.4	43.1	26	3.5
5	155	143	120	81.9	63	51.8	31.3	4.2
10	175	161	136	92.5	71.3	58.5	35.4	4.8
15	186	171	145	98.4	75.7	62.2	37.6	5.1
25	199	184	155	105	81.2	66.7	40.3	5.4
50	217	200	169	115	88.3	72.6	43.9	5.9
100	234	215	182	124	95.3	78.3	47.3	6.4
200	251	231	195	133	102	83.9	50.7	6.9
500	273	251	212	144	111	91.3	55.2	7.5
1000	290	266	225	153	118	96.8	58.6	7.9

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

Nota: Intensidad en mm/h.

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, como insumo de los diferentes modelos lluvia – escorrentía, para así determinar el caudal máximo en cada punto de interés, asociado a periodos de retorno entre 2.33 y 1000 años.

10.5 CAUDALES MÁXIMOS

Los caudales máximos se calcularon aplicando un modelo lluvia – escorrentía adecuada al tamaño del área de la cuenca de estudio en cada punto crítico, a partir de los resultados presentados anteriormente.

Las cuencas menores o iguales a 2.5 Km², se saturan con facilidad antes de presentarse la tormenta de diseño; por esta razón en estos casos se aplica el modelo lluvia – escorrentía conocido como método Racional, el cual fue deducido para estas condiciones. Este método se puede expresar como:

$$Q_{Tr} = 0.278 C I_{Tr} A$$

Dónde:

Q_{Tr} Caudal máximo en m³/s para un período de retorno “Tr”.

C Coeficiente de escorrentía adimensional

A Área de drenaje, en km².

I_{Tr}. Intensidad de la lluvia en mm/h para un período de retorno “Tr” y una duración de lluvia igual al tiempo de concentración.

El coeficiente de escorrentía (C) se seleccionó de acuerdo con la cobertura y el uso del suelo; mientras que la intensidad de la lluvia se obtuvo de las curvas IDF calculadas anteriormente. Cuando en una cuenca de drenaje se tiene influencia de dos o más estaciones (de acuerdo con los polígonos de Thiessen), la intensidad de la lluvia a utilizar fue el promedio ponderado de la intensidad obtenida en cada estación, con base en las áreas de influencia de las estaciones en la cuenca bajo estudio.

La duración de la tormenta de diseño se tomó igual al tiempo de concentración de la cuenca obtenido anteriormente, adoptando como valor mínimo 15 min cuando el tiempo de concentración sea menor a este valor. Para cuencas con áreas mayores a 2.5 Km² se utilizó el modelo lluvia – escorrentía conocido como el del Hidrograma Unitario. En consecuencia, el caudal máximo se obtuvo aplicando el hietograma de precipitación efectiva obtenido para la tormenta de diseño, al hidrograma unitario, estimado mediante el método propuesto por el U. S. Soil Conservation Service, cuyos parámetros básicos son:

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

$$Q_p = 0.208 A P_e / t_p$$

$$t_p = D/2 + t_r$$

$$t_r = 0.6 T_c$$

$$t_b = 2.67 t_p$$

Dónde:

Q_p caudal pico en m³/s

A área de la cuenca de drenaje en Km²

P_e precipitación efectiva en mm

T_p tiempo al pico del hidrograma unitario en h

D duración de la tormenta de diseño en h

T_r tiempo de retardo en h

T_c tiempo de concentración en h

T_b tiempo base del hidrograma

La precipitación de la tormenta de diseño se obtuvo a partir de las curvas PDF calculadas anteriormente, considerando una duración similar a dos veces el tiempo de concentración de la cuenca.

La precipitación efectiva se estableció mediante el método del U.S. Soil Conservation Service, el cual se puede expresar de la siguiente manera:

$$P_e = \frac{\left(P - \frac{5080}{N} + 50.8 \right)^2}{\left(P + \frac{20320}{N} - 203.2 \right)}$$

Dónde:

P_e Precipitación efectiva en mm.

P Precipitación en mm.

N Número de curva.

Las precipitaciones efectivas, se redistribuyeron en el tiempo, teniendo en cuenta la distribución propuesta por F. A. Huff⁶ para el segundo cuartil, con el 50% de probabilidad, configurando así el hietograma de precipitación efectiva que se le aplicó al hidrograma unitario con el fin de obtener los caudales máximos.

El número de curva N depende del tipo y uso del suelo; sin embargo, su valor puede incrementarse o disminuir dependiendo de la humedad existente en la cuenca antes de presentarse la tormenta de diseño; por esta razón se diferencian tres estados básicos de humedad antecedente:

⁶ F. A. Huff, "Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms" Water Resources Research. Vol3, No.4 1967.

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

N_I. Humedad antecedente seca; es decir los suelos de la cuenca se encuentran secos y por lo tanto presentan bajo potencial de escurrimiento.

N_{II}. Humedad antecedente promedio.

N_{III}. Humedad antecedente saturado; los suelos de la cuenca se encuentran prácticamente saturados y por lo tanto presentan alto potencial de escurrimiento.

Las cuencas con áreas menores o iguales a 2.5 Km², se saturan con facilidad por su pequeño tamaño y por lo tanto se analizan asumiendo una humedad antecedente tipo N_{III}; es decir saturada. Por otra parte, en las cuencas con área mayor a 2.5 Km², la distribución espacial de la lluvia es menos uniforme en la medida en que crece la cuenca y por lo tanto es más difícil de saturar la cuenca en la medida en que crece el área de la misma. Por lo tanto, es necesario asumir condiciones de humedad antecedente más bajas en la medida en que crece su área. Para efectos del presente estudio, se asumió que se pueden encontrar condiciones de humedad antecedente tipo N_{II}, para cuencas con área de 250 Km². Por lo tanto, para las cuencas con áreas entre 2.5 Km² y 250 Km², se obtuvo el número de curva interpolando en función del área entre los valores N_{III} y N_{II}. Para cuencas con área igual a 2500 Km², se consideró que la condición de humedad antecedente era muy cercana a la del tipo N_I; por lo tanto, para cuencas con área entre 250 Km² y 2500 Km², se obtuvo el número de curva interpolando en función del área entre los valores N_{II} y N_I.

10.5.1 Caudales Máximos obtenidos

Teniendo en consideración que los tamaños de las cuencas de los puntos críticos estudiados en este Municipio oscilan entre 0.09 y 2.37 Km², se adoptó el modelo lluvia – escorrentía conocido como Método Racional, para estimar los caudales máximos asociados a los períodos de retorno entre 2.33 y 1000 años. Al aplicar esta metodología, se obtienen los siguientes caudales máximos en cada uno de los puntos críticos considerados:

Tabla 34: Caudales Máximos esperados en el Punto Crítico 1.

Tr (años)	A (ha)	i (mm/h)	C	Q (l/s)	Q (m3/s)
2.33	42.7	61.9	0.35	2572	2.6
5	42.7	74.5	0.35	3093.4	3.1
10	42.7	84.2	0.35	3496.4	3.5
15	42.7	89.5	0.35	3716.7	3.7
25	42.7	95.9	0.35	3984.1	4
50	42.7	104.4	0.35	4334.8	4.3
100	42.7	112.6	0.35	4676.5	4.7
200	42.7	120.7	0.35	5012.8	5
500	42.7	131.3	0.35	5452.9	5.5



Tr (años)	A (ha)	i (mm/h)	C	Q (l/s)	Q (m3/s)
1000	42.7	139.3	0.35	5784.5	5.8

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 35: Caudales Máximos esperados en el Punto Crítico 2.

Tr (años)	A (ha)	i (mm/h)	C	Q (l/s)	Q (m3/s)
2.33	8.9	74	0.35	642.4	0.6
5	8.9	89	0.35	772.7	0.8
10	8.9	100.5	0.35	873.3	0.9
15	8.9	106.9	0.35	928.4	0.9
25	8.9	114.6	0.35	995.1	1
50	8.9	124.6	0.35	1082.7	1.1
100	8.9	134.5	0.35	1168.1	1.2
200	8.9	144.1	0.35	1252.1	1.3
500	8.9	156.8	0.35	1362	1.4
1000	8.9	166.3	0.35	1444.8	1.4

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 36: Caudales Máximos esperados en el Punto Crítico 3.

Tr (años)	A (ha)	i (mm/h)	C	Q (l/s)	Q (m3/s)
2.33	97.9	43.4	0.35	4138.2	4.1
5	97.9	52.2	0.35	4977.2	5
10	97.9	59	0.35	5625.5	5.6
15	97.9	62.8	0.35	5980	6
25	97.9	67.3	0.35	6410.2	6.4
50	97.9	73.2	0.35	6974.4	7
100	97.9	79	0.35	7524.2	7.5
500	97.9	92.1	0.35	8773.4	8.8
1000	97.9	97.7	0.35	9306.9	9.3

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 37: Caudales Máximos esperados en el Punto Crítico 4.

Tr (años)	A (ha)	i (mm/h)	C	Q (l/s)	Q (m3/s)
2.33	140	35.2	0.35	4788.8	4.8
5	140	42.3	0.35	5759.6	5.8
10	140	47.8	0.35	6509.9	6.5
15	140	50.8	0.35	6920.1	6.9
25	140	54.5	0.35	7417.9	7.4
50	140	59.3	0.35	8070.8	8.1
100	140	63.9	0.35	8707.1	8.7
200	140	68.5	0.35	9333.2	9.3
500	140	74.6	0.35	10152.6	10.2



Tr (años)	A (ha)	i (mm/h)	C	Q (l/s)	Q (m ³ /s)
1000	140	79.1	0.35	10770	10.8

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 38: Caudales Máximos esperados en el Punto Crítico 5.

Tr (años)	A (ha)	i (mm/h)	C	Q (l/s)	Q (m ³ /s)
2.33	37.6	38	0.35	1392.5	1.4
5	37.6	45.7	0.35	1674.7	1.7
10	37.6	51.7	0.35	1892.9	1.9
15	37.6	54.9	0.35	2012.2	2
25	37.6	58.9	0.35	2157	2.2
50	37.6	64.1	0.35	2346.8	2.3
100	37.6	69.1	0.35	2531.8	2.5
200	37.6	74.1	0.35	2713.9	2.7
500	37.6	80.6	0.35	2952.1	3
1000	37.6	85.5	0.35	3131.6	3.1

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 39: Caudales Máximos esperados en el Punto Crítico 6.

Tr (años)	A (ha)	i (mm/h)	C	Q (l/s)	Q (m ³ /s)
2.33	163.4	36.5	0.35	5801.1	5.8
5	163.4	43.9	0.35	6977.1	7
10	163.4	49.6	0.35	7886	7.9
15	163.4	52.7	0.35	8382.9	8.4
25	163.4	56.5	0.35	8986	9
50	163.4	61.5	0.35	9777	9.8
100	163.4	66.3	0.35	10547.7	10.5
200	163.4	71.1	0.35	11306.2	11.3
500	163.4	77.3	0.35	12298.8	12.3
1000	163.4	82	0.35	13046.7	13

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 40: Caudales Máximos esperados en el Punto Crítico 7.

Tr (años)	A (ha)	i (mm/h)	C	Q (l/s)	Q (m ³ /s)
2.33	12.2	66.5	0.35	791.2	0.8
5	12.2	80	0.35	951.6	1
10	12.2	90.4	0.35	1075.6	1.1
15	12.2	96.1	0.35	1143.4	1.1
25	12.2	103	0.35	1225.7	1.2
50	12.2	112.1	0.35	1333.5	1.3
100	12.2	120.9	0.35	1438.7	1.4
200	12.2	129.6	0.35	1542.1	1.5

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

500	12.2	141	0.35	1677.5	1.7
1000	12.2	149.5	0.35	1779.5	1.8

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 41: Caudales Máximos esperados en el Punto Crítico 8.

Tr (años)	A (ha)	i (mm/h)	C	Q (l/s)	Q (m3/s)
2.33	236.9	30.7	0.35	7083.3	7.1
5	236.9	37	0.35	8519.3	8.5
10	236.9	41.8	0.35	9629.1	9.6
15	236.9	44.4	0.35	10235.9	10.2
25	236.9	47.6	0.35	10972.3	11
50	236.9	51.8	0.35	11938	11.9
100	236.9	55.9	0.35	12879.1	12.9
200	236.9	59.9	0.35	13805.3	13.8
500	236.9	65.1	0.35	15017.3	15
1000	236.9	69.1	0.35	15930.5	15.9

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

11 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

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 2 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 2 Barrenos manuales hasta una profundidad máxima de 5.0 m, La localización de los sondeos realizados se puede observar en la Ilustración 77 y Tabla 42. La localización de la campaña de exploración geotecnia se puede observar en el Anexo 6 Mapas - GE426-NAT-PSIG-ES-004-00.



Ilustración 77 Localización de la exploración directa
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 NÁTAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA</p>

Tabla 42. Coordenadas Exploración directa- Perforaciones

Sondeo	INICIO		Profundidad (m)
	ESTE	NORTE	
BM 1	75°48'41,26"	2°32'43,76"	5
BM2	75°48'34,40"	2°32'30,65"	5
SM1	75°48'21,27"	2°32'34,84"	15
SM2	75°48'29,01"	2°32'52,45"	16

Fuente: Geocing SAS.

Con el fin de conocer el perfil de suelo así como el modelo geológico-geotécnico del área de estudio, se realizaron 2 líneas de refracción sísmica, en la Tabla 43 se identifican por medio de coordenadas el inicio y el fin de cada línea y en la Ilustración 78 se observan las zonas donde se desarrolló cada ensayo.

Tabla 43. Coordenadas Exploración Geofísica Líneas Sísmica

Línea	INICIO		FIN		Longitud (m)
	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE	
LRS-01	807736	773085	807857	773083	115
LRS-02	807530	773507	807626	773528	115

Fuente: Geocing SAS.



Ilustración 79 Localización Exploración Geofísica.

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

➤ ENSAYOS DE LABORATORIO

A partir de la exploración del subsuelo, se realizaron los correspondientes ensayos de laboratorio, las cuales fueron identificadas de acuerdo al tipo de material, y fueron realizados dependiendo el tipo de material, para 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 - Resultados de Laboratorio, 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 a continuación:

Tabla 44. Normas INVIAS para ensayos de laboratorio

Ensayo de laboratorio	Cantidad	Norma
Granulometría	10	I.N.V.E 123-07 Análisis granulométrico de suelos por tamizado
Humedad natural	31	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	25	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	16	I.N.V.E 121-07 Determinación del peso unitario total
Corte directo	8	I.N.V.E 154-07 Determinación de la resistencia al corte por el método de corte directo
Compresión inconfiada		I.N.V.E 152-07 Compresión inconfiada en muestras de suelo
Cargas Puntual	6	

Fuente: Geocing SAS., 2018

De manera inicial se realizaron análisis de variación de propiedades geotécnicas por cada tramo de sección de comportamiento geotécnico homogéneo, obteniendo así 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.

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

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 - Normalización SPT. A continuación se presenta la caracterización geotécnica de cada uno de los materiales reportados en el área de estudio.

11.1 RESULTADOS DE EXPLORACIÓN INDIRECTA

La exploración sísmica de refracción y MASW, 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, para determinar los parámetros geomecánicos para la clasificación del suelo según la norma NSR-10. A continuación se presenta la Ilustración 80 la ubicación de las líneas para la exploración sísmica, en el este caso su realizaron dos líneas.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA

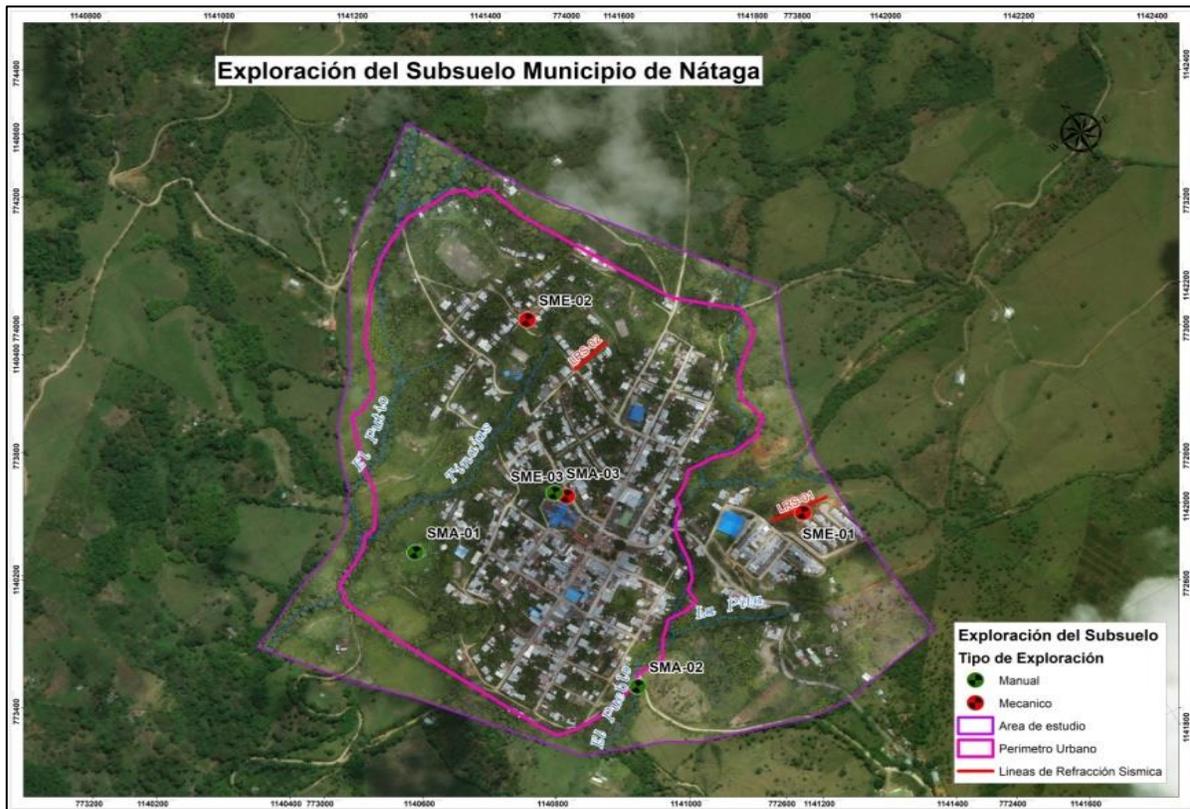


Ilustración 80 Localización Exploración Geofísica en el municipio de Nátaga
Fuente: Geocing. SAS

En la Tabla 43 se identifican por medio de coordenadas el inicio y el fin de cada línea y en la Tabla 45 se observan las zonas donde se desarrolló cada ensayo.

Tabla 45. Coordenadas Exploración Geofísica Líneas Sísmica

Línea	INICIO		FIN		Longitud (m)
	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE	
LRS-01	807736	773085	807857	773083	115
LRS-02	807530	773507	807626	773528	115

Fuente: Geocing. SAS

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.

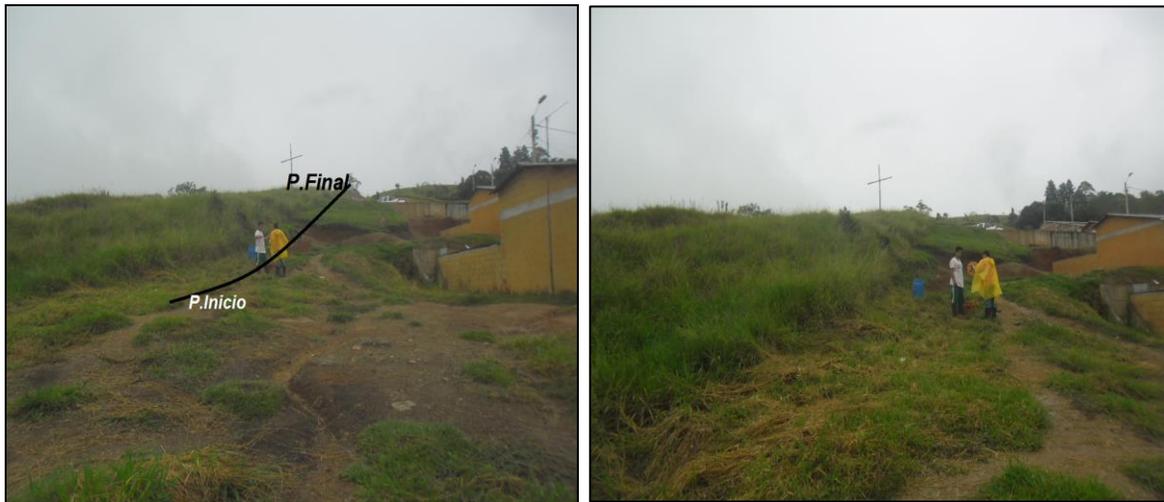


Ilustración 81 Proceso de ejecución LRS-01.

Fuente: Geocing. SAS

- **Modelo Simplificado LRS-01:**

En la Ilustración 82 se presenta el modelo simplificado de tres conjuntos de velocidades compresionales y en la Tabla 46 se presenta la clasificación de la ripabilidad según su velocidad:

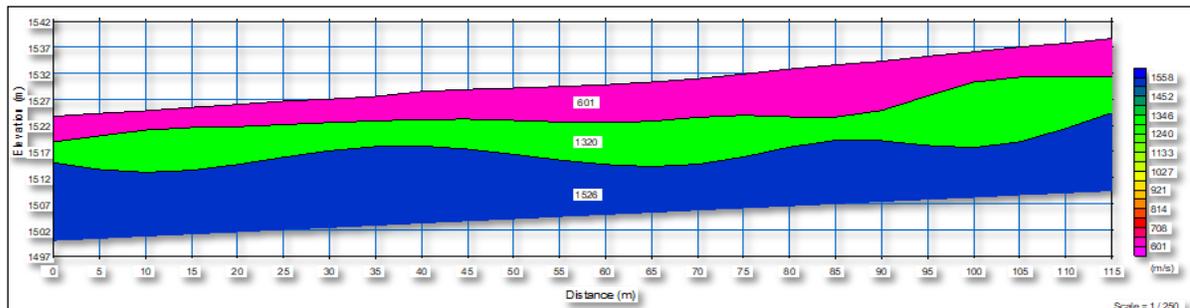


Ilustración 82. Modelo Simplificado LRS-01

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 46. Clasificación Ripabilidad Vp L1.

Línea	Vp (m/s)	Espesor (m)	Profundidad (m)	RIPABILIDAD
L1	601	7	0-7	Ripado fácil
	1320	15	7-22	Ripado normal
	1526	-	22-30	Ripado normal

Fuente: Geocing SAS.

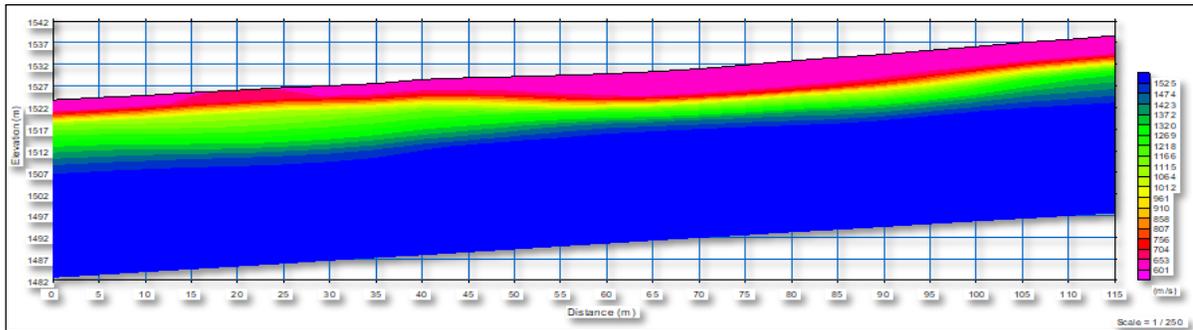


Ilustración 83. Tomografía sísmica LRS-01
Fuente: Geocing SAS.

Tabla 47. Resumen Perfil simple Vp L1.

N° Línea	Estrato	Rango de Velocidad Vp(m/s)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Material
L1	1	601-858	6	0-6	Suelo residual
	2	858-1372	9	6-15	Roca Intermedia
	3	1372-1525	-	15-30	Roca dura

Fuente: Geocing SAS.

En general el perfil unidimensional presenta una velocidad de corte promedio Vs 467 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 /roca blanda. (Ver Ilustración 84).

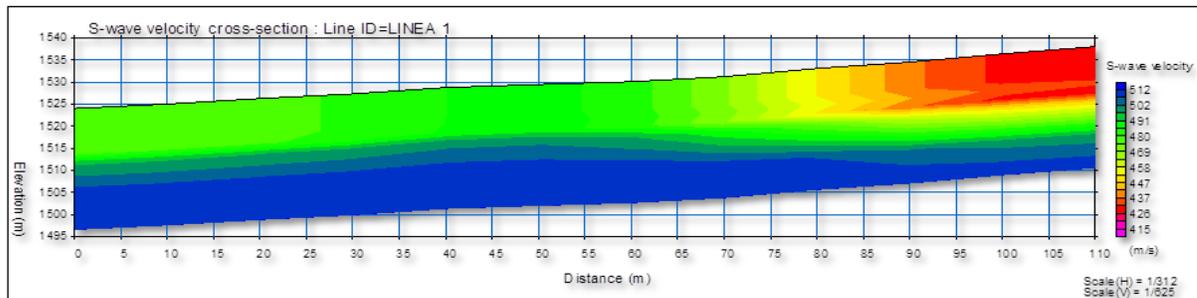


Ilustración 85 .Perfil bidimensional (2D) Vs MASW-01.
Fuente: Geocing SAS.

Tabla 48. Resumen Tomografía Vs L1.

N° Línea	Estrato	Rango de Velocidad Vs(m/s)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Material
L1	1	415-447	12	0-12	Suelo Residual
	2	447-491	13	12-25	Roca Intermedia
	3	491-512	-	25-Indefin	Roca Dura

Fuente: Geocing SAS.

- **Modelo Simplificado LRS-02:**



Ilustración 86 Proceso de ejecución LRS-02
Fuente: Geocing SAS.

En la Ilustración 87 se presenta el modelo simplificado de dos conjuntos de velocidades compresionales y en la Tabla 49 se presenta la clasificación de la ripabilidad según su velocidad:

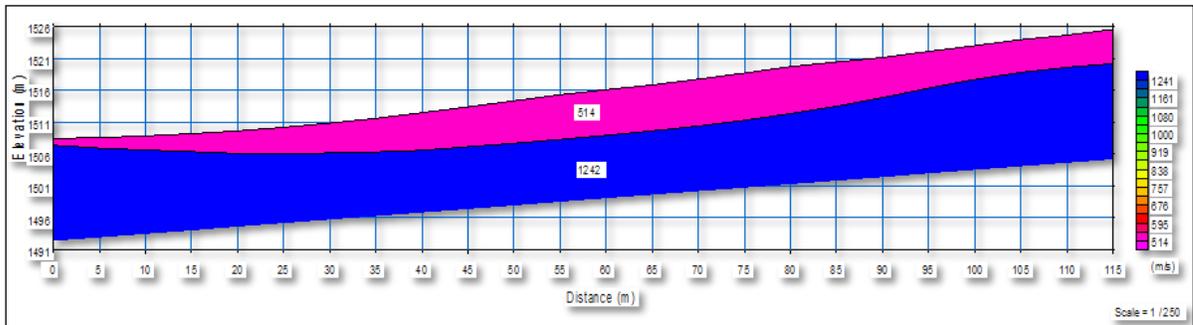


Ilustración 87 .Modelo Simplificado LRS-02.
Fuente: Geocing SAS.

Tabla 49. Clasificación Ripabilidad Vp L2.

Línea	Vp (m/s)	Espesor (m)	Profundidad (m)	RIPABILIDAD
L2	514	8	0-8	Material suelto
	1242	22	8-30	Ripado fácil

Fuente: Geocing SAS.

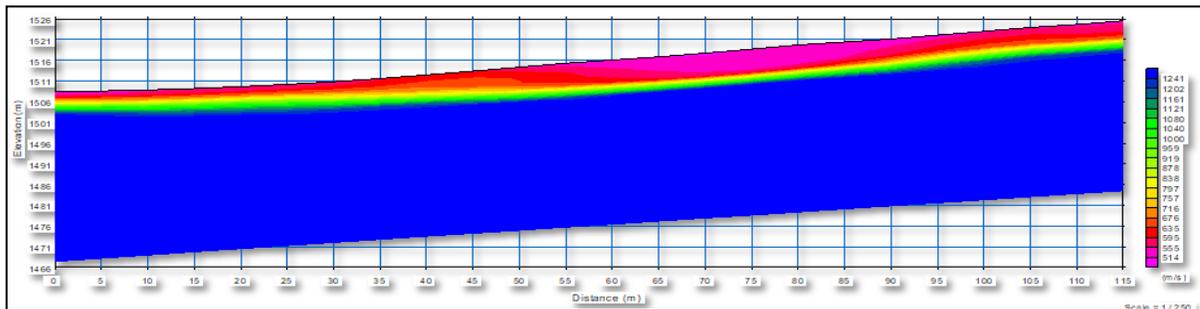


Ilustración 88. Tomografía sísmica LRS-02.
Fuente: Geocing SAS.

Tabla 50. Resumen Tomografía Sísmica Vp L2.

N° Línea	Estrato	Rango de Velocidad Vp(m/s)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Material
L2	1	514-716	5	0-5	Suelo Residual
	2	716-1121	3	5-8	Roca Intermedia
	3	1121-1241	22	8-30	Roca Dura

Fuente: Geocing SAS.

En general el perfil unidimensional presenta una velocidad de corte promedio V_s 497.5 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. (Ver Ilustración 89).

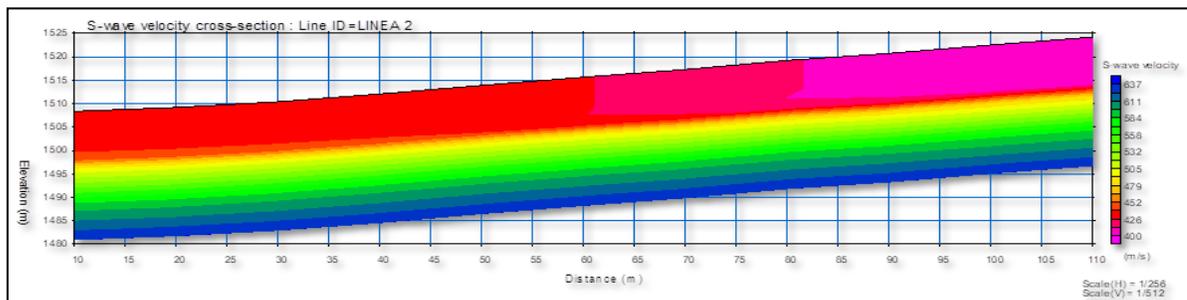


Ilustración 90 Perfil bidimensional (2D) Vs MASW-02.
Fuente: Geocing SAS.

Tabla 51. Resumen Tomografía Vs L2.

N° Línea	Estrato	Rango de Velocidad Vs(m/s)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Material
L2	1	400-479	12	0-12	Suelo Residual
	2	479-584	10	12-22	Roca Intermedia
	3	584-637	8	22-30	Roca Dura

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

11.2 RESULTADOS DE EXPLORACIÓN DIRECTA

11.2.1 *Suelo residual formación caballos Sr-K1c*

Este material corresponde principalmente a los materiales resultantes de la meteorización y alteración del macizo rocoso y se considera horizonte VI del perfil de meteorización de Dearman (1974, 1991). En el área, los suelos residuales tienen una composición arcillo-limosa gris a marrón claro y en algunos casos a naranja por oxidación. Presenta escasos granos de lodolitas redondeados. Estos materiales presentan una amplia extensión y continuidad abarcando la mayoría del área de estudio.

De acuerdo con la exploración geotécnica y los resultados obtenidos en los barrenos manuales BM1, BM2, BM3 y Sondeo mecánico SM1, SM2 y SM3, el espesor promedio es de 5.50 m. La LRS 01, reporta un espesor de 6 m de este material, con Vs menor de 415 a 447 m/s, En la ver Ilustración 91, se puede ver un afloramiento de este material.



Ilustración 91.E= 1141521, N= 773231, Fotografía tomada hacia el norte. Suelo residual sedimentario de la Formación Caballos (Sr-K1c)

Fuente: Geocing SAS.

A partir de los resultados de campo se determina las características físicas de los materiales que constituyen el suelo residual, inicialmente se tiene en cuenta la consistencia del perfil de suelo, la cual como se puede ver en las gráficas a continuación que incrementa con la profundidad de muy compacta a dura y se nota el incremento de la consistencia en el avance a profundidad, tal como se evidencia en la Ilustración 92.

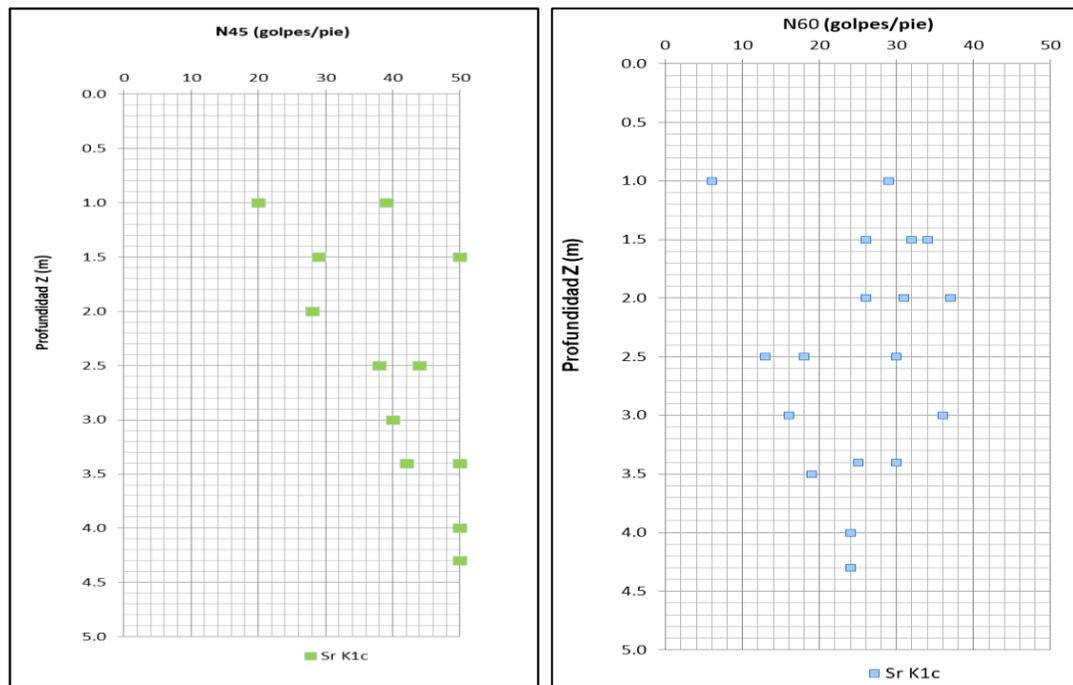


Ilustración 92 Perfil de campo, reporte de N45 con N160.

Fuente: Geocing SAS.

En la Ilustración 93 se observa que los materiales que componen el Suelo residual tienen valores de límite plástico promedio de 27,19%, la humedad natural promedio de 28,85%, como se anotando que la humedad Natural y el Límite plástico tiene valores muy cercanos lo cual indica que el material tiene un comportamiento plástico, propio de las arcillas normalmente consolidadas. El límite líquido promedio de 43.29, es decir que los materiales en este rango de profundidad tienen plasticidad media a baja.

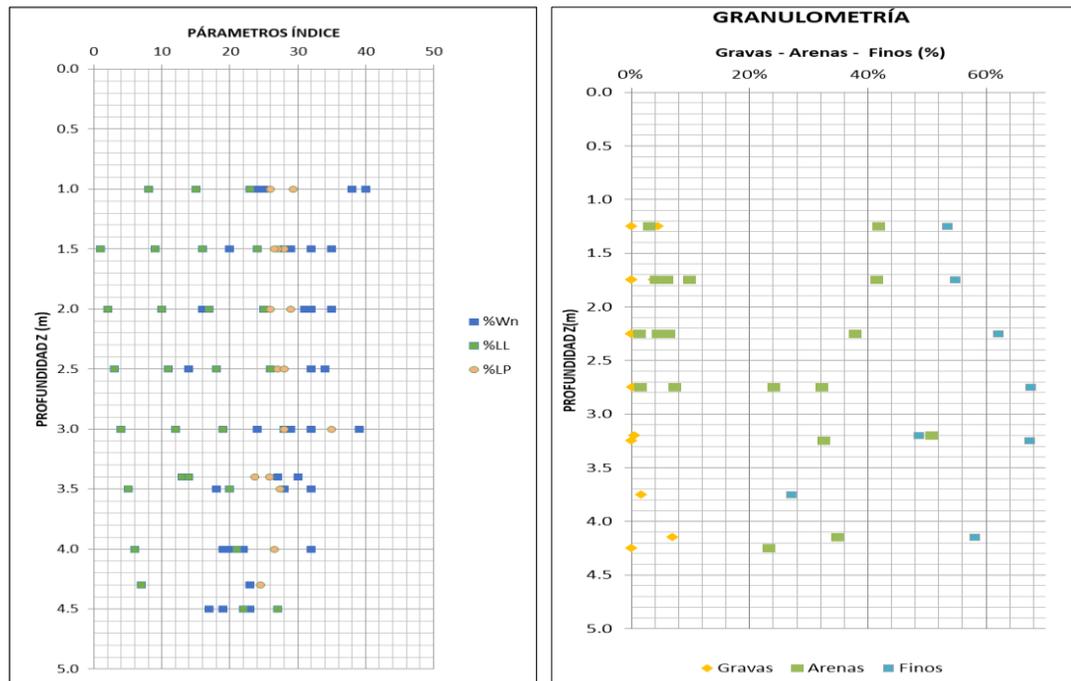


Ilustración 93 Variación de las propiedades índices Wn, LL, LP e IP en profundidad
Fuente: Geocing SAS.

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 limosa café ML, con contenido de fracción arenosa importante de 23%, y un contenido de fracción gruesa menor a 5%, en la Ilustración 93 se pueden observar los comportamientos en función de la distribución granulométrica. Posteriormente en la Tabla 52, se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de Corte directo drenado que permiten la caracterización de resistencia.

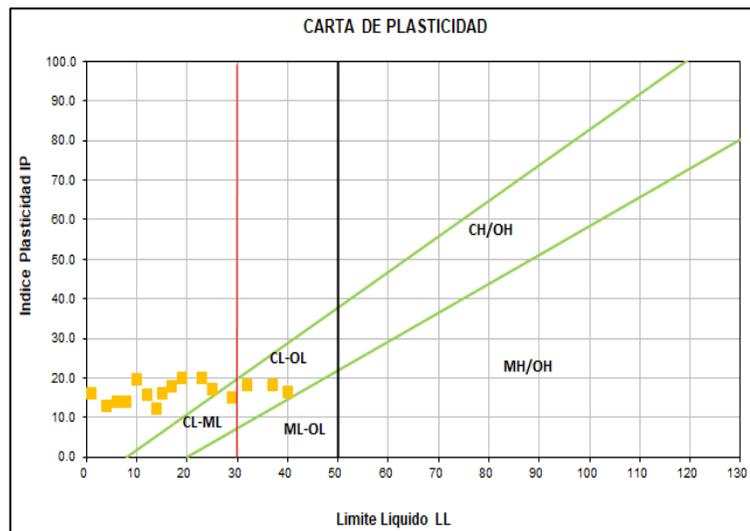


Ilustración 94 Variación granulométrica y clasificación unificada de suelos en profundidad
Fuente: Geocing SAS.

Tabla 52 Parámetros de resistencia para el suelo Residual Sr-K1c

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO																
MUESTRA				Peso Unitario			Granulometría			Límites Atterberg				USCS	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 [%]	IL		C [kPa]	ϕ' [°]
BM1	1.25	14	-			32				44	28	16	0.25	ML		
BM1	1.75	12	-			32	0.00%	4.20%	95.80%							
BM1	2.25	12	-			32	0.00%	6.30%	93.70%							
BM1	2.75	17	-			28				36	26	13	0.15	ML	18	17.3
BM1	3.25	24	-	16.8	14.2	18	0.00%	32.60%	67.40%							
BM1	3.75	50	-			19				40	27	14	-0.57	ML		
BM1	4.15	50	-			23	7.10%	34.80%	58.10%							
BM2	0.75	7	-			40				48	35	14	0.36	ML		
BM2	1.25	7	-			28	4.60%	41.90%	53.50%							
BM2	1.75	12	-	14.2	10.85	31				47	27.4	19.6	0.18	ML		
BM2	2.25	20	-			32	0.00%	37.90%	62.10%						19	11
BM2	2.75	25	-			32	0.20%	32.30%	67.60%	42.6	26.6	15.9	0.34	ML		
BM2	3.2	48	-			27	0.60%	50.90%	48.60%							
BM2	3.2	50	-			30				36.7	24.5	12.1	0.45	ML		
BM3	0.75	5	-			38				43	26	16	0.75	ML		
BM3	1.25	8	-	18.9	14	35										
BM3	1.75	7	-			35	0.00%	9.90%	90.10%	45	27	18	0.44	ML	6	29.7
BM3	2.25	9	-	19.9	15.1	32	0.00%	4.50%	95.50%							
BM3	2.75	11	-			29	0.20%	1.50%	98.20%	49	29	20	0	ML		
BM3	3.25	40	3.3			28										
BM3	3.75	20	3.3			22	1.70%	71.30%	27.00%	N.L	N.P					
BM3	4.25	50	3.3	19.3	16.2	19							21.50%			
SM1	0.75	11	-			38				43	26	16	0.75	ML		
SM1	1.25	17	-	18.9	14	35									8	18
SM1	1.75	25	-			35	0.00%	9.90%	90.10%	45	27	18	0.44	ML		
SM1	2.25	40	-	19.9	15.1	32	0.00%	4.50%	95.50%							
SM1	4.25	28	-			29	0.20%	1.50%	98.20%	49	29	20		ML		
SM2	0.75	13	-			24										
SM2	1.25	32	-			20				40.9	25.9	15	-0.39	ML		
SM2	1.75	25	-			16	4.30%	6.00%	89.70%							
SM2	2.25	42	-			14										

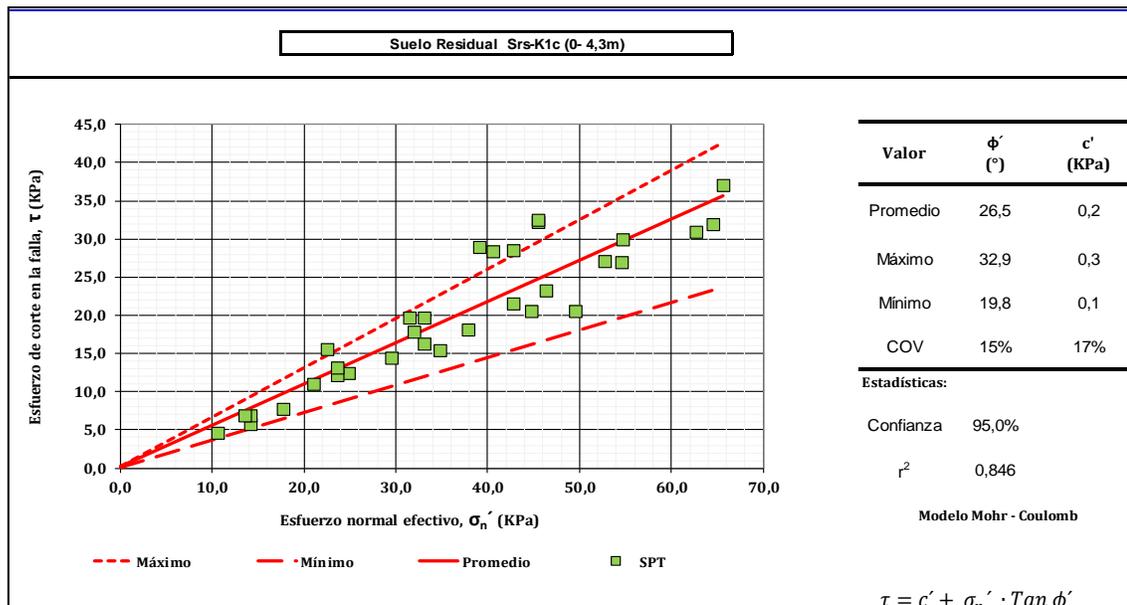


RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO																
MUESTRA				Peso Unitario			Granulometría			Límites Atterberg				USCS	Corte directo Drenado	
SONDEO	Prof. prom. [m]	Nc 45	N.F (m)	Y _t [kN/m ³]	Y _d [kN/m ³]	ω _n [%]	Gravas [%]	Arenas [%]	Finos [%]	LL [%]	LP [%]	IP [%]	IL		C [kPa]	Ø' [°]
SM2	2.75	0	-			24	0.30%	24.10%	75.50%	42	23.7	18.3	0.02	CL		
SM2	3.25	24	-	20.17	16.84	20										
SM2	3.75	42	-			20										
SM3	1.75	2	-			31	3.80%	41.50%	54.70%							
SM3	2.25	3	-			34				47.6	29.3	18.3	0.26	ML		
SM3	2.75	9	-			39	0.90%	7.40%	91.70%							
SM3	3.25	9	-			32										
SM3	3.75	10	-	19.86	15.04	32				42.9	26.6	16.3	0.33	ML	8 22.2	

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 efectivos ϕ' y c' . La Tabla 54 muestra el resultado de la aplicación de esta metodología de estimación con SPT de acuerdo a lo planteado en el artículo "ESTIMATIVOS DE PARÁMETROS EFECTIVOS DE RESISTENCIA CON EL SPT" de Álvaro J. González G. 1999.

Tabla 53 Correlación mediante el SPT para la estimación de los parámetros de resistencia de Suelo residual

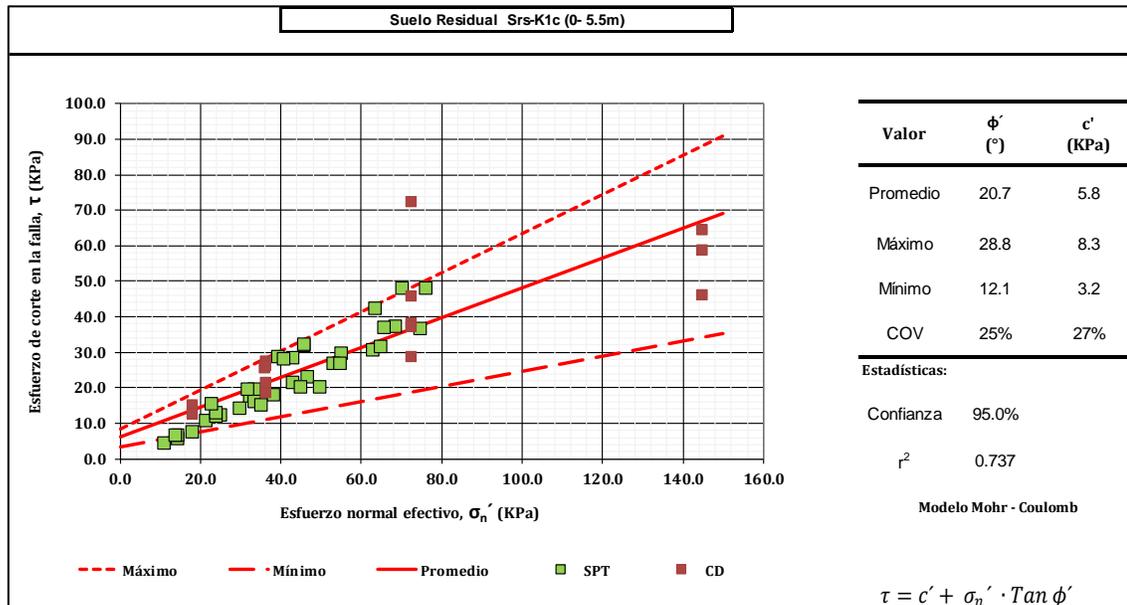


Fuente: Geocing SAS.

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 54 Correlación mediante el SPT para la estimación de los parámetros de resistencia de Suelo residual



Fuente: Geocing SAS.

11.2.2 Roca Blanda Formación caballos - Lodolitas meteorizadas (Rb-K1c-1m)

De acuerdo al perfil de campo, se logra identificar entre 5.5 y 10 m de profundidad un nivel de consistencia Dura ($N_{45} > 50$), asociado al perfil de meteorización de la Formación Caballos, dadas las características de resistencia reportadas mediante el SPT, este estrato se analiza de manera independiente; textualmente se identifican materiales descritos arcillas duras café a negro, presenta algunas pátinas naranjas por oxidación y en algunas muestras se observaron pequeños fragmentos más resistentes de arcillolita limo arenoso gris con vetas habano, compresibilidad baja, plasticidad baja, De acuerdo con la exploración geotécnica y los resultados obtenidos en los Sondeo mecánico SM1, SM2 y SM3, este material se presenta entre 5.5 a 11 m. En la Ilustración 95 se puede el material recuperado a esta profundidad en zona adyacente a la Iglesia.



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

GEOCING SAS
Geociencias e Ingeniería

INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA



**Ilustración 95. Sondeo mecánico 3 (SM-3) realizado en cercanías a la iglesia.
Fuente: Geocing SAS.**

A partir de los resultados de campo se determina las características físicas y de resistencia del nivel de roca blanda, caracterizado según Deerman 1974 como un nivel IV-Roca altamente meteorizada, en el cual se reportan Numero de golpes⁴⁵ entre 30 y 50 con recuperación de núcleos lo cual indica una resistencia media- El nivel freático se reportó a 10 m en el SM3.

De acuerdo con la Ilustración 96 los materiales asociados a la roca blanda, presentan plasticidad media y con valores de humedad natural promedio de 20.51% anotando que, los valores de humedad están alejando de los valores del límite Líquido, siendo este último mayor, lo cual significa que el suelo es hidrófilo por lo tanto es susceptible a los cambios de humedad, que puede traducir en agrietamientos, se debe tener especial consideración si los niveles de humedad varían en el momento de tomar medidas de intervención; situación confirmada dado que la relación entre Humedad natural y Límite plástico está cerca de 1, lo que indica fisuración por desecación y/o cambios en la posición del nivel freático.

Según los resultados de granulometría y de límites de Atterberg se evidencia la homogeneidad general en los materiales que constituyen el nivel de meteorización IV, constituido por limo arenosos gris con vetas habano de compresibilidad baja, consistencia dura y baja plasticidad con la presencia de un lente fino gravoso con espesor de 1.0 m; de acuerdo con las características se clasifica el estrato texturalmente como ML, con contenido de fracción mínima de grava de 1%, en la Ilustración 97 se puede ver lo descrito anteriormente. En la Tabla 53, se presentan los

resultados obtenidos de los ensayos de Corte directo drenado y Compresión inconfinaada.

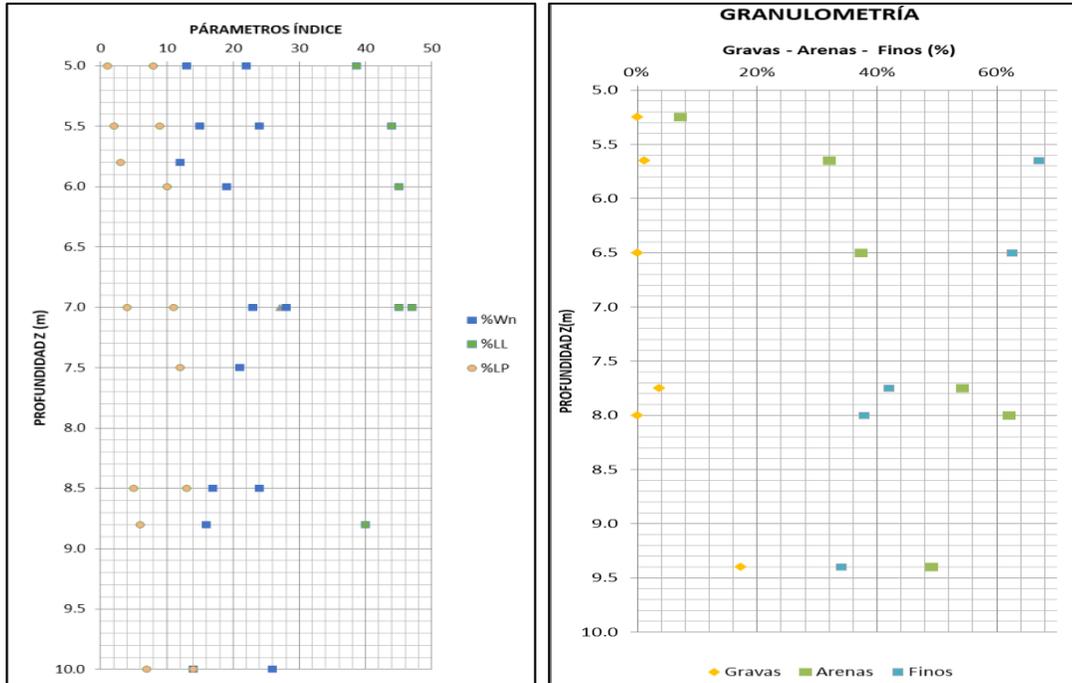


Ilustración 96 Variación de la propiedades índices Wn, LL, LP e IP en profundidad Fuente: Geocing SAS.

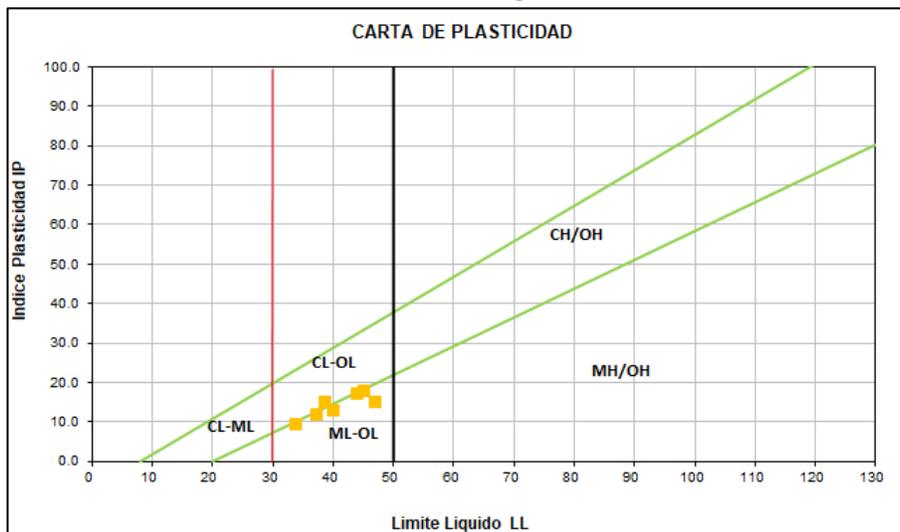


Ilustración 97 Variación granulométrica y clasificación unificada de suelos en profundidad Fuente: Geocing SAS.

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

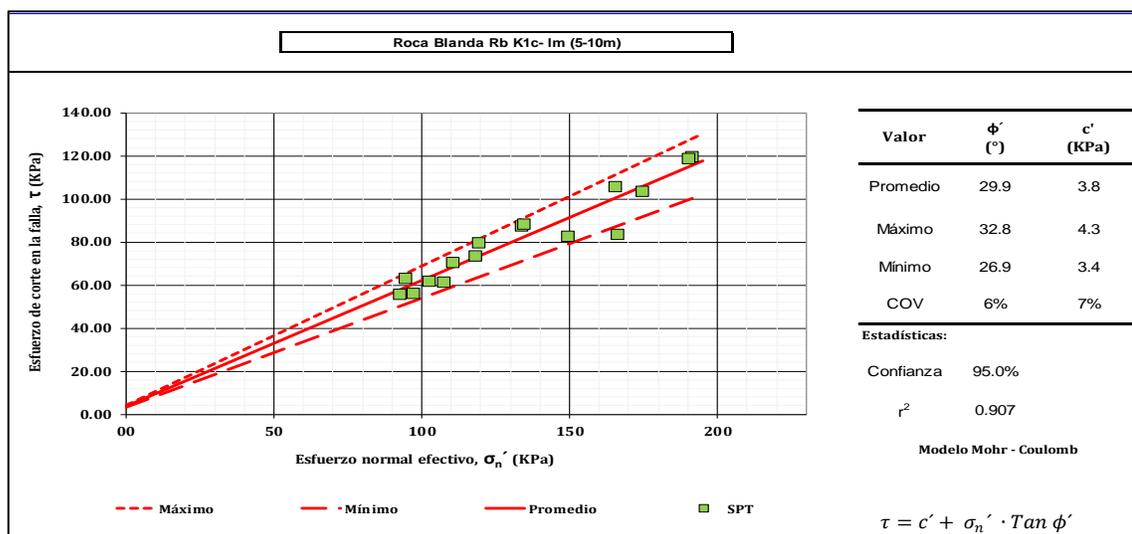
Tabla 55 Parámetros de resistencia para la roca blanda Rb-K1c

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO														
MUESTRA				γ_t [kN/m ³]	ω_n [%]	Granulometría			Límites Atterberg			USCS	Corte directo Drenado	
SONDEO	Prof. prom. [m]	Nc 45	N.F (m)			Gravas [%]	Arenas [%]	Finos [%]	LL [%]	LP [%]	IP [%]		C [kPa]	ϕ' [°]
SM1	5.25	40	-		15.0				44.0	26.0	17.0	ML		
SM1	5.65	50	-		12.0	1.3%	32.0%	67.0%				CL		
SM1	6.40				23.0				47.0	32.0	15.0	ML		
SM1	7.75			20.66	24.0	3.7%	54.3%	42.0%				SM		
SM1	8.65				16.0				40.0	27.0	13.0	ML		
SM1	9.40				14.0	17.3%	49.1%	34.0%				SM		
SM2	5.25	28	-		24.0	0.0%	7.2%	92.8%						
SM2	5.75	44	-		19.0				45.0	27.0	18.0	ML		
SM2	6.50		-		28.0	0.1%	37.4%	62.5%	45.0	27.0	18.0	ML		
SM2	7.25	25	-		21.0									
SM2	8.00	0	-		17.0	0.0%	62.1%	37.9%				SM		
SM2	9.25		-		26.0									
SM3	6.00	SH	-		29.0				37.16	25.15	12	ML	8	26.6
SM3	6.75	11	-		34.0	0.2%	12.3%	87.5%						
SM3	8.25	15	-		22.0	2.3%	31.2%	66.5%	33.79	24.4	9.34	ML		
SM3	8.65	39	-		18.0	1.5%	51.1%	47.3%				SM		
SM3	9.40	NQ	-		28.0	5.4%	9.4%	85.2%					10	18.4

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 nivel de roca blanda IV, 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 efectivos ϕ' y c' ; La Tabla 54 muestra el resultado de la aplicación de esta metodología de estimación con SPT de acuerdo a lo planteado en el artículo “ESTIMATIVOS DE PARÁMETROS EFECTIVOS DE RESISTENCIA CON EL SPT” de Álvaro J. González G. 1999.

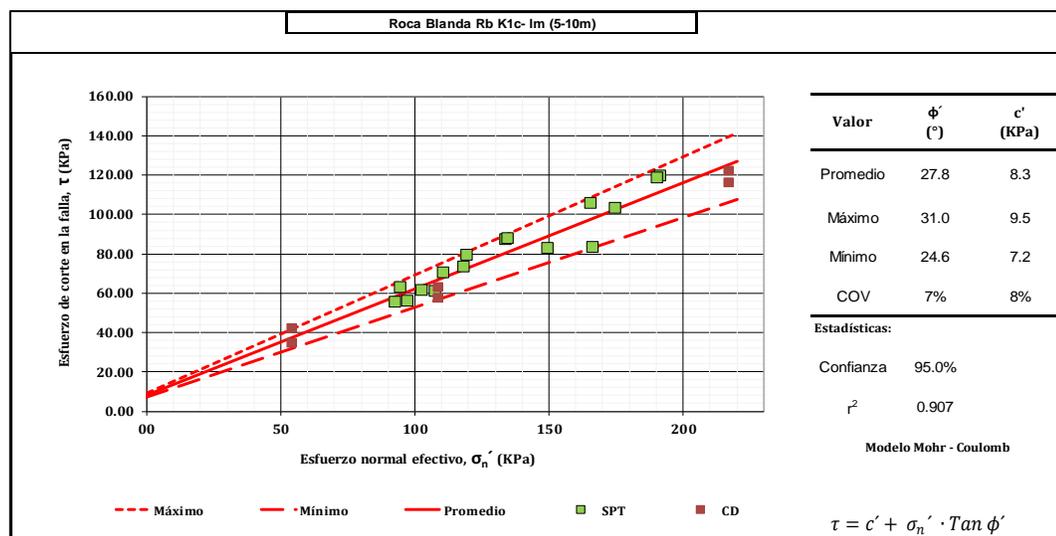
Tabla 56 Correlación mediante el SPT para la estimación de los parámetros de resistencia de Roca Blanda



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 57 Correlación mediante el SPT corte directo para la estimación de los parámetros de resistencia de Roca Blanda



Fuente: Geocing SAS.

11.2.3 Roca Intermedia Formación Caballos Lodolitas (Ri-K1c-I)

De acuerdo al perfil de campo, se logra identificar entre 10.0 m y 15.0 m de profundidad un nivel de compacidad densa a muy densa ($N_{45} > 50-R$), asociado al perfil de meteorización III –Roca moderadamente meteorizada (Regolito) de la Formación Caballos, de acuerdo con el perfil de campo registrado en campo, se describe a continuación a priori las características de mismo, describiendo materiales asociado a un nivel de lodolitas duras gris. Este nivel de roca de acuerdo con la exploración geotécnica y los resultados obtenidos en los Sondeo mecánico SM2 y SM3 entre profundidades de 11 m a 15 m y 10 m a 13 m respectivamente. El nivel freático se reporta a una profundidad de 10 m. A continuación en la Ilustración 98 se observa un afloramiento del nivel de roca intermedio de lodolitas ubicado en la cancha de microfútbol.

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



Ilustración 98. Roca intermedia de la Formación Caballos-Iodolitas (Ri-K1c-I)
Fuente: Geocing SAS.

Los materiales asociados a la roca intermedia, presentan plasticidad media a baja con valores de humedad natural promedio de 23.72% anotando que, los valores de humedad están alejando de los valores del límite Líquido, siendo este último mayor, lo cual significa que los materiales no tienen afectación frente a variaciones del nivel freático.

Según los resultados de granulometría se evidencia la secuencia de los materiales que constituyen el nivel de meteorización, dado que se reporta un estrato cohesivo duro constituido por Limo arenosos gris con vetas habano de compresibilidad baja, y baja plasticidad, por las características se clasifico texturalmente como ML, debido a la consistencia dura de los materiales del nivel de meteorización se realizaron ensayos de resistencia tipo carga puntual y compresión simple en roca. Los resultados de los ensayos de clasificación y de resistencia se observan a continuación en la Tabla 56.

Tabla 58 Parámetros de resistencia para la roca intermedia Ri-K1c-I

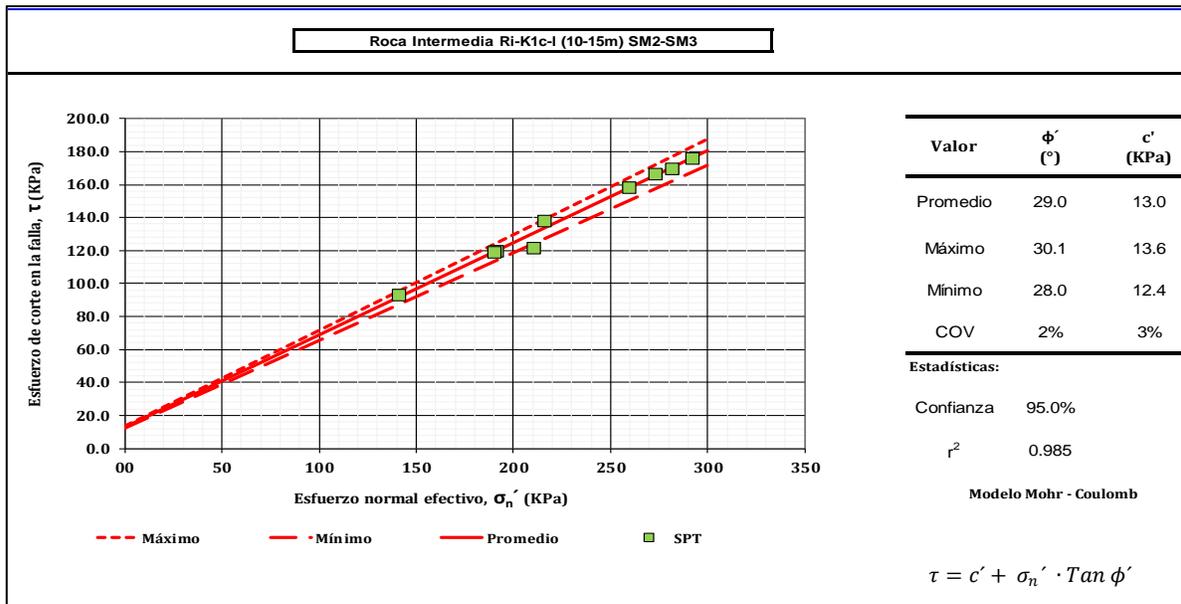
RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO																
MUESTRA				Y _t [kN/m ³]	ω _n [%]	Granulometría			Límites Atterberg			USCS	Compresión Simple		Carga Puntual	
SONDEO	Prof. prom. [m]	Nc 45	N.F (m)			Gravas [%]	Arenas [%]	Finos [%]	LL [%]	LP [%]	IP [%]		qu [kPa]	Cu [kPa]	Is	Resist a la Compresión Simple [MPa]
SM2	10.25	36	10.0		20.0			47.9	27.7	20.2	ML					
SM2	10.75	55	10.0		18.0											
SM2	13.75	50	10.0	24.60	16.8							60.33	30.17	0.78	16.75	
SM3	13.50	55	12.0	23.30	16.5							40.3	20.15	0.19	4.4	

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 Nivel de roca blanda, 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 efectivos 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 64 muestra el resultado de la aplicación de esta metodología.

Tabla 59 Correlación mediante el SPT para la estimación de los parámetros de resistencia de Roca Intermedia



Fuente: Geocing SAS.

En razón al nivel II de meteorización del perfil de suelo y a la obtención de parámetros de resistencia a la compresión Simple y de carga Puntual se presenta a continuación la caracterización con las metodología RMR (Ver Tabla 60) y de Hooke and Brown para niveles rocosos (Ver Tabla 61).

Tabla 60 Caracterización mediante RMR para la estimación de los parámetros de resistencia de Roca Intermedia

Métros de clasificación		Clasificación	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)			
Ensayo de carga puntual	10-4		12
Compresión simple	<1		3
Índice RQD de la roca			
RQD (%)	<25		3
Separación entre diaclasas			
Separación entre diaclasas (m)	<0.005		5
Estado de las discontinuidades			
Longitud de la discontinuidad (m)	3-10		2
Abertura (mm)	1-5		1
Rugosidad	Ligeramente rugosa		3
Relleño	Ninguno		6
Alteraciones	Ligeramente Alterada		5
Agua freática			
Caudal por 10 m de túnel	<10 l/min		10
Presión agua/Tensión principal mayor	0-0.1		10
Estado general	Ligeramente húmedo		10
Rección por discontinuidades		Clasificación	Puntuación
Esqueletos	No aplica		0
Entestaciones	Medias		-7
Alteraciones	Medias		-25
		Puntuación	38

CLASIFICACIÓN RMR				
Calidad	Clase	Tiempo/Longitud de sostenimiento	Cohesión [Kg/cm ²]	Angulo de rozamiento [°]
Mala	IV	10 horas con 2,5 m de vano	1-2	15-25

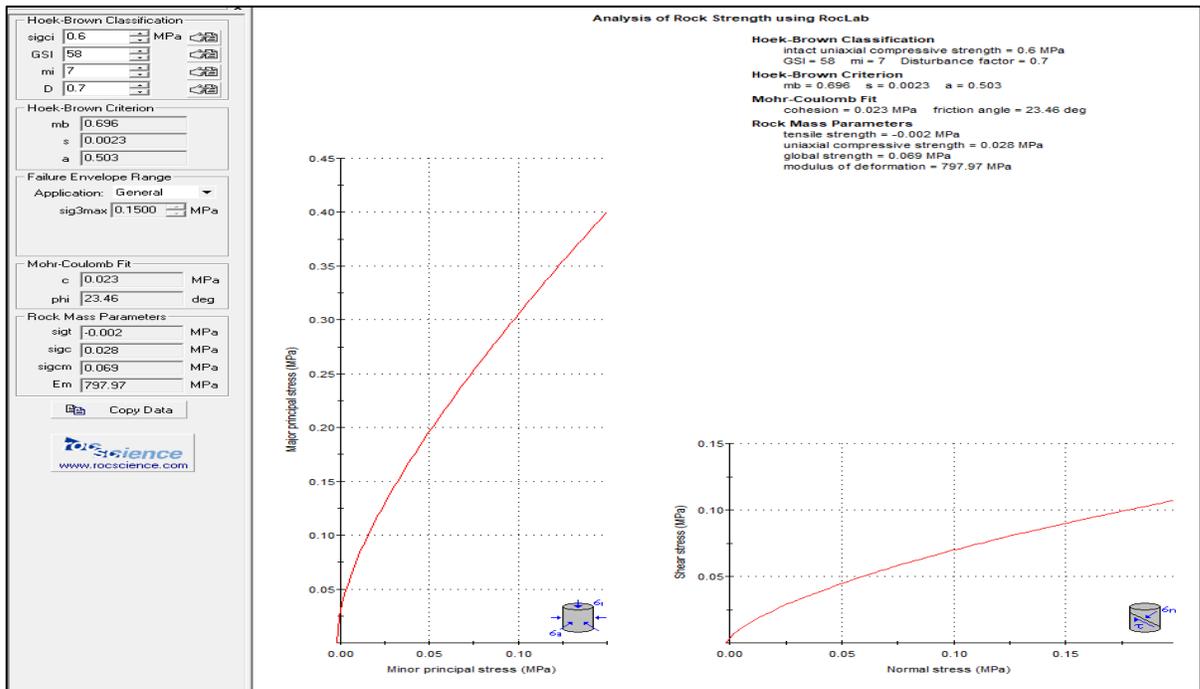
Foto o croquis de la estación geomecánica



Orientación de las discontinuidades en el túnel						
Dirección perpendicular al eje del túnel			Dirección paralela al eje del túnel			
Excavación con buzamiento		Excavación contra buzamiento		Buzamiento 0°-20°, Cualquiera dirección		
Buz. 45-90	Buz. 20-45	Buz. 45-90	Buz. 20-45	Buz. 45-90	Buz. 20-45	
Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	Media	Desfavorable

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 61 Caracterización mediante Hooke and Brown para la estimación de los parámetros de resistencia de Roca Intermedia



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

11.2.4 *Roca Dura Formación Caballos Areniscas (Rd-K1c-a)*

Corresponde al nivel duro competente de Areniscas de grano medio a grueso, limpias de coloración blanca a naranja por oxidación. Presenta granocrecimiento hacia el tope del afloramiento.

Esta unidad se observa en la quebrada El Pueblo, en capas muy gruesas tabulares de aproximadamente 2 m, con límites erosivos e intercaladas con capas de 30 cm de lodolitas negras físlas (Tabla 62).

Se encuentran medianamente fracturadas y con un grado de meteorización bajo, lo cual permite clasificarlas de acuerdo con el perfil de meteorización de Deerman 1974 como Nivel II-Roca ligeramente meteorizada. Se identifica a través de sondeos mecánicos (SME) y las Líneas de Refracción Sísmica (LRS) realizados en el área. En el SME-1 se observa desde los 10 m hasta los 15 m, en la LRS1 se observan valores de V_s entre 447-512 m/s desde los 20 m hasta el final de la exploración (30 m). Estos materiales son no plásticos y tiene valores de humedad natural de 2%.

En razón a la dureza de los materiales se realizaron ensayos de resistencia tales como Compresión Simple y Carga puntual, valores con la cual se presenta la parametrización del este sustrato rocoso con las metodología RMR y de Hooke and Brown para niveles ROCOSOS.

Tabla 62 Parámetros de resistencia para la roca dura Rd-K1c-a

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO																
MUESTRA				γ_t [kN/m ³]	ω_n [%]	Granulometría			Límites Atterberg			USCS	Compresión Simple		Carga Puntual	
SONDEO	Prof. prom. [m]	Nc 45	N.F (m)			Gravas [%]	Arenas [%]	Finos [%]	LL [%]	LP [%]	IP [%]		qu [kPa]	Cu [kPa]	Is	Resist a la Compresión Simple [MPa]
SM1	10.75		14.0	23.00	3.0									2.06	44.17	
SM1	13.75		14.0	23.80	2.0						452.3	226.1	1.51	32.28		
SM2	15.25		10.0	25.60	1.5						407.8	203.9	0.83	17.92		
SM3	15.20	NQ	12.0	22.00	4.2						151.2	75.62	0.26	5.49		

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 63 Caracterización mediante RMR para la estimación de los parámetros de resistencia de Roca Dura

Pámetros de clasificación		Clasificación	Puntuación
1 Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)			
Ensayo de carga puntual	10-4		12
Compresión simple	<1		3
2 Índice RQD de la roca			
RQD (%)	50-75		13
3 Separación entre diaclasas			
Separación entre diaclasas (m)	0,06-0,2		8
4 Estado de las discontinuidades			
Longitud de la discontinuidad (m)	3-10		2
Abertura (mm)	1-5		1
Rugosidad	Ligeramente rugosa		3
Relleno	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		Clasificación	Puntuación
Túneles	No aplica		0
Cimentaciones	Favorable		-2
Taludes	Medias		-25
		Puntuación	56

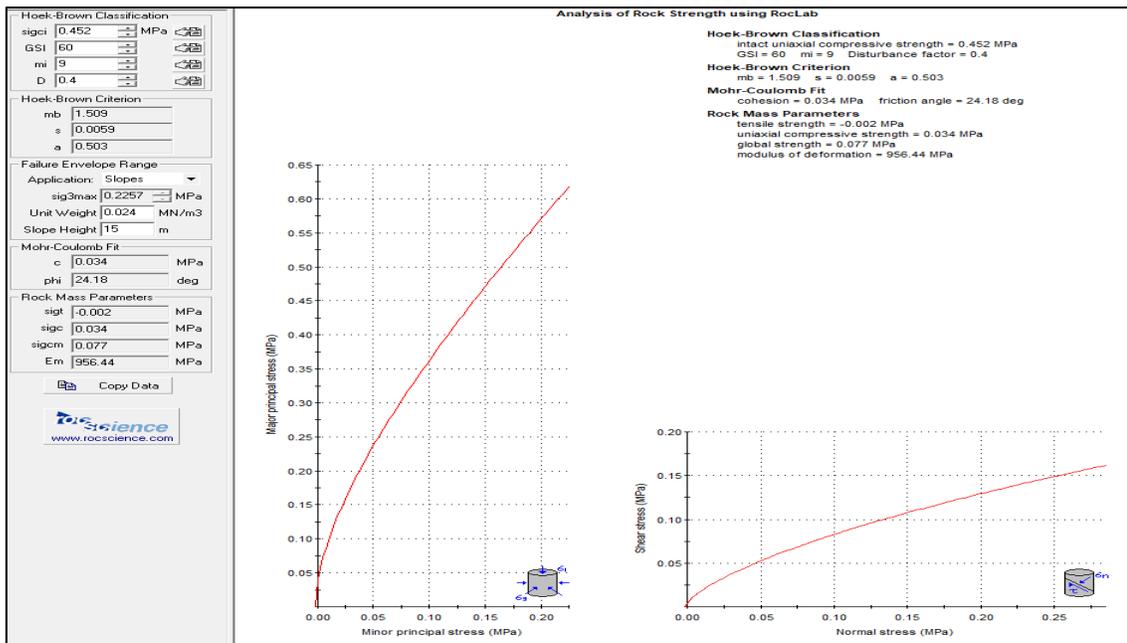
CLASIFICACIÓN RMR				
Calidad	Clase	Tiempo/Longitud de sostenimiento	Cohesión [Kg/cm ²]	Angulo de rozamiento [°]
Media	III	1 semana con 5 m de vano	2-3	25-35

Foto o 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	Buz. 45-90	Buz. 20-45	
May favorable	Favorable	Media	Desfavorable	May desfavorable	Media	Desfavorable

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 64 Caracterización mediante Hooke and Brown para la estimación de los parámetros de resistencia de Roca Dura.



Fuente: Geocing SAS.



11.2.5 Perfil geológico- geotécnico Nátaga

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:

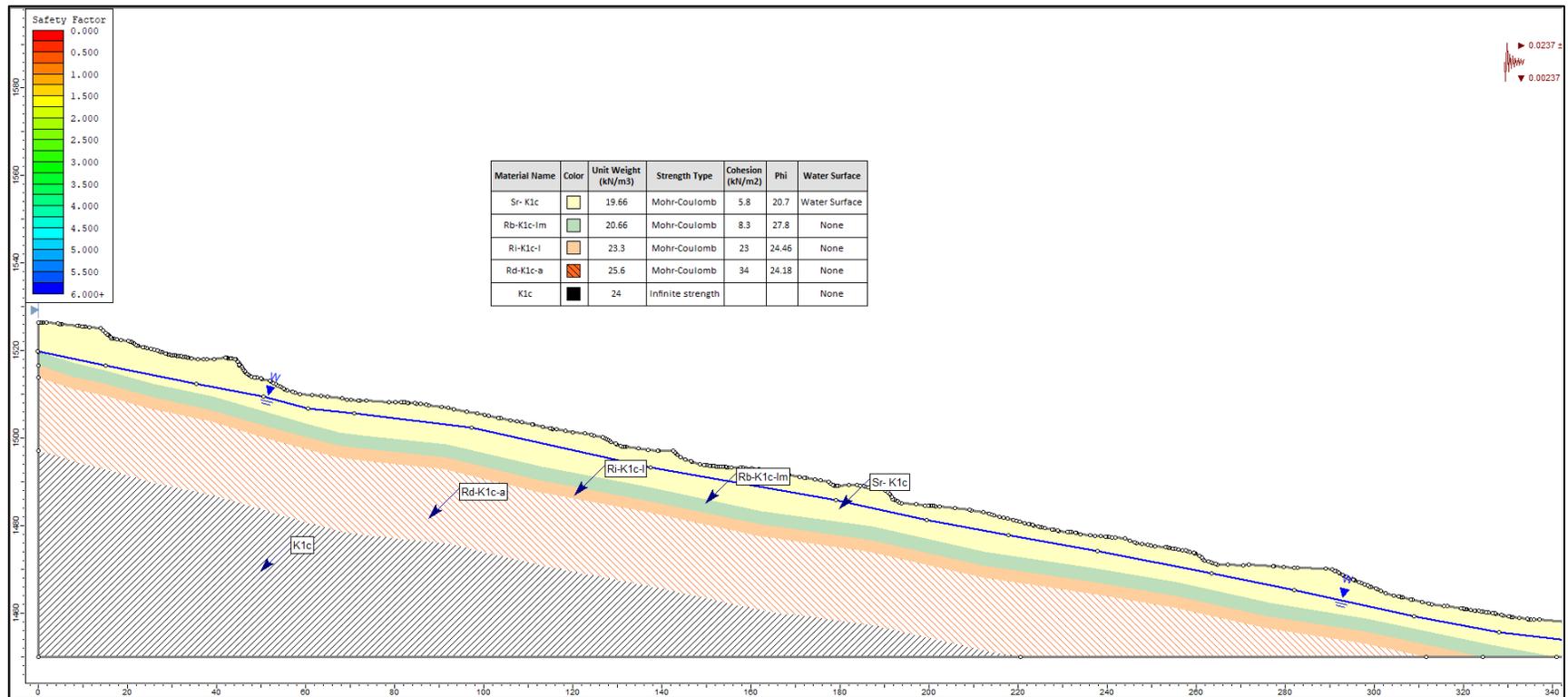


Ilustración 99 Perfil Geotécnico del área de estudio.
Fuente: Geocing SAS.

 CAM <small>Comisión de Aseguramiento de la Calidad</small> <i>Cuidado 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 NÁTAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
 GEOCING <small>Geociencias e Ingeniería</small>	INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA

11.2.6 Perfil geológico-geotécnico Nátaga

De acuerdo con los análisis de variabilidad de las propiedades geotécnicas de esta zona se define el perfil geotécnico representativo junto con sus parámetros que representan la tendencia media:

Tabla 65 Perfil Geotécnico del área de estudio.

Unidad Geológica	Profundidad (m)		Nf (m)	COMPRESIÓN INCONFINADA EN ROCA (Promedio)					CARGA PUNTUAL (Mpa)				PARÁMETROS EFECTIVOS				Parámetros RMR (Promedio)		Parámetros Hooke and Brown		Parámetros de Análisis	
				CORTE DIRECTO (Promedio)			A.J.G 1998		CORTE DIRECTO (Promedio)		A.J.G 1998											
				qu (kPa)	Cu (kPa)	γ (kN/m ³)	Is	σc (Mpa)	C' (kPa)	Φ' (°)	C' (kPa)	Φ' (°)	C' (kPa)	Φ' (°)	C' (kPa)	Φ' (°)	C' (kPa)	Φ' (°)				
Sr- K1c	0	5	3.3			19.86			12.75	19	0.2	26.05					5.8	20.7				
Rb- K1c-lm	5	10	3.3			20.66			9.0	22.5	3.8	29.9					8.3	27.8				
Ri- K1c-l	10	15	14	50.316	25.16	23.3	0.485	10.575			13	29	15	20	23	23.46	23	23.46				
Rd-K1c-a	10	16		430.05	215.03	25.6	1.165	24.965					25	30	34	24.18	34	24.18				

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

12 ANÁLISIS DE LA AMENAZA

12.1 AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

Los movimientos en masa son gravitacionales que generan la denudación de la corteza terrestre debido a la movilización de diferentes volúmenes de suelo y roca. Para Varnes (1978) y se clasifican de acuerdo con el tipo de movimiento y el material involucrado. En este sentido, los suelos y las rocas pueden experimentar caídas, volcamientos, deslizamientos, propagaciones laterales, flujos, reptación o complejos, que son una combinación uno dos o más de los movimientos anteriormente mencionados; la clasificación se presenta a continuación en la siguiente tabla, ver Tabla 66.

Tabla 66. Tipos de movimientos en masa, de acuerdo con Varnes (1978).

TIPO DE MOVIMIENTO			TIPO DE MATERIAL ASOCIADO		
			ROCA	SUELO DE INGENIERÍA	
				Predominante Grueso	Predominante Fino
CAIDAS			de Roca	de Detritos	de Tierra
VOLCAMIENTOS			Volc. de Roca	de Detritos	de Tierra
Deslizamientos	ROTACIONAL	Pocas Unidades	Hundimiento de roca	Hundimiento de Detritos	Hundimiento de Tierra
			Deslizamiento de bloques de Roca	Deslizamiento de bloques de detritos	Deslizamiento de bloques de tierra
	TRASLACIONAL	Muchas unidades	Deslizamiento de Roca	Deslizamiento de Detritos	Deslizamiento de Tierra
PROPAGACIÓN LATERAL			Roca	Detritos	Tierra
FLUJOS			Flujo de Roca (creep profundo)	de Detritos	de Tierra
REPTACIÓN (Creep) (áreas de gran extensión)			(creep profundo)	(creep de suelo)	
COMPUESTOS O MÚLTIPLES			Combinación de dos o más de los tipos anteriores		

Fuente: Geocing SAS.

Aunque muchos movimientos en masa tienen causas naturales, los movimientos pequeños son resultado de las actividades humanas y podrían haber sido prevenidos o sus daños minimizados. Por consiguiente, a pesar de que no se pueden controlar en su totalidad los factores que causan que el terreno sea susceptible a los movimientos en

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

masa, sí se podrían emplear planes o medidas que minimicen el riesgo por la ocurrencia de este tipo de eventos.

De acuerdo con González de Vallejo (1990), los niveles de amenaza por Movimientos en masa dependen de los materiales in-situ y de la energía potencial gravitatoria de las masas susceptibles en relación al lugar de interés. La susceptibilidad está controlada por factores intrínsecos (materiales, topografía, estado de esfuerzos, condiciones de drenaje, cobertura vegetal, etc.) mientras que las causas o eventos detonantes pueden considerarse externos (lluvias, sismos, excavaciones, socavación, obras, etc.). Por otra parte, la energía potencial está controlada tanto por propiedades internas (el índice de fragilidad, la deformabilidad, la resistencia residual y el volumen de la masa), como por propiedades externas (la altura de posición y la posible trayectoria desde el deslizamiento hasta el punto amenazado). La Tabla 67 presenta la influencia de los factores intrínsecos y detonantes sobre la estabilidad de materiales y laderas.

Tabla 67. Influencia de los diferentes factores.

Factores		Influencias y efectos
Intrínsecos	Relieve (pendiente, geometría)	Distribución del peso del terreno
	Litología (composición y textura)	Densidad, resistencia.
		Comportamiento hidrogeológico.
	Estructura geológica y estado tensional.	Resistencia, deformabilidad.
		Comportamiento discontinuo y anisotrópico.
		Zonas de debilidad.
	Propiedades geomecánicas de los materiales.	Comportamiento hidrogeológico. Generación de presiones de poros.
Deforestación	Modificación del balance hídrico. Erosión.	
Meteorización	Cambios físicos y químicos, erosión externa e interna, generación de zonas de debilidad.	
Detonantes	Precipitación y aportes de agua	Variación de las presiones de poros y del peso del terreno.
		Saturación de suelos
	Cambio en las condiciones hidrogeológicas.	Erosión
Aplicación de cargas dinámicas (sismos) o estáticas (sobrecargas).	Cambio en la distribución del peso de los materiales y en el estado de esfuerzos de la ladera.	
	Incremento de presiones de poros.	

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

Factores		Influencias y efectos
	Cambios morfológicos y de geometría de las laderas	Variación de las fuerzas debidas al peso. Cambio en el estado de esfuerzos.
	Erosión o socavación de la pata del talud.	Cambios geométricos en la ladera. Cambios en la distribución del peso de los materiales y en el estado de esfuerzos de la ladera.
	Acciones climáticas (heladas, sequías)	Cambio en el contenido de agua del terreno. Generación de grietas y planos de debilidad. Disminución de las propiedades resistentes.

Fuente: González de Vallejo, Ferrer, Ortuño & Otero (2002).

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

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 la inestabilidad en suelos que en cierta medida son vulnerables a esta clase de movimientos.

Los factores más importantes que pueden causar un deslizamiento pueden describirse así (Mora, 1990):

Obstrucción de corrientes, con la generación de represamientos y embalses de permanencia variable, capaces de producir avalanchas mayores al liberarse.

Entonces, dado los efectos del deslizamiento se debe evaluar la resistencia de los elementos expuestos (edificaciones, infraestructura, vidas humanas, etc.) ante las diferentes solicitudes que dependerán de la magnitud del movimiento como de la posición relativa ante el elemento expuesto. Una vez conocida tanto la probabilidad de ocurrencia del deslizamiento como las consecuencias de los diferentes elementos expuestos por el deslizamiento, se puede determinar el riesgo.

12.1.1 *Mapa de laderas*

La ladera es la unidad fundamental para el estudio de amenaza por movimientos en masa. La ladera es el declive de un monte, montaña o altura, cuya pendiente es el ángulo que forma con la horizontal, de manera que, cada ladera está caracterizada por una pendiente y una orientación característica.

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

La generación del plano de laderas se realizó a partir del estudio topográfico, Imagen 3D, Mapa de aspectos y Mapa de pendientes 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 perpendicular a las curvas de nivel y está enumerado con un ID único utilizando los insumos de Mapas de Aspecto, Pendientes y Ladera como se presenta en la Ilustración 100 a la Ilustración 103, se presentan los insumos para los respectivos análisis de amenaza por movimientos en masa.

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.

En el Anexo 6. Mapas GE426-NAT-PSIG-ARM-001-00 se encuentra el mapa resultado de 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 NÁTAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA

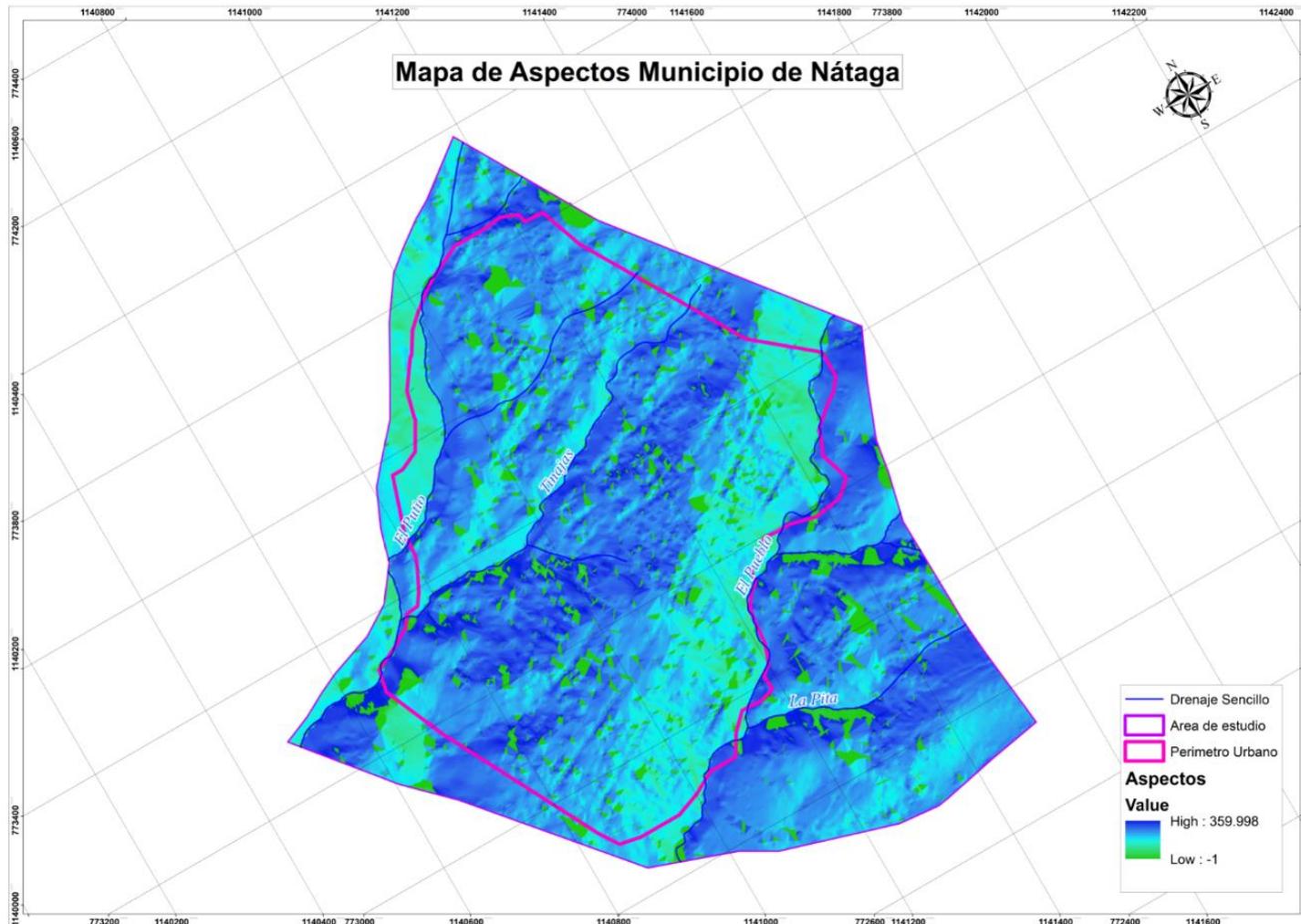


Ilustración 100. Mapa de aspecto generado para el casco urbano del municipio de Nátaga.

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 NÁTAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA

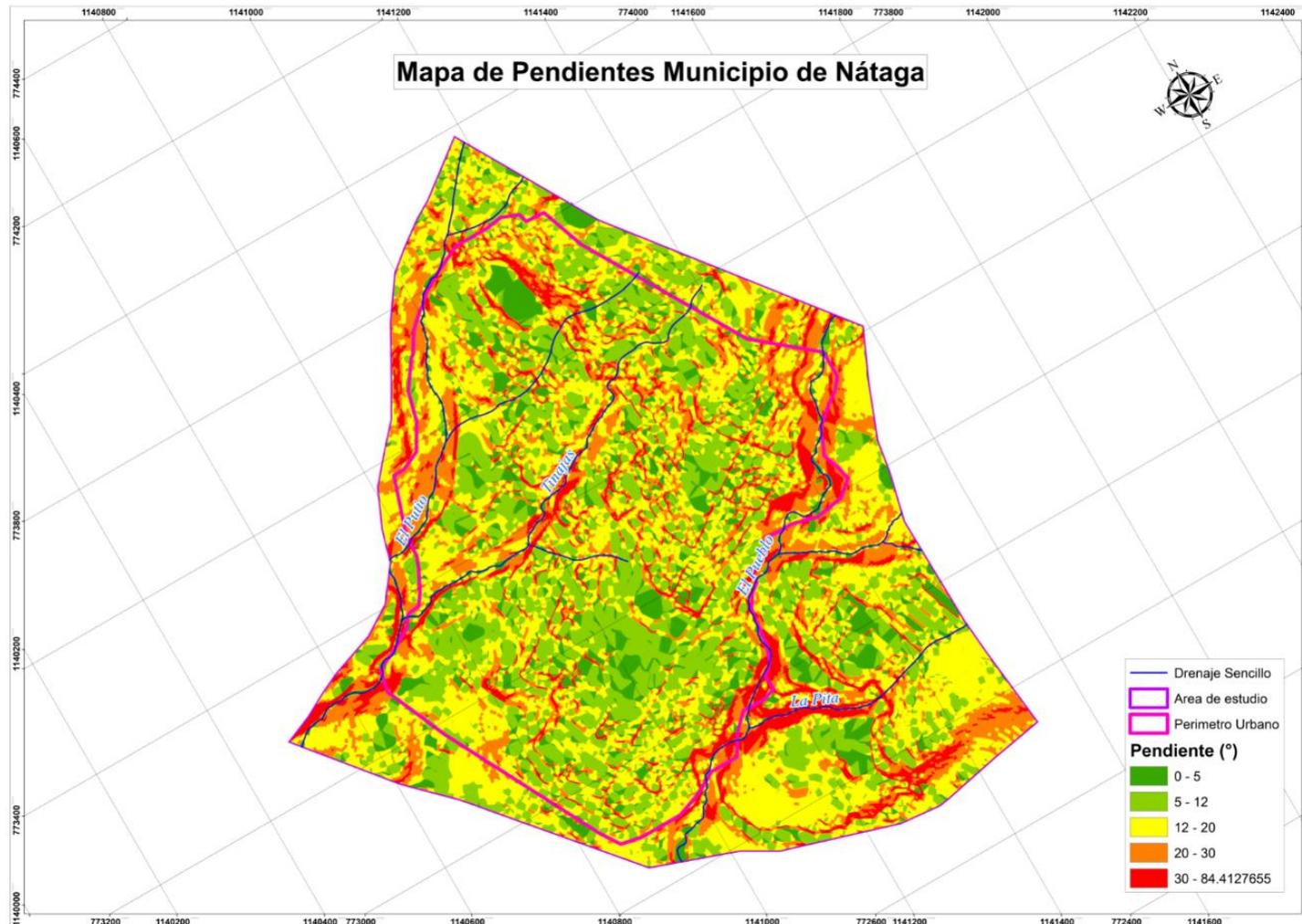


Ilustración 101. Mapa de pendientes casco urbano del municipio de Nátaga

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 NÁTAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA

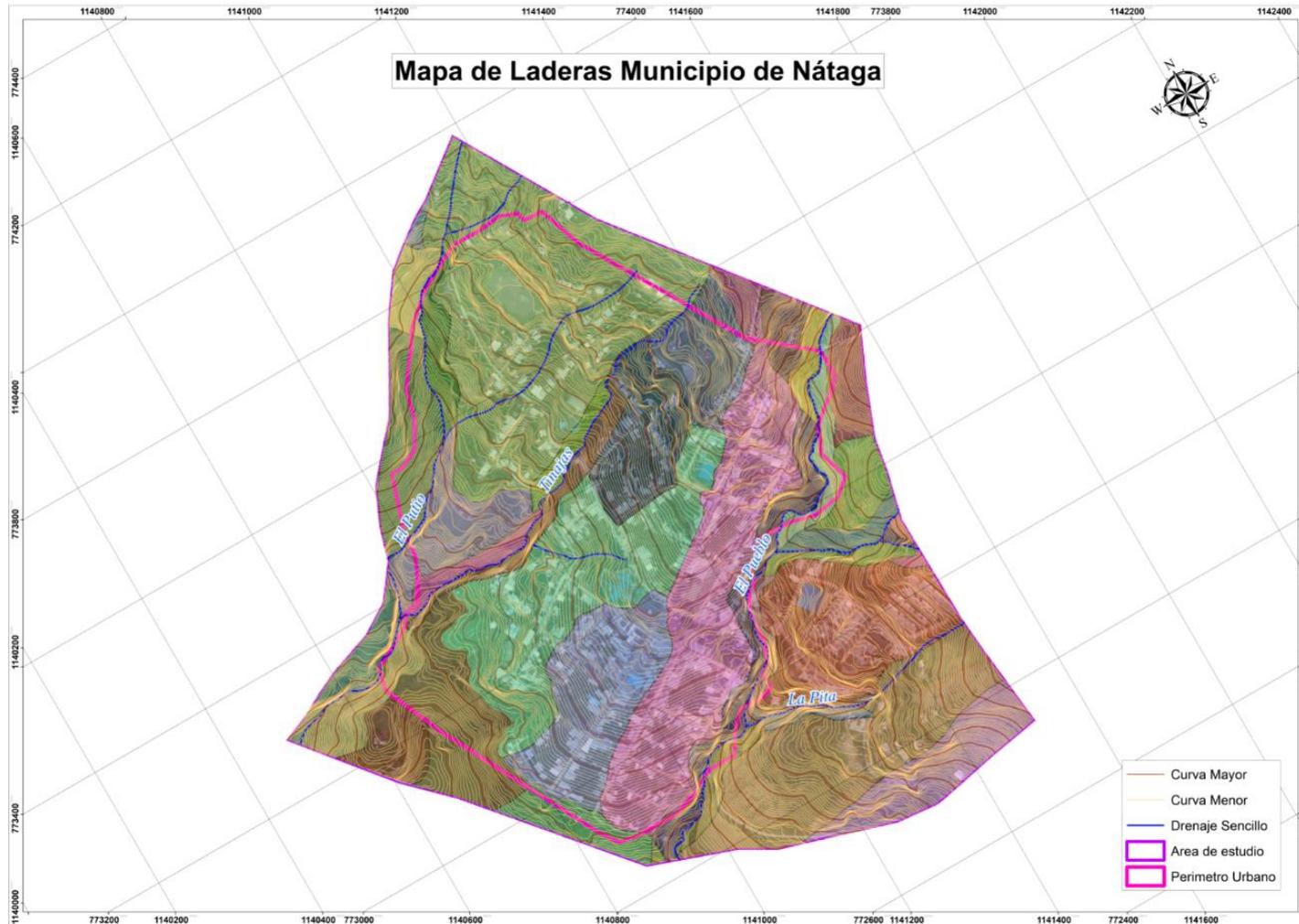


Ilustración 102. Mapa de Ladera municipio de Nátaga.

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 NÁTAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA

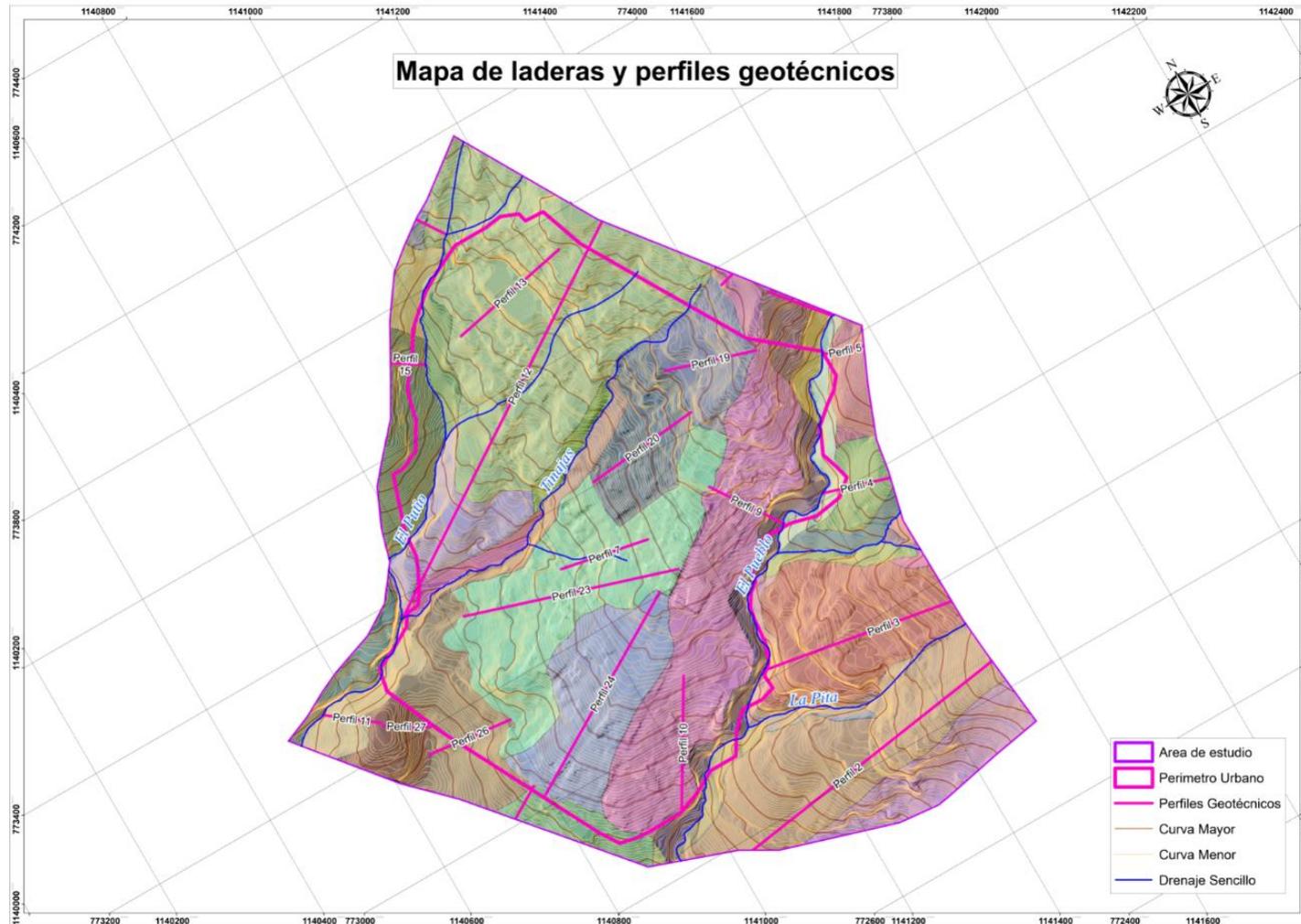


Ilustración 103. Perfiles típicos para los análisis de estabilidad, municipio de Nátaga.

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

De acuerdo a lo visualizado en la imagen 3D y con la información del mapa de ladera, se identifica un relieve montañoso en la parte este del municipio formado por rocas de la Formación Gigante, en el cual se logran identificar inestabilidad superficial tipo Reptación, los cuales están en algunos puntos controlar el avance de los mismos con la afectación producida por la infiltración de aguas subsuperficial y están afectando la estabilidad de los taludes de corte generados para la construcción de viviendas.

12.1.2 *Análisis de estabilidad de taludes*

El procedimiento general de análisis, el cual aplica para todas las secciones, corresponde con el siguiente:

- a. 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.

Para efectos del presente estudio, los análisis se realizaron mediante el método de Equilibrio límite cuya teoría establece que la rotura del terreno se produce a través de una línea que representa la superficie de falla, de manera que, la masa de suelo por encima de la línea se desplaza con respecto a la masa inferior y la estabilidad se puede evaluar como la relación entre las fuerzas y momentos actuantes y las fuerzas y momentos que se oponen al movimiento. Esta relación se denomina Factor de Seguridad (FS).

El análisis de equilibrio limite se puede realizar estudiando la totalidad de la longitud de la superficie de falla o dividiendo la masa deslizada en tajadas o dovelas, lo cual permite analizar geometrías complejas, superficies curvas, rectas, cuñas, condiciones variables del suelo y la influencia de cargas externas (Suarez, 2009).

Se tuvo en cuenta el método de análisis por dovelas de acuerdo con lo propuesto por Morgenstern-Price, 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.

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

La teoría de **Análisis de Equilibrio Límite** 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.

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 sollicitaciones 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...z, es decir:

$$f(FS) = f(a) * f(b) \dots * f(z)$$

$$FS = f(a, b \dots z)$$

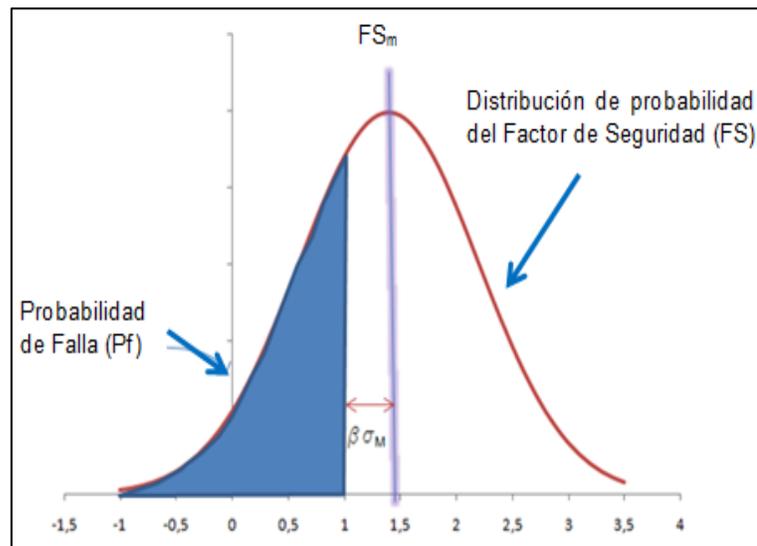


Ilustración 104 Distribución de probabilidad del Factor de Seguridad.
Fuente: Geocing SAS.

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...z) tal que f (a, b...z) es menor o igual a 1.0.

- FACTORES DETONANTES

A continuación, se relacionan los factores intrínsecos y detonantes en los análisis de estabilidad:

SISMO: El sismo es un factor detonante en cuanto a que la fuerza actuante aumenta en proporción a la aceleración sísmica y la fuerza resistente disminuye a causa de las presiones de poros inducidas por el sismo, lo que en consecuencia disminuye la estabilidad del talud expresada por el factor de seguridad (Hadj-Hamou & Kavazanjian, 1985).

Dentro de la sección se evaluó la amenaza sísmica de la zona de estudio de acuerdo a lo registrado por la NSR-10. El parámetro de la aceleración horizontal y su valor calculado para un periodo de retorno de 475 años se presenta en la Tabla 68. Por lo tanto, se va a considerar el coeficiente de aceleración horizontal (K_h) para que incluya las fuerzas pseudoestáticas horizontales producto de un evento sísmico, mientras que asume que las fuerzas verticales son iguales $10\%K_h$.

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

Tabla 68. 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 (mean value)	Aa (g)
	Tr = 475 años
0.0237	0.25

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:

Saturado: el nivel freático es igual a la altura o espesor del talud.

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.

Bajo: el nivel freático es igual a un cuarto de la altura o espesor del talud.

Seco: el nivel freático es igual a cero

12.1.3 Método Probabilístico De Análisis De Estabilidad De Taludes-Simulación de Montecarlo

La simulación Montecarlo asigna de forma aleatoria valores a cada variable independiente, los cuales se determinan a partir de la respectiva función de probabilidad. Cada conjunto de valores aleatorios se emplea para solucionar la ecuación que define el Factor de Seguridad. Este proceso se repite un número suficientemente grande (10.000 simulaciones = 10.000 análisis de estabilidad) para obtener la distribución de probabilidad del Factor de Seguridad.

Es importante trabajar con un buen número de simulaciones para lograr que los resultados sean válidos, el Factor de Seguridad (FS) converja hacia su verdadera distribución y el error de muestreo sea el menor posible. Para su implementación se deben realizar los siguientes pasos (Bravo Mendoza & Sánchez Celis, 2012):

1. Construcción del modelo en condiciones de certidumbre plena
2. Identificación de las variables
3. Definición de las distribuciones de probabilidad de las variables aleatorias
4. Realizar la simulación

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

5. Análisis de resultados

El primer paso y segundo paso se desarrollaron en el numeral anterior, donde se definieron las variables independientes. En estas etapas no se consideraron incertidumbres lo que también se conoce como el planteamiento del modelo en condiciones de certidumbre plena (Bravo Mendoza & Sánchez Celis, 2012). Una vez se han establecido las variables independientes, se incorpora la incertidumbre en la evaluación del modelo matemático. Esta inclusión se realiza con la definición de la distribución de probabilidad para cada variable estudiada, la cual describe de forma precisa el comportamiento de dichas variables (Bravo Mendoza & Sánchez Celis, 2012). Los análisis de estabilidad desarrollados con el Programa Slide V6 son de tipo Global mínimo, es decir que, el análisis probabilístico se hizo sobre la superficie de falla mínima global, localizada mediante al análisis determinista de estabilidad de taludes.

Para cada talud analizado, los resultados del análisis probabilístico son la probabilidad de falla (P_f), el Factor de Seguridad medio (FS_m) y el índice de confiabilidad (IC). La probabilidad de falla (P_f) se define como la relación entre el número de análisis de estabilidad con Factor de Seguridad menor que uno ($FS < 1$) y el número total de análisis realizados, como se observa en la siguiente ecuación:

$$P_f = \frac{\text{Número de análisis } FS < 1}{\text{número total de análisis realizados}} * 100\%$$

El Factor de Seguridad medio (FS_m) es el promedio de todos los Factores de Seguridad calculados para la superficie de falla mínima global. En general, el Factor de Seguridad medio debe ser cercano al Factor de Seguridad determinístico y para un gran número de análisis de estabilidad, los dos valores deben ser casi iguales (Rocscience, 2010).

El índice de confiabilidad (RI – Realibility Index) es un indicador del número de desviaciones estándar que separa el Factor de Seguridad medio (FS_m) del Factor de Seguridad crítico ($FS_c = 1$).

Un talud estable debe tener un índice de confiabilidad mayor o igual a tres ($RI \geq 3$). Por otra parte, un índice de confiabilidad igual a cero ($RI = 0$) indica que el Factor de Seguridad medio es igual a 1 y un índice de confiabilidad negativo significa que el Factor de Seguridad medio es menor que 1.

El Programa Slide V6, puede calcular el índice de confiabilidad asumiendo una distribución normal o log-normal de los resultados del Factor de Seguridad. Si se asume que los Factores de Seguridad están distribuidos normalmente, el índice de confiabilidad se calcula con la siguiente ecuación:

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

$$RI = \frac{\mu_{FS} - 1}{\sigma_{FS}}$$

Donde μ_{FS} es el Factor de Seguridad medio o media de la distribución normal y σ_{FS} es la desviación estándar del Factor de Seguridad. Por otra parte, si el Factor de Seguridad está mejor ajustado a una distribución log-normal, entonces el Programa de computador emplea la siguiente Ecuación para calcular el índice de confiabilidad:

$$RI = \frac{\mu_{FS}}{\frac{1 + V^2}{\ln(1 + V^2)}}$$

Donde V es el coeficiente de variación del Factor de Seguridad, definido como la relación entre la desviación estándar y el Factor de Seguridad medio (σ_{FS}/μ_{FS}).

12.1.4 Definición de las distribuciones de probabilidad de las variables Independientes

Los factores intrínsecos del terreno incluyen la geometría del talud, los parámetros de resistencia y el peso unitario de los materiales existentes. Por otra parte, los factores detonantes incluyen la variación del nivel freático en el suelo y las sollicitaciones sísmicas, en términos de coeficientes de aceleración pseudoestáticas.

Algunas de estas variables pueden tomar valores aleatorios que dependen de una función de probabilidad específica, mientras otras se pueden considerar como valores constantes. A continuación, se definen las variables independientes que determinan el cálculo del Factor de Seguridad.

- Altura o espesor de la masa deslizante (h) y ángulo de inclinación con la horizontal (β)

La geometría del terreno, en términos de la altura, pendiente y curvatura superficial, es una variable dada por el modelo de elevación digital. Por otra parte, la geometría del subsuelo, específicamente el espesor de las unidades geológicas que conforman el área de estudio fue determinado a partir de los resultados de la campaña de exploración del subsuelo y el reconocimiento en campo de las condiciones geológicas y geomorfológicas que caracterizan el área de estudio.

- Altura del Nivel freático z_w (m)

En los análisis de estabilidad se consideró que la altura del nivel freático sigue una distribución de probabilidad constante; sin embargo, con el objetivo de simular diferentes escenarios de amenaza y observar el impacto de la variación del nivel

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

freático sobre la estabilidad, se construyeron cinco escenarios de variación del nivel de agua, es decir, cinco niveles de agua, que van desde condiciones saturadas (escenario 1) hasta condiciones secas (escenario 5):

Tabla 69. Escenarios de variación del nivel freático.

Escenario	Nombre	Desviación
1	Saturado	σ_1
2	Alto	σ_2
3	Medio	σ_3
4	Bajo	σ_4
5	Seco	σ_5

Fuente: Geocing SAS.

- Parámetros de resistencia

De acuerdo con los análisis de variabilidad de las propiedades geotécnicas de esta zona se define el perfil geotécnico representativo junto con sus parámetros que representan la tendencia media:

Tabla 70 Perfil Geotécnico del área de estudio.

Unidad Geológica	COMPRESIÓN INCONFINADA EN ROCA (Promedio)					CARGA PUNTUAL (Mpa)				PARÁMETROS EFECTIVOS				Parámetros RMR (Promedio)		Parámetros Hooke and Brown		Parámetros de Análisis			
	CORTE DIRECTO (Promedio)			A.J.G 1998		Corte Directo		A.J.G 1998		C'		Φ'		C'		Φ'		C'		Φ'	
	qu (kPa)	Cu (kPa)	Y (kN/m ³)	Is	σc (Mpa)	C' (kPa)	Φ' (°)	C' (kPa)	Φ' (°)	C' (kPa)	Φ' (°)	C' (kPa)	Φ' (°)	C' (kPa)	Φ' (°)	C' (kPa)	Φ' (°)	C' (kPa)	Φ' (°)		
Sr- K1c			19.86			12.75	19	0.2	26.05							5.8	20.7				
Rb- K1c-lm			20.66			9.0	22.5	3.8	29.9							8.3	27.8				
Ri- K1c-l	50.316	25.16	23.3	0.485	10.575			13	29	15	20	23	23.46	23	23.46						
Rd-K1c-a	430.05	215.03	25.6	1.165	24.965					25	30	34	24.18	34	24.18						

Fuente: Geocing SAS.

En el caso del ensayo corte directo, los valores de σ'_v (esfuerzo vertical efectivo) y (esfuerzo cortante) se tomaron directamente de los resultados de laboratorio. La Tabla 71 y la presentan los pesos unitarios y los parámetros de resistencia definidos para cada una de las unidades de suelo y roca identificadas en el área de estudio.

Tabla 71. Parámetros de resistencia asignados a las unidades de suelo.

#	Material Name	Property	Distribution	Mean	Std. Dev.	Rel. Min	Rel. Max
1	Sr- K1c	Cohesión	Normal	5.8	2	0	6
2	Sr- K1c	Phi	Normal	20.7	2	6	6
3	Rb-K1c-lm	Phi	Normal	27.8	2	6	6
4	Rb-K1c-lm	Cohesión	Normal	8.3	1	3	3
5	Ri-K1c-l	Cohesión	Normal	23	2	6	6

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

#	Material Name	Property	Distribution	Mean	Std. Dev.	Rel. Min	Rel. Max
6	Ri-K1c-l	Phi	Normal	24.46	2	6	6
7	Rd-K1c-a	Phi	Normal	24.18	2	6	6
8	Rd-K1c-a	Cohesión	Normal	34	2	6	6
9	Sade	Cohesión	Normal	1	1	0	3
10	Sade	Phi	Normal	32	3	9	9
11	Stir	Phi	Normal	32	2	6	6
12	Stir	Cohesión	Normal	1	2	0	6
13	Sftar	Phi	Normal	28	1	3	3
14	Sftar	Cohesión	Normal	1	1	0	3
15	Deslizamiento	Cohesión	Normal	2.8	2	0	6
16	Deslizamiento	Phi	Normal	20.7	2	6	6

Fuente: Geocing SAS.

12.1.5 *Análisis de amenaza por movimientos en masa*

Para el análisis de amenaza por movimientos en masa, previamente se realizó la identificación de zonas geotécnicas homogéneas, considerando aspectos fundamentales de la zona de estudio como: la geología, la geomorfología, las propiedades físicas y mecánicas de los materiales, y los procesos morfodinámicos existentes. Esta zonificación también consideró la orientación, longitud e inclinación de las laderas que conforman el casco urbano y de las laderas adyacentes que pueden presentar inestabilidad y afectar directamente el área de estudio.

Para cada perfil se planteó un modelo - geológico geotécnico, teniendo en cuenta los resultados de investigación del subsuelo, las observaciones de campo, las conclusiones del estudio de geología de detalle y los parámetros de resistencia calculados. Los análisis de estabilidad para cada uno de los perfiles definidos se realizaron para los cinco escenarios de agua establecidos. La Tabla 72 presenta las probabilidades de ocurrencia para los cinco escenarios de variación del nivel freático.

Tabla 72. Probabilidad de los escenarios de análisis.

Escenario	Nombre	Probabilidad variación nivel freático	Desviación Estándar
1	Saturado	5%	σ_1
2	Alto	15%	σ_2
3	Medio	30%	σ_3
4	Bajo	25%	σ_4
5	Seco	25%	σ_5
		100%	

Fuente: Geocing SAS.

En la Tabla 72, los valores σ_1 a σ_5 se refieren a la desviación estándar del Factor de Seguridad medio obtenido del análisis de estabilidad probabilístico hecho con el

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

Software Slide V.6 de Rocscience. Una vez se realizados los análisis de estabilidad, para cada escenario planteado se obtuvo una sectorización del Factor de Seguridad a lo largo de cada perfil representativo, de manera que, para cada abscisa se obtuvo una probabilidad de falla que depende de las distribuciones de probabilidad de los factores intrínsecos y los factores detonantes previamente definidos. A su vez, la probabilidad de falla total en cada abscisa (P_f) es una combinación de las probabilidades de falla calculadas en cada escenario, como se expresa a continuación:

$$P_f = P_{f1} * P_{n1} + P_{f2} * P_{n2} + \dots + P_{f5} * P_{n5}$$

Dónde:

- $P_{f1} \dots P_{f5}$ Probabilidad de falla del talud en los escenarios 1 a 5.
- $P_{n1} \dots P_{n5}$ Probabilidad de variación del nivel freático en los escenarios 1 a 5.
- $\sigma_1 \dots \sigma_5$ Desviación estándar del Factor de Seguridad medio, para los escenarios 1 a 5.

12.1.6 Categorización de la Amenaza

Realizados los análisis de estabilidad y obtenida la probabilidad de falla total para las abscisas de cada perfil representativo, se dibujó el mapa de amenaza por movimientos en masa de acuerdo con la categorización que se presenta en la Tabla 73. La generación del mapa se realizó uniendo zonas de amenaza de igual categoría, teniendo en cuenta la topografía de la zona, la geología, los procesos morfodinámicos existentes, las observaciones de campo, las distancias de viaje y las zonas de transición que deben existir entre cada una de las categorías, de acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes.

Tabla 73. Categorización propuesta para la amenaza por movimientos en masa.

Categoría	Probabilidad	Rango de Frecuencia (1/año)	Probabilidad de falla anual del proceso $P(Dz)_t$	Significado
Amenaza	Relativa			
Alta	Casi Seguro	>1/20	>5%	El movimiento en masa puede ser inminente, con un período de retorno menor a 20 años.
(A)	Probable	1/100 – 1/20	1% - 5%	Debe esperarse que ocurra un movimiento en masa dentro del tiempo de vida de una persona (períodos de retorno entre 20 y 100 años).
Media				
(M)	Posible	1/225 - 1/100	0.44% - 1%	La ocurrencia de un movimiento en masa durante el término de un tiempo de vida es poco probable, pero es posible que ocurra bajo condiciones adversas. Su probabilidad de ocurrencia acumulada de 20% en un período de diseño de 50 años, según la NSR-2010.

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

Categoría	Probabilidad	Rango de Frecuencia (1/año)	Probabilidad de falla anual del proceso $P(Dz)_1$	Significado
Amenaza	Relativa			
	Raro	1/475 – 1/225	0.21% - 0.44%	El evento puede ocurrir siempre y cuando se presenten condiciones muy adversas. La probabilidad de ocurrencia acumulada del evento está entre el 10% y el 20% en un período de diseño de 50 años.
Baja	Improbable	<1/475	<0.21%	El evento puede ser concebible pero únicamente bajo circunstancias excepcionales. Límite de probabilidad de excedencia del sismo de diseño para edificaciones según la NSR-2010. La probabilidad de ocurrencia acumulada del evento es menor al 10% en un período de diseño de 50 años.
(B)				

Fuente: Geocing SAS.

12.1.7 *Resultados de los Análisis de Estabilidad.*

Este numeral presenta los resultados de los análisis de estabilidad, las probabilidades de falla y la categorización de amenaza para los perfiles representativos definidos, de forma ilustrativa, se hace énfasis en los cálculos desarrollados para el perfil P23, pero los procedimientos aquí explicados son similares para los demás perfiles evaluados y pueden consultarse en el Anexo 4. Amenaza. La Ilustración 105 muestra el modelo geológico-geotécnico planteado para el análisis del perfil P23.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA

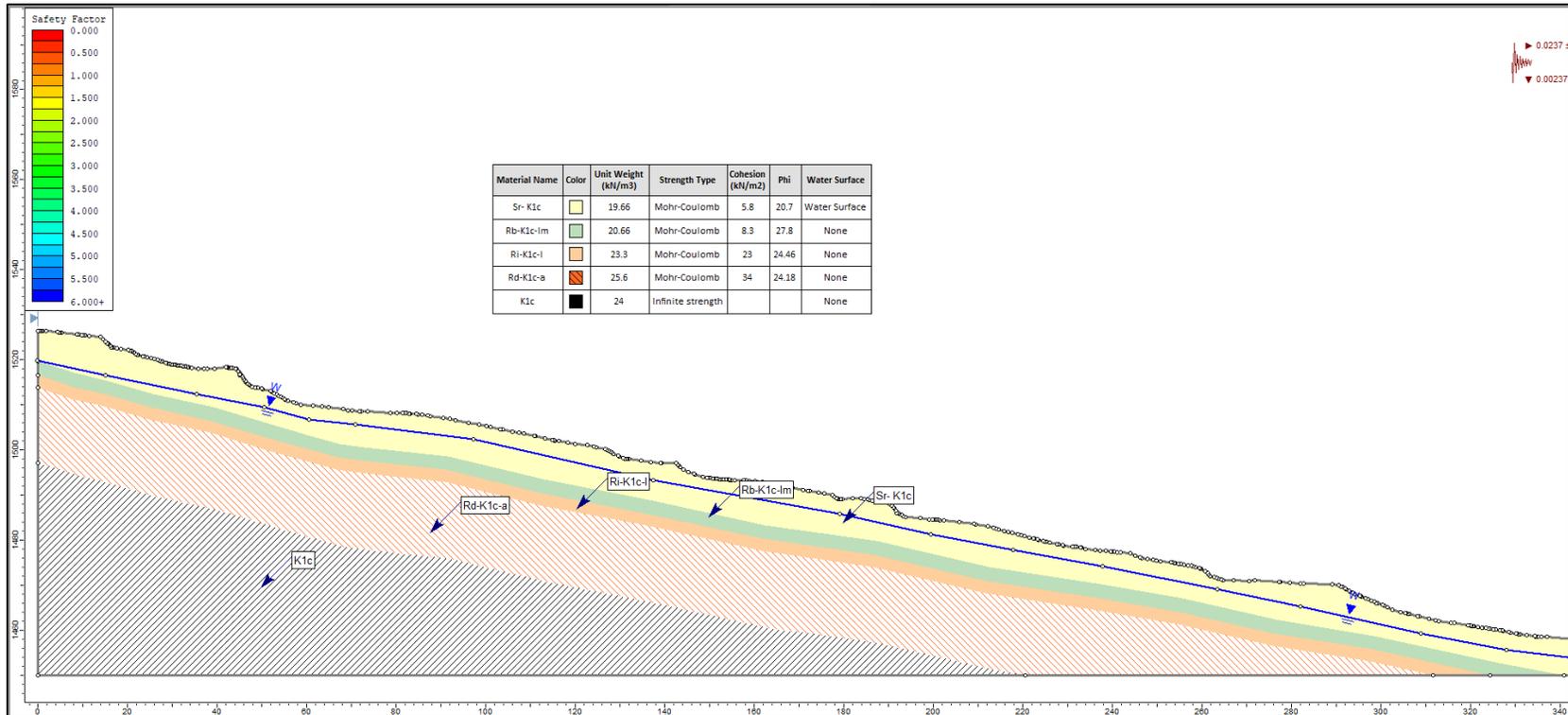


Ilustración 105. Modelo geológico – geotécnico para el perfil representativo P23.

Fuente: Geocing SAS.

De la Ilustración 106 a la Ilustración 110 se presentan los resultados del análisis de estabilidad probabilístico para los cinco escenarios planteados, en ellas se observa, el Factor de Seguridad (FS) calculado, la probabilidad de falla (Pf) y el índice de confiabilidad (RI).



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA

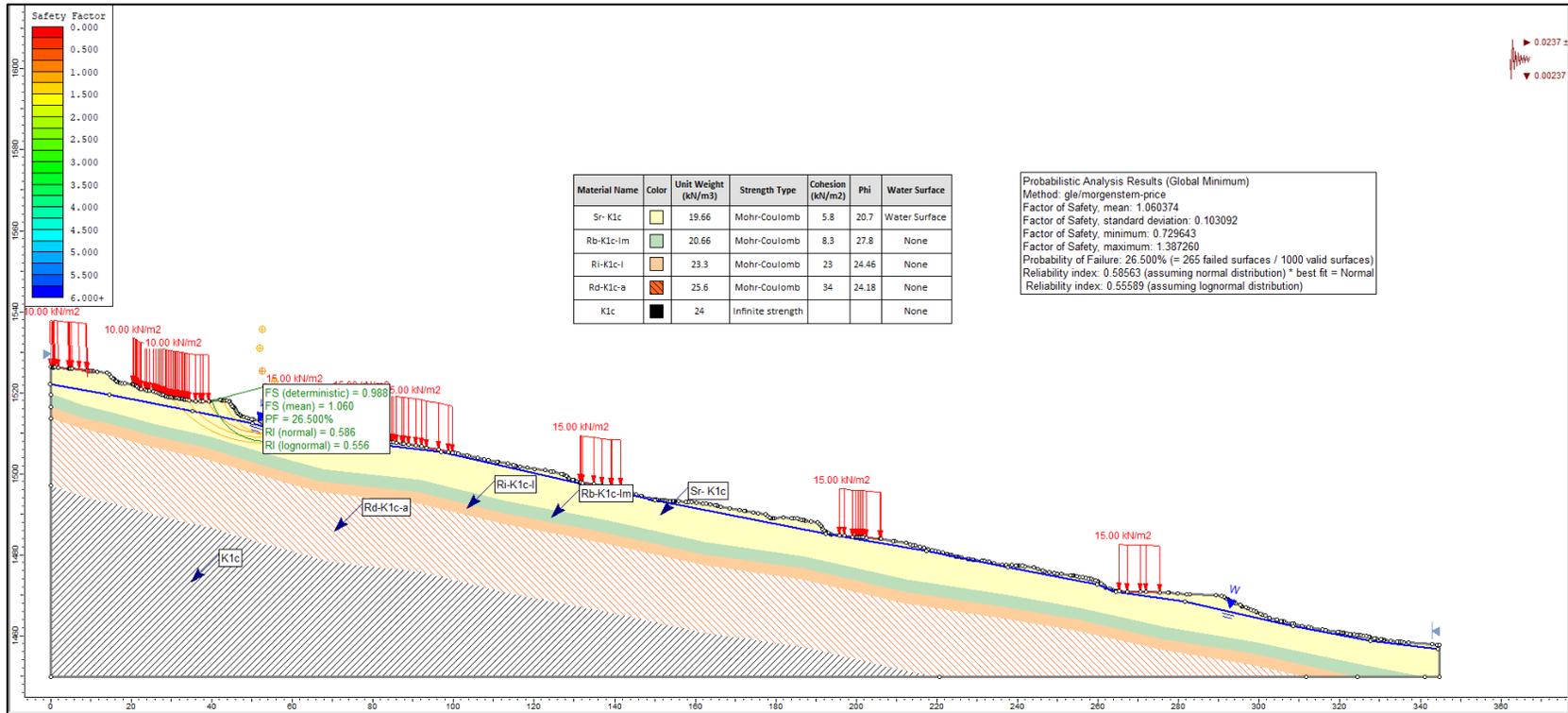


Ilustración 106. Análisis de estabilidad para el perfil representativo P23. Escenario 1.
 Fuente: Geocing SAS.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA

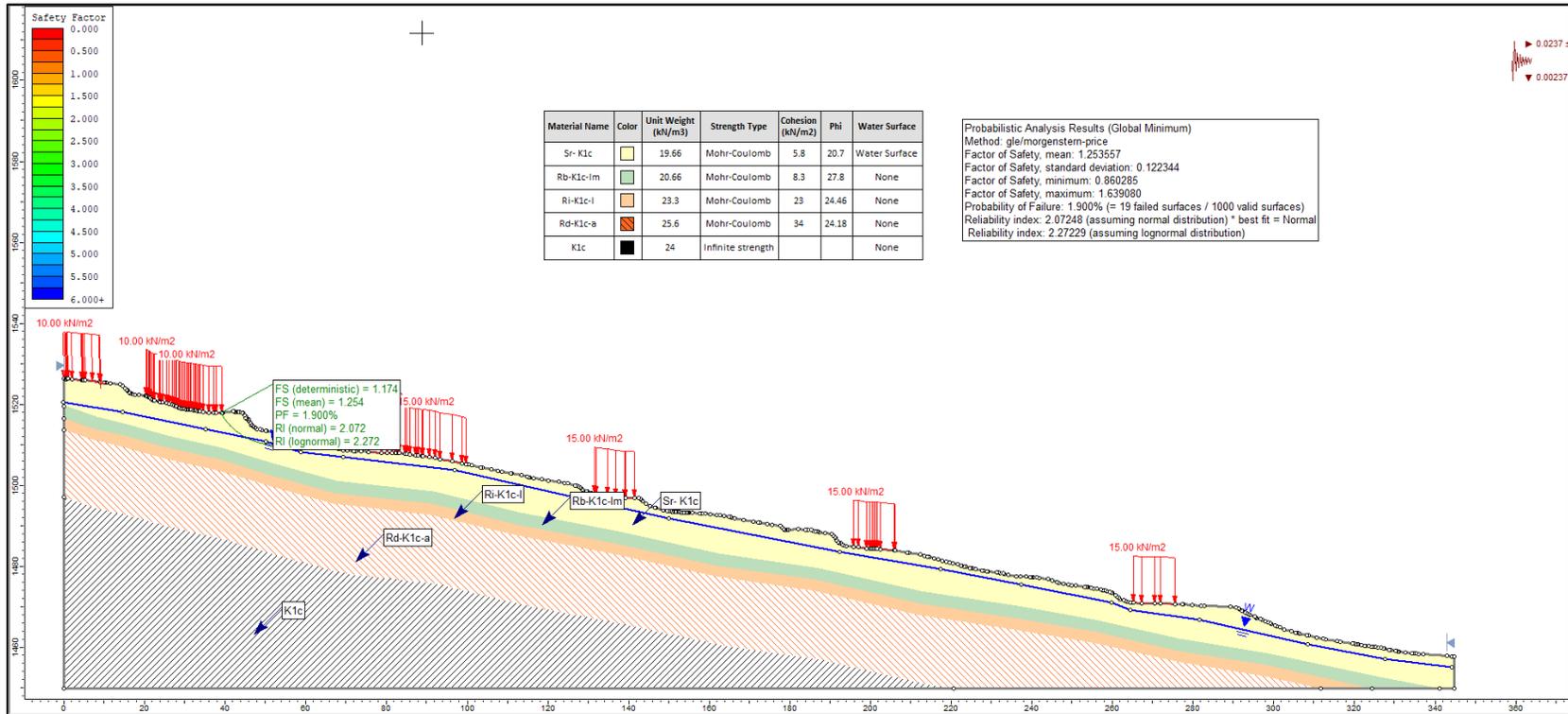


Ilustración 107. Análisis de estabilidad para el perfil representativo P23. Escenario 2.

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 NÁTAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA

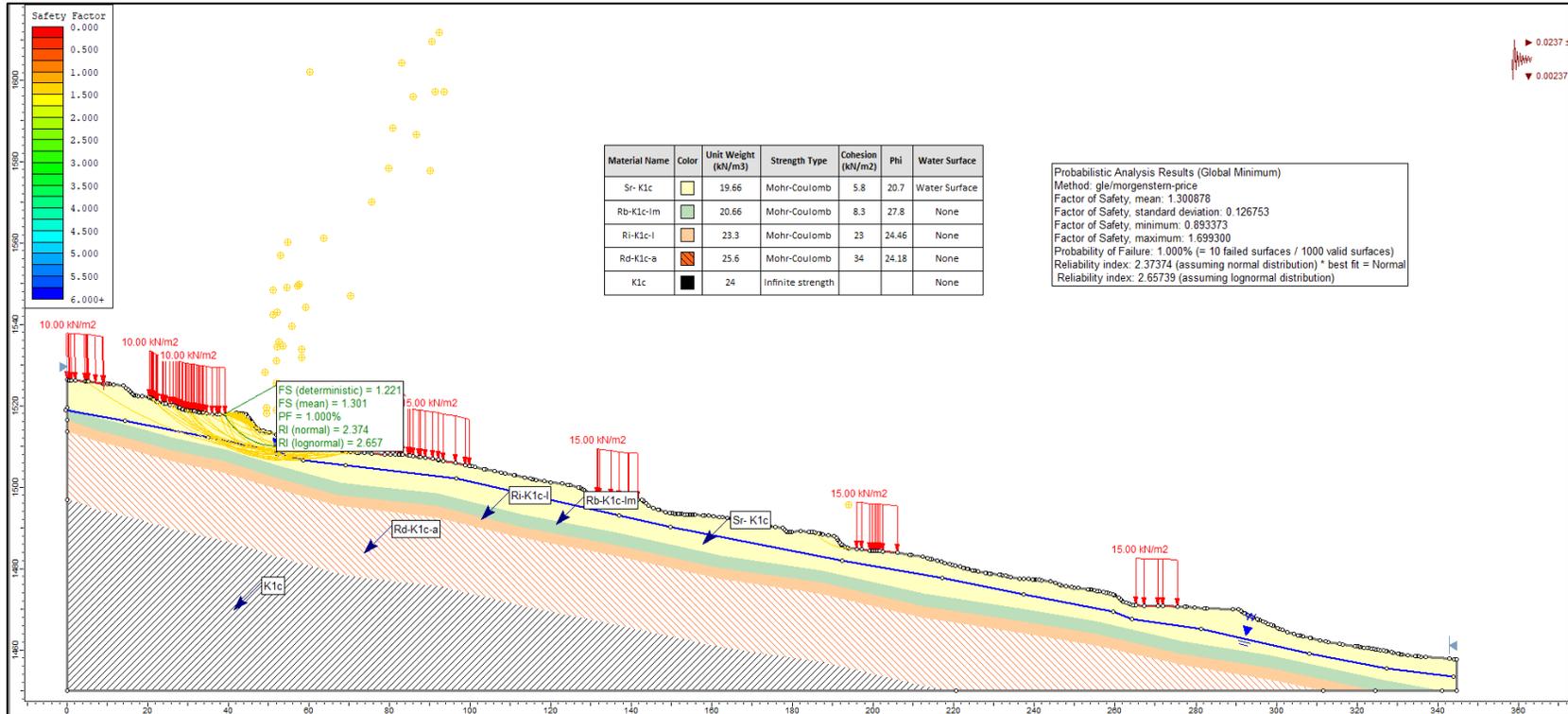


Ilustración 108. Análisis de estabilidad para el perfil representativo P23. Escenario 3.
Fuente: Geocing SAS.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA

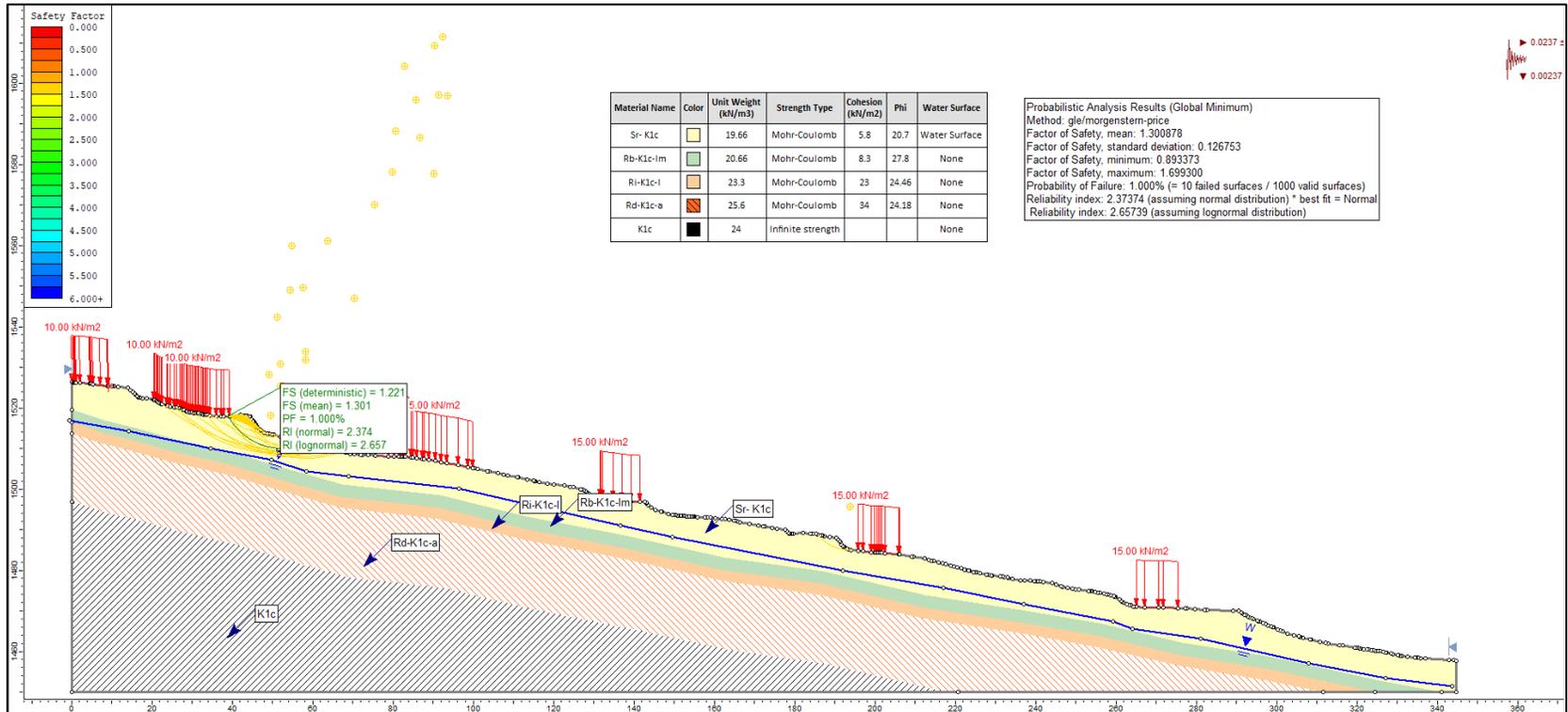


Ilustración 109. Análisis de estabilidad para el perfil representativo P23. Escenario 4.
 Fuente: Geocing SAS.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA

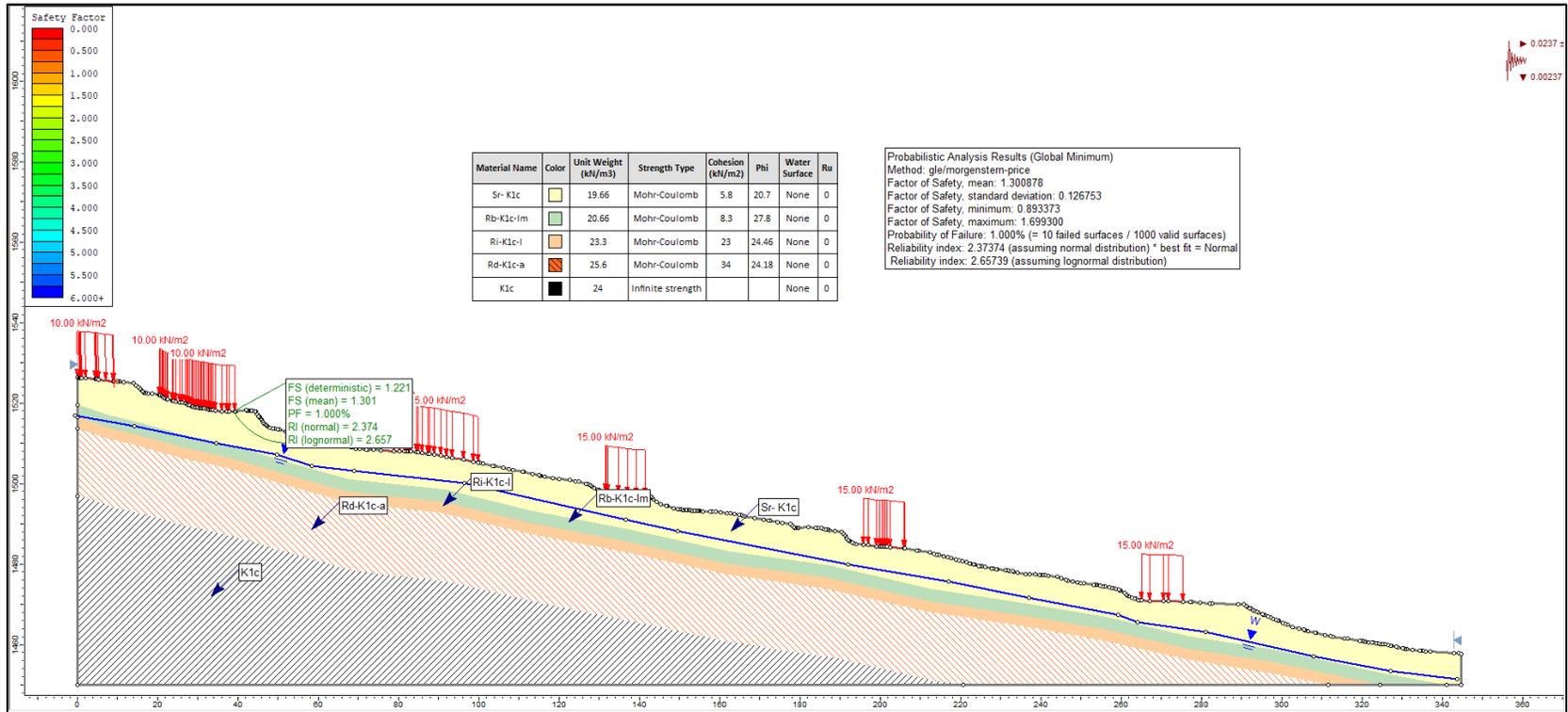


Ilustración 110. Análisis de estabilidad para el perfil representativo P23. Escenario 5.
 Fuente: Geocing SAS.

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

Como se mencionó al inicio de este numeral, para cada abscisa se obtuvo una probabilidad de falla que depende de las distribuciones de probabilidad de los factores intrínsecos y los factores detonantes previamente definidos. A su vez, la probabilidad de falla total en cada abscisa (P_f) es una combinación de las probabilidades de falla calculadas en cada escenario. De la Ilustración 111 a la Ilustración 114 se presentan los Factores de Seguridad obtenidos a lo largo del perfil P10, para cada uno de los cinco escenarios estudiados.

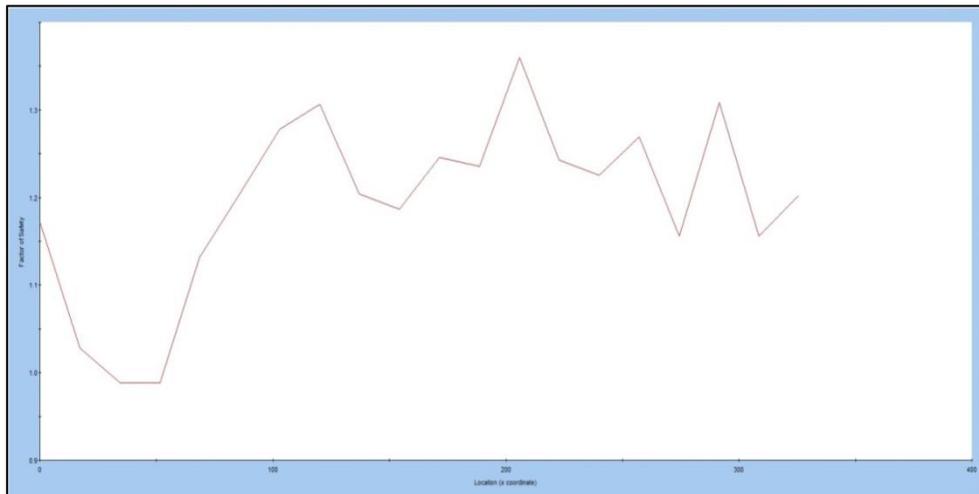


Ilustración 111. Factor de Seguridad del perfil representativo P23. Escenario 1.
Fuente: Geocing SAS.

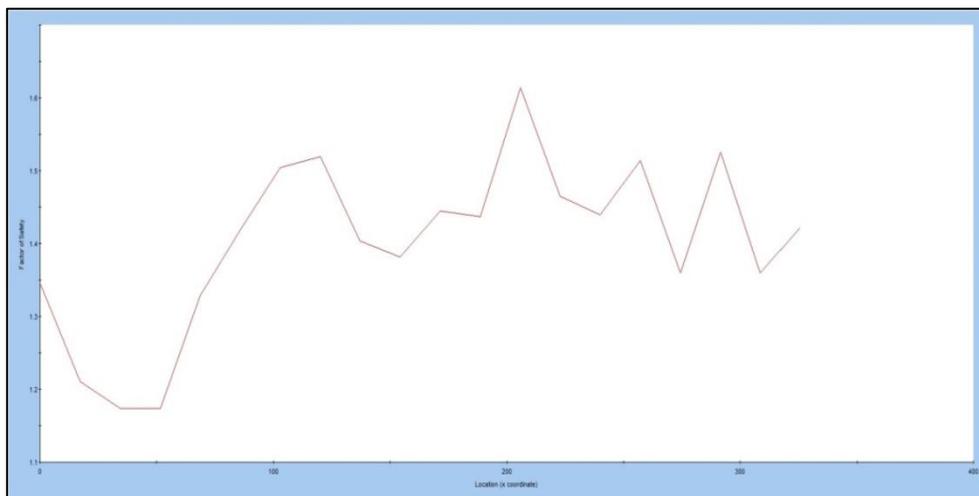
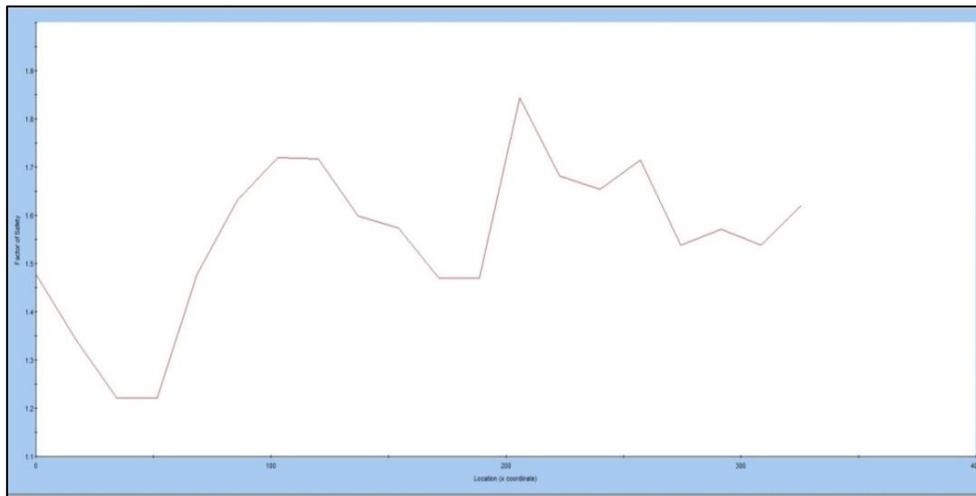
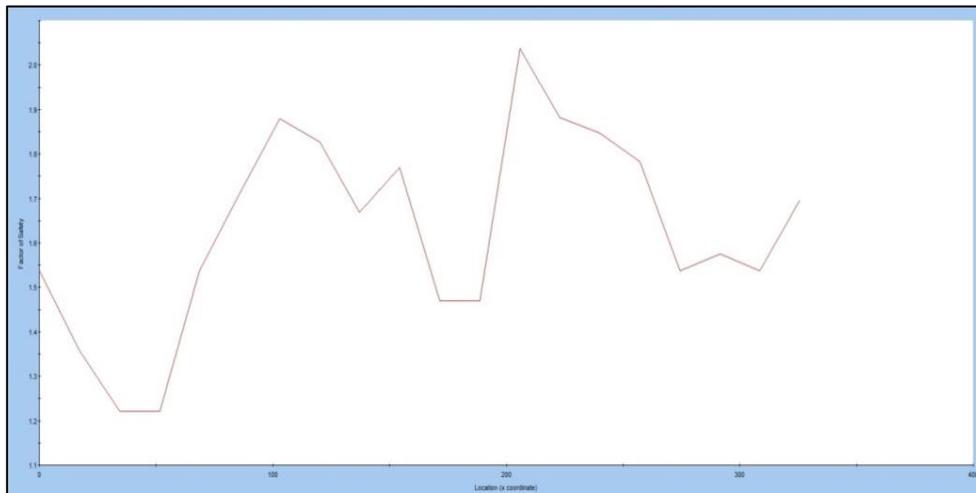


Ilustración 112. Factor de Seguridad del perfil representativo P23. Escenario 2.
Fuente: Geocing SAS.



**Ilustración 113. Factor de Seguridad del perfil representativo P23. Escenario 3.
Fuente: Geocing SAS.**



**Ilustración 114. Factor de Seguridad del perfil representativo P23. Escenario 4.
Fuente: Geocing SAS.**

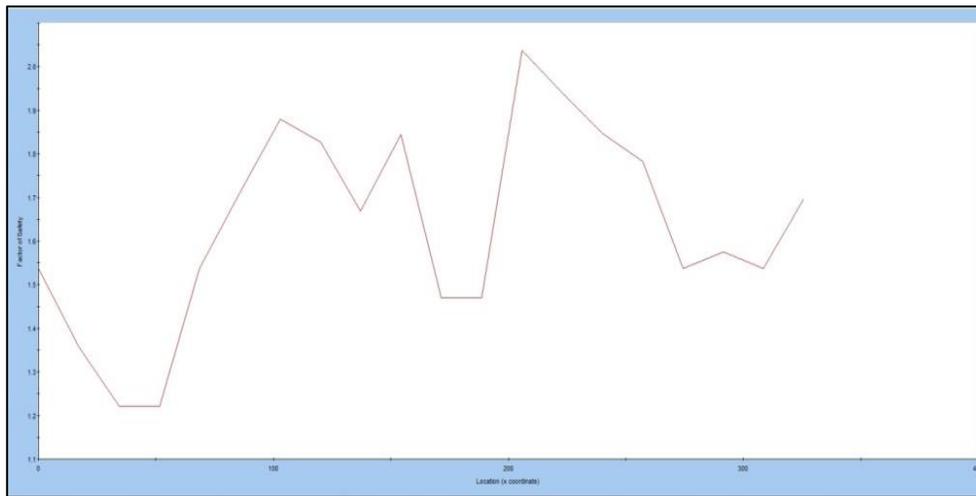


Ilustración 115. Factor de Seguridad del perfil representativo P23. Escenario 5.
Fuente: Geocing SAS.

La Tabla 74 muestra las probabilidades de falla calculadas para las abscisas del perfil P23, para los cinco escenarios planteados y la Tabla 75 presenta la probabilidad de falla total calculada para cada abscisa.

Tabla 74. Probabilidad de falla para las abscisas del perfil representativo P23.

	ESCENARIO 1		ESCENARIO 2		ESCENARIO 3		ESCENARIO 4		ESCENARIO 5	
	Abscisa	FS								
1	0	1.4	0.2	1.4	0	1.9	0.3	1.9	0.1	1.9
2	18.1	1.2	18.3	1.3	18.1	1.9	18.4	1.6	18.3	1.6
3	36.3	1.1	36.5	1.2	36.3	1.6	36.6	1.3	36.4	1.3
4	54.4	1.1	54.6	1.2	54.4	1.4	54.8	1.4	54.6	1.4
5	72.6	1.4	72.8	1.4	72.6	1.4	72.9	2	72.7	1.9
6	90.7	1.5	90.9	1.6	90.7	2	91.1	2.3	90.9	2.3
7	108.8	1.7	109	1.7	108.8	2.3	109.2	2.5	109	2.5
8	127	1.7	127.2	1.7	127	2.4	127.4	2.4	127.2	2.3
9	145.1	1.5	145.3	1.5	145.1	2.3	145.5	2.2	145.3	2.3
10	163.3	1.5	163.5	1.5	163.3	2.1	163.7	2.1	163.5	2.1
11	181.4	1.6	181.6	1.6	181.4	2	181.9	1.8	181.6	1.8
12	199.5	1.7	199.7	1.7	199.5	1.9	200	2.5	199.8	2.4
13	217.7	1.7	217.9	1.7	217.7	2.4	218.2	2.7	217.9	2.7
14	235.8	1.6	236	1.6	235.8	2.5	236.3	2.5	236.1	2.5
15	254	1.6	254.2	1.7	254	2.3	254.5	2.4	254.2	2.4
16	272.1	1.4	272.3	1.5	272.1	2.4	272.6	2	272.4	2
17	290.3	1.7	290.5	1.7	290.3	2.1	290.8	2	290.5	1.9
18	308.4	1.4	308.6	1.5	308.4	2.1	309	1.9	308.7	1.9
19	326.5	1.5	326.7	1.5	326.5	2	327.1	2.2	326.8	2.1
20	344.7	1.5	344.7	1.5	344.7	2.2	344.7	2.2	344.7	2.1

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

Tabla 75. Probabilidad de falla total para las abscisas del perfil representativo P23.

PROBABILIDAD DE FALLA TOTAL					
Abscisa	Probabilidad de falla total	Abscisa	Probabilidad de falla total	Abscisa	Probabilidad de falla total
0	0.40%	117.19	0.00%	234.38	0.00%
3.45	0.20%	120.64	0.00%	237.82	0.00%
6.89	0.10%	124.08	0.00%	241.27	0.00%
10.34	0.00%	127.53	0.00%	244.72	0.00%
13.79	0.00%	130.98	0.00%	248.16	0.00%
17.23	0.00%	134.42	0.00%	251.61	0.00%
20.68	1.60%	137.87	0.00%	255.06	0.00%
24.13	1.20%	141.32	0.00%	258.5	0.00%
27.57	0.90%	144.76	0.00%	261.95	0.00%
31.02	0.70%	148.21	0.00%	265.4	0.00%
34.47	0.50%	151.66	0.00%	268.84	0.00%
37.91	1.10%	155.1	0.00%	272.29	0.00%
41.36	1.30%	158.55	0.00%	275.74	0.00%
44.81	1.40%	162	0.00%	279.18	0.00%
48.25	1.60%	165.44	0.00%	282.63	0.00%
51.7	1.80%	168.89	0.00%	286.08	0.00%
55.15	0.00%	172.34	0.00%	289.52	0.00%
58.59	0.00%	175.78	0.00%	292.97	0.00%
62.04	0.10%	179.23	0.00%	296.42	0.00%
65.49	0.20%	182.68	0.00%	299.86	0.00%
68.93	0.40%	186.12	0.00%	303.31	0.00%
72.38	1.00%	189.57	0.00%	306.76	0.00%
75.83	0.00%	193.02	0.00%	310.2	0.00%
79.27	0.00%	196.46	0.00%	313.65	0.00%
82.72	0.00%	199.91	0.00%	317.1	0.00%
86.17	0.00%	203.36	0.00%	320.54	0.00%
89.61	0.00%	206.8	0.00%	323.99	0.00%
93.06	0.00%	210.25	0.00%	327.44	0.00%
96.51	0.00%	213.7	0.00%	330.89	0.00%
99.95	0.00%	217.14	0.00%	334.33	0.00%
103.4	0.00%	220.59	0.00%	337.78	0.00%
106.85	0.00%	224.04	0.00%	341.23	0.00%
110.3	0.00%	227.48	0.00%	344.67	0.00%
113.74	0.00%	230.93	0.00%		

Fuente: Geocing SAS.

12.1.8 *Mapa de Amenaza por Movimientos en Masa*

La Ilustración 116 presenta el mapa de amenaza por movimientos en masa. En el anexo 6. Mapas se encuentra el mapa GE426-NAT-PSIG-ARM-001-00 el cual corresponde a la categorización de Amenaza por movimientos en Masa para el municipio en Nátaga.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA

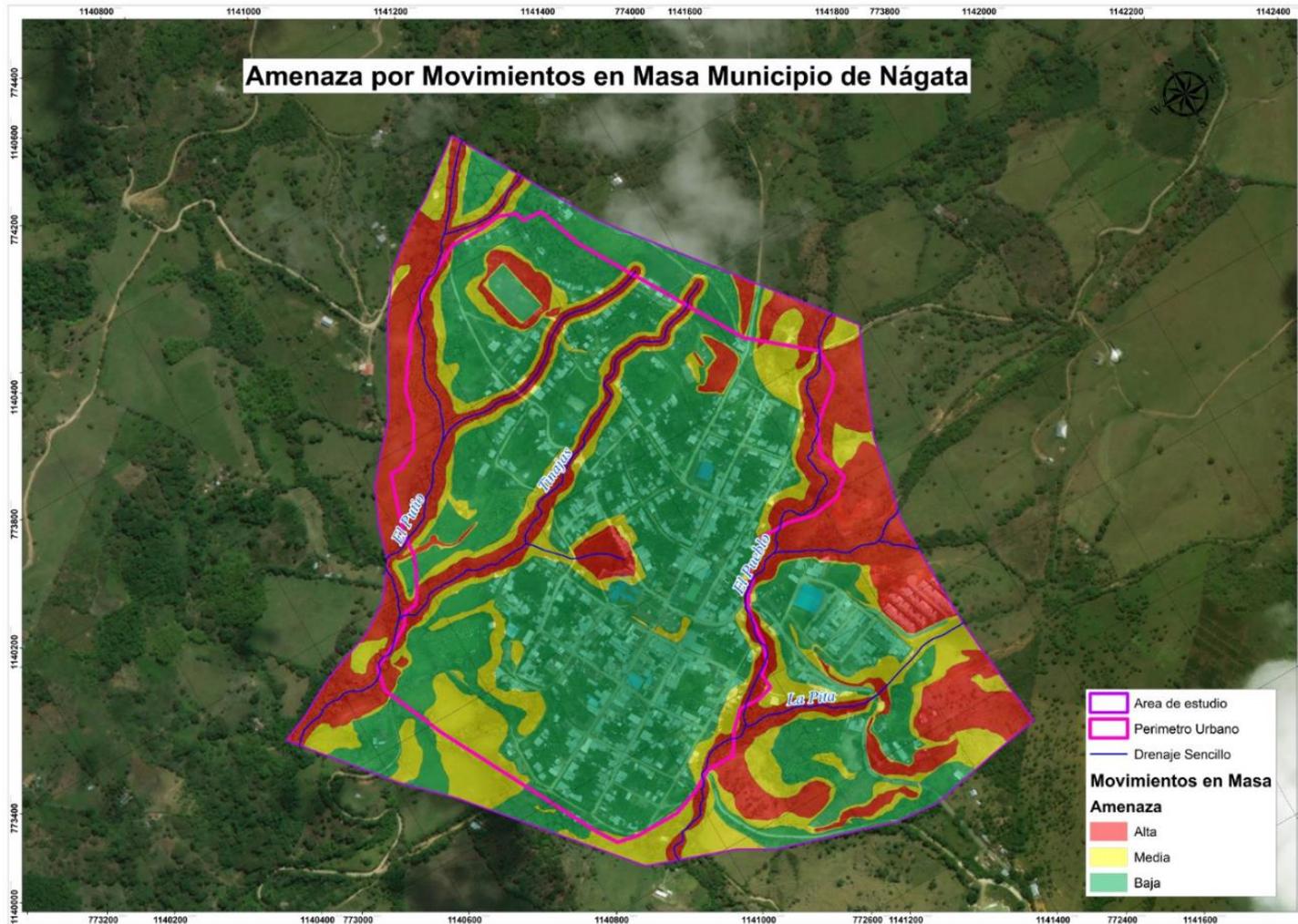


Ilustración 116. Mapa de amenaza por movimientos en masa del casco urbano del municipio de Nátaga

Fuente: Geocing SAS.

Dirección de correo: Calle 120 No. 49-44

Teléfono (1) 7046969 / (1) 7458541

Bogotá D.C. Página 198 de 363

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

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 se encuentra en un área de amenaza categorizada como Baja. 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 este y oeste del casco urbano donde comienza la geomorfología colinada generada por el cambio litológico debido a la presencia de las rocas de la Formación Caballos, 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, y está afectando predios en zonas de laderas así como el costado Sur del predio donde se localiza el Tanque de reserva de Gas (Ver ilustración 101).

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

Un factor que contribuye a este tipo de movimiento es la expansión y contracción alternantes del material superficial, causadas por el proceso de humedecimiento – secado en la capa de suelo afectado

Los movimientos superficiales de tipo reptación, aparecen distribuidos aleatoriamente sobre toda el área en estudio, principalmente hacia la parte central, norte y noreste. Se presenta en un sector de laderas inclinadas a muy escarpadas.

Un sector crítico categorizado como zona de amenaza Alta se encuentra en el área correspondiente al “Barrio Nuevo”, en razón que, debido a la construcción de la casas se practicaron cortes sobre el Suelo residual de la formación Caballos, y no cuenta con un manejo adecuado de agua de infiltración y de escorrentía sobre estos taludes, lo cual ha generado que se desarrolle Inestabilidad que, de no ser controlados podrían afectar las viviendas. En la ilustración a continuación se puede observar una vista en plata, en la cual se evidencia como la erosión hídrica ha afectado la estabilidad superficial.



Ilustración 117. Vista en planta del área del Barrio Nuevo, afectado por la erosión hidria sobre los taludes de corte.

Fuente: Geocing SAS.



Ilustración 118. Movimiento superficial tipo Reptación al oriente de la zona de estudio, en el tanque de Gas. Nótese la inclinación de los árboles con respecto a la vertical (línea discontinua naranja) y las lobulaciones del terreno

Fuente: Geocing SAS.

Las zonas de amenaza media están localizadas en la transición de las zonas de ladera a la zona plana, y el área correspondiente a la categoría de amenaza baja es el centro Urbano de manera general.

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

La Tabla 76 presenta la distribución de categorías de amenaza por movimientos en masa, concluyendo que el 26.53% (26.53 Ha) del área de estudio se encuentra en amenaza alta, 19.48% del área equivalente a 15.90 Ha se encuentra en amenaza media y el 53.99% (44.07 Ha) presenta amenaza Baja.

Tabla 76. Distribución de las categorías de Amenaza movimientos en masa.

Nátaga		
Amenaza	Área Ha	Área %
Alta	21.66	26.53%
Media	15.90	19.48%
Baja	44.07	53.99%
Total	81.63	100%

Fuente: Geocing SAS.

A continuación se mencionan dos movimientos en masa generados por factores externos que afectan infraestructura importante dentro del área de estudio y son categorizados como Puntos Críticos de Inestabilidad; y a los cuales se les realizaron análisis para determinar las alternativas de obras de mitigación.

12.1.9 Punto Crítico 1- Stir 2 -Iglesia

Movimiento en masa tipo Deslizamiento Rotacional, se presenta en la parte central del área de estudio, en un predio ubicado al costado norte de la iglesia en el cual se observa un hundimiento desde la vía al costado oriental de la iglesia (Ilustración 119) la cual ha sido reparada varias veces. Este hundimiento se presenta en forma de “cuchara” o como una concavidad que se extiende hasta el predio, además de presentar lobulaciones a través de la superficie como se puede ver en la Ilustración 119.

Como factores contribuyentes importantes a este movimiento se encuentran: la infiltración y el paso superficial de escorrentía por aguas residuales o servidas, la naturaleza heterogénea de los materiales involucrados (contacto suelo – roca), las variaciones en el nivel freáticos. El vector principal de desplazamiento de este deslizamiento va de suroriente a noroccidente. Posiblemente el factor detonante este asociado principalmente a la pendiente y la altura del talud afectado, el cual fue expuesto por cortes realizados en el sector, afectando su geometría e inestabilizando el terreno. Como consecuencia de este movimiento, se generaron fracturas con apertura máxima de 2 cm en los muros de la Iglesia



Ilustración 119. Deslizamiento rotacional en un predio contiguo a la Iglesia
Fuente: Geocing SAS.



Ilustración 120. Fracturas generadas por el movimiento en masa en las paredes de la Iglesia.
Fuente: Geocing SAS.

12.1.10 Punto Crítico 2- Stir 2 –Cancha de Futbol

Se identifica una posible combinación de varios tipos de deslizamientos (Movimiento complejo), evidenciado por las grietas y los hundimientos y montículos en el terreno. Este proceso se presenta en la ladera oriental de la cancha de fútbol ubicada al noreste de Nátaga. En la ladera se observan hundimientos, pequeños escarpes no

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

cartografiables e inclinación de la vegetación, por lo que se infiere que están actuando más de un movimiento (superficiales y un poco más profundos) (Ilustración 121).

Estos tipos de movimientos se pueden generar por la presencia de una inestabilidad generalizada de la zona o porque el proceso activo en general es sometido a otro movimiento en masa generalmente por acción antrópica. Cabe destacar que este proceso de mayor extensión, cambia sus propiedades como de cohesión, fricción, etc con respecto al material estable.



Ilustración 121. Movimiento complejo en la cancha de fútbol al noreste de Nátaga.
Fuente: Geocing SAS.

12.1.11 *Punto Crítico 3- Stir 3 –Barrio Nuevo*

Erosión tipo surcos y cárcavas, son un tipo de erosión concentrada cuando se da una mayor concentración del flujo de escorrentía, las irregularidades del terreno propician la unión de varios surcos, hasta convertirse en canales mucho más largos, amplios y profundos, conocidos con el nombre de cárcavas.

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

En la Ilustración 122 se observa erosión hídrica laminar y en surcos en los taludes realizados para la adecuación del terreno en la zona de expansión del municipio. Estos cortes dejan expuesto el suelo residual, y al tener una pendiente abrupta son altamente

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

susceptibles a este tipo de erosión que con el tiempo puede afectar la estructura del suelo originando posibles inestabilidades del terreno.



Ilustración 122. Erosión laminar y en surcos de leve a moderada magnitud en un talud realizado para la adecuación de terrenos para construcción de viviendas en la zona de expansión de Nátaga.
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 NÁTAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA</p>

12.2 AMENAZA POR INUNDACIÓN

Una inundación se conoce como el desbordamiento de una quebrada, río o cualquier drenaje de su cauce natural, acumulando agua en zonas que normalmente no se encuentran anegadas; esto se puede deber a diversos factores antrópicos o naturales, como lo son la ruptura de una presa, la modificación del cauce de un drenaje, el ascenso temporal en la lámina de agua y efectos de un tsunamis (IDEAM, 2014).

Según la revisión de la información presentada en el capítulo 10.1, y el Imagen aérea orto-rectificada se identifican los siguientes drenajes los cuales serán modelados mediante el software matemático HEC- RAS (Versión 5.0.3) del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, para establecer la correspondiente categorización de la amenaza por inundación:

- Quebrada El Putio.
- Quebrada Tinajas.
- Quebrada El Pueblo.
- Punto crítico 5- Drenaje sin nombre.
- Punto crítico 7- Drenaje sin nombre (localmente conocida como quebrada La Pita).

En la Ilustración 123 se presentan la ubicación de los drenajes según la cual las quebradas el Pueblo y Tinajas, son las que presentan la mayor proximidad con el casco urbano y por lo tanto serían las que generarían la mayor afectación en el municipio.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA

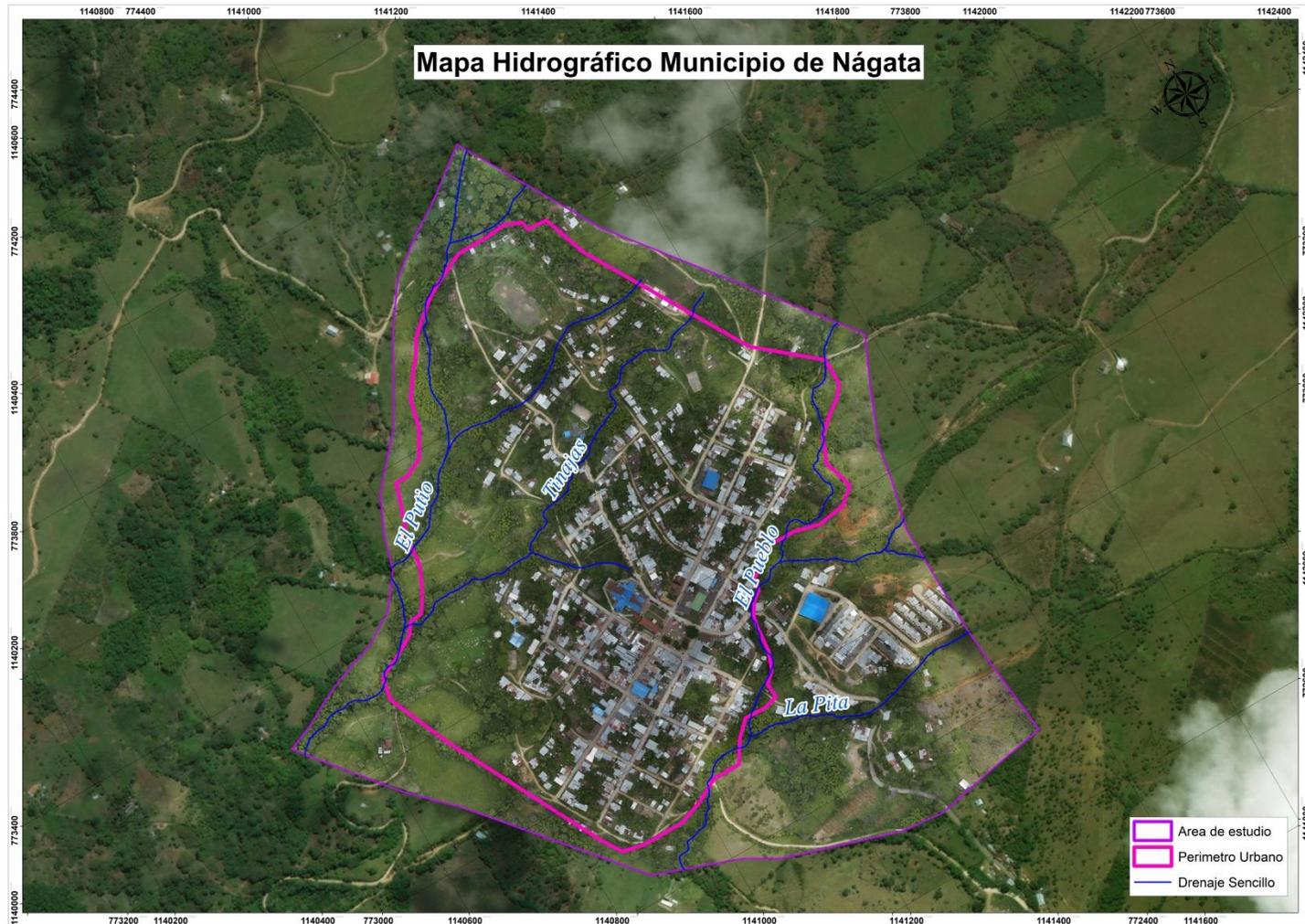


Ilustración 123. Localización general de los drenajes del municipio de Nátaga.

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

12.2.1 Descripción general del software HEC-RAS

El Modelo Matemático HEC-RAS calcula los perfiles superficiales del agua para las condiciones de un flujo permanente o no permanente y gradualmente variado en canales naturales o artificiales. Este procedimiento está basado en solucionar la ecuación unidimensional de energía con las pérdidas por fricción evaluadas por medio de la ecuación de Manning.

Este modelo simula la hidráulica del flujo para canales sobre cualquier tipo de sección transversal bajo flujo gradualmente variado, trabajando de acuerdo con la ecuación de Bernoulli:

$$Z_1 + Y_1 + (V_1^2/2g) = Z_2 + Y_2 + (V_2^2/2g) + h$$

En donde:

- **Z_i**, nivel del fondo del canal aguas arriba (1) y abajo (2) del tramo, este término se denomina cabeza de posición, en m.
- **Y_i**, lámina de agua aguas arriba (1) y abajo (2) del tramo, este término se denomina cabeza de presión, en m.
- **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 (*h_f*) y localizadas (*h_l*), en m.

Las pérdidas por fricción (*h_f*), para flujo gradualmente variado en un tramo de longitud *L* del canal se pueden expresar por medio de la ecuación de Manning:

$$h_f = ((S_{e1} + S_{e2})/2)L$$

Dónde:

- **S_{e1}** y **S_{e2}** corresponden a los valores de la pendiente de la línea de energía aguas arriba (1) y abajo (2) del tramo. Estos valores se expresan por medio de la fórmula de Manning para flujo uniforme en cada sección del tramo:

$$S_e = n^2 V^2 / R^{4/3}$$

Dónde:

- **N**, coeficiente de rugosidad de Manning, valor adimensional.
- **V**, velocidad promedio del agua, en m/s.

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

- **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, 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:

$$h_1 = K \left| \left(\frac{V_1^2}{2g} \right) - \left(\frac{V_2^2}{2g} \right) \right|$$

Dónde:

- **K**, coeficiente de pérdidas localizadas, adimensional.
- **Vi**, velocidad promedio aguas arriba (1) y aguas abajo (2) del punto o tramo en donde se produce la pérdida localizada, en m/s.

Los parámetros necesarios para desarrollar de manera adecuada el modelo en este software son:

- ✓ Conjunto de secciones transversales, obtenidas mediante levantamientos en terreno, la separación entre las mismas se define en el sitio, si los tramos de la corriente son rectos, se pueden tomar secciones cada 50 m o más, mientras que si se presentan curvas (que no sean muy cerradas), se deben tomar cada 10 o 20 m dependiendo de su longitud.
- ✓ Modelo digital de elevación- DEM.
- ✓ Definir el coeficiente de rugosidad n de Manning en cada sección.
- ✓ Ingresar los datos de los hidrogramas de salida obtenidos mediante el HEC-HMS.
- ✓ Definir el régimen de flujo sobre el cual se va a calcular (subcrítico, supercrítico o mixto).

Los resultados obtenidos se pueden observar gráficamente y/o en tablas predefinidas, las cuales muestran entre otros el 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 inundación espacial sobre el área estudiada (la mancha de inundación da los límites geométricos hasta dónde llega la inundación). Sobre esta mancha de inundación se visualizan los elementos expuestos que podrían verse afectados.

En este, orden de ideas, los parámetros básicos de entrada del programa HEC-RAS para la zona de estudio son la geometría del cauce, distancia de separación entre las

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

secciones transversales seleccionadas, las rugosidades y las condiciones de niveles aguas abajo y/o arriba, dependiendo del régimen del flujo.

12.2.2 *Modelo Digital de Elevación- DEM*

El primer insumo requerido para la modelación de la inundación en el Software HEC-RAS es el modelo digital de elevación (DEM, por sus siglas en inglés), en el cual a partir de los datos levantados en campo mediante topobatimetrías, se estableció la geometría de las secciones de flujo para los drenajes a modelar y la topografía del municipio.

A partir del DEM cargado en formato Raster en HEC-RAS se genera un Terrain el cual se visualiza dentro del software como se presenta en la Ilustración 129, donde se logra identificar que al nororiente del municipio es donde se presentan las cotas más altas que varían entre los 1550 y 1660 msnm. (Representado con un escala de colores entre gris y blanco), y por donde fluyen las quebradas el Putio y el Pueblo. En la parte suroccidental del municipio se presentan las cotas más bajas, las cuales varían entre los 1413 y los 1463 msnm. Adicionalmente, se logra visualizar el cauce de los drenajes en el Terrain, los cuales se ven representados como espacios vacíos en el modelo.

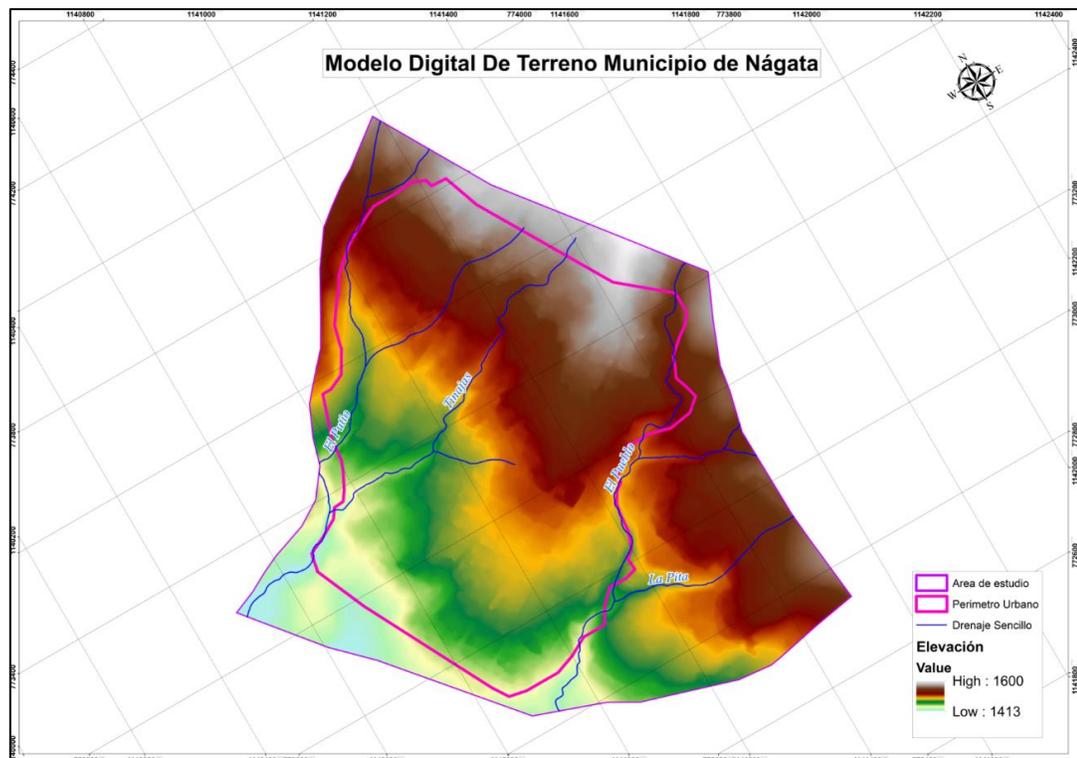


Ilustración 124. Visualización del Terrain en HEC-RAS.

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

12.2.3 *Rugosidad (Manning's Value)*

La rugosidad 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 (VEN TE CHOW, 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.

Adicionalmente, para canales abiertos se consideran las siguientes variables VEN TE CHOW (1994):

- **Irregularidad del canal:** Hace referencia a cambios considerables en el perímetro mojado, y en el área y forma de la sección transversal.
- **Alineamiento del canal:** Debido a la curvatura puede presentarse la acumulación de materiales flotantes que aumenten la rugosidad, por lo tanto aquellas curvas bruscas presentaran una mayor n de manning.
- **Sedimentación y socavación:** La sedimentación tiende a modificar la forma del canal, convirtiéndolo de un canal irregular a uno relativamente uniforme, disminuyendo el n de manning, a diferencia de la socavación que genera un efecto opuesto.

A partir de la revisión de la cobertura y en consideración con las anteriores variables se establecieron los n de Manning, los cuales se presentan en la Ilustración 125.

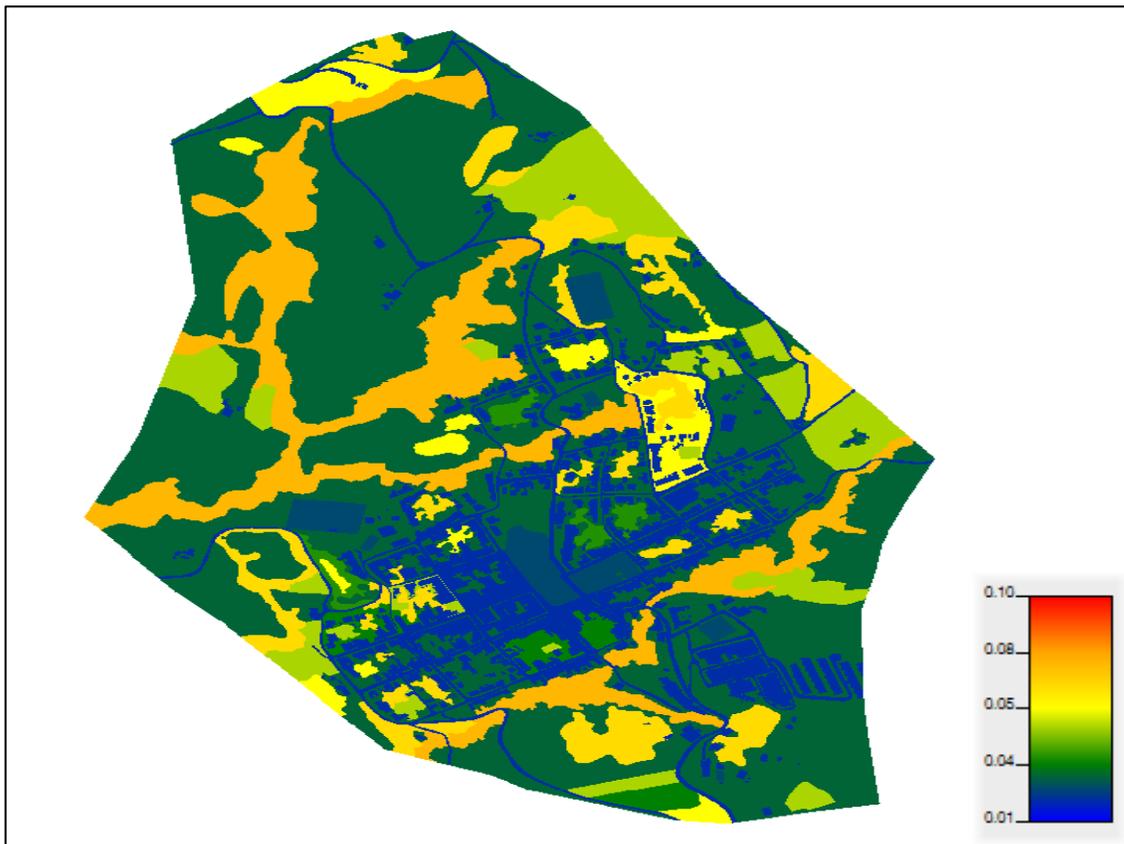


Ilustración 125. Valores de n de manning para el municipio de Nátaga.

Fuente: Geocing SAS.

12.2.4 *Definición 2D Flow Área*

El 2D Flow Área corresponde al límite del área a ser modelada, a esta se le asigna un mallado de n tamaño que corresponde al nivel de detalle de los datos ingresados al modelo. Se seleccionó un tamaño de celda igual a 5 m^2 , esto debido al gradiente altitudinal, y a que no presentaban variaciones drásticas en las coberturas y por lo tanto en la rugosidad.

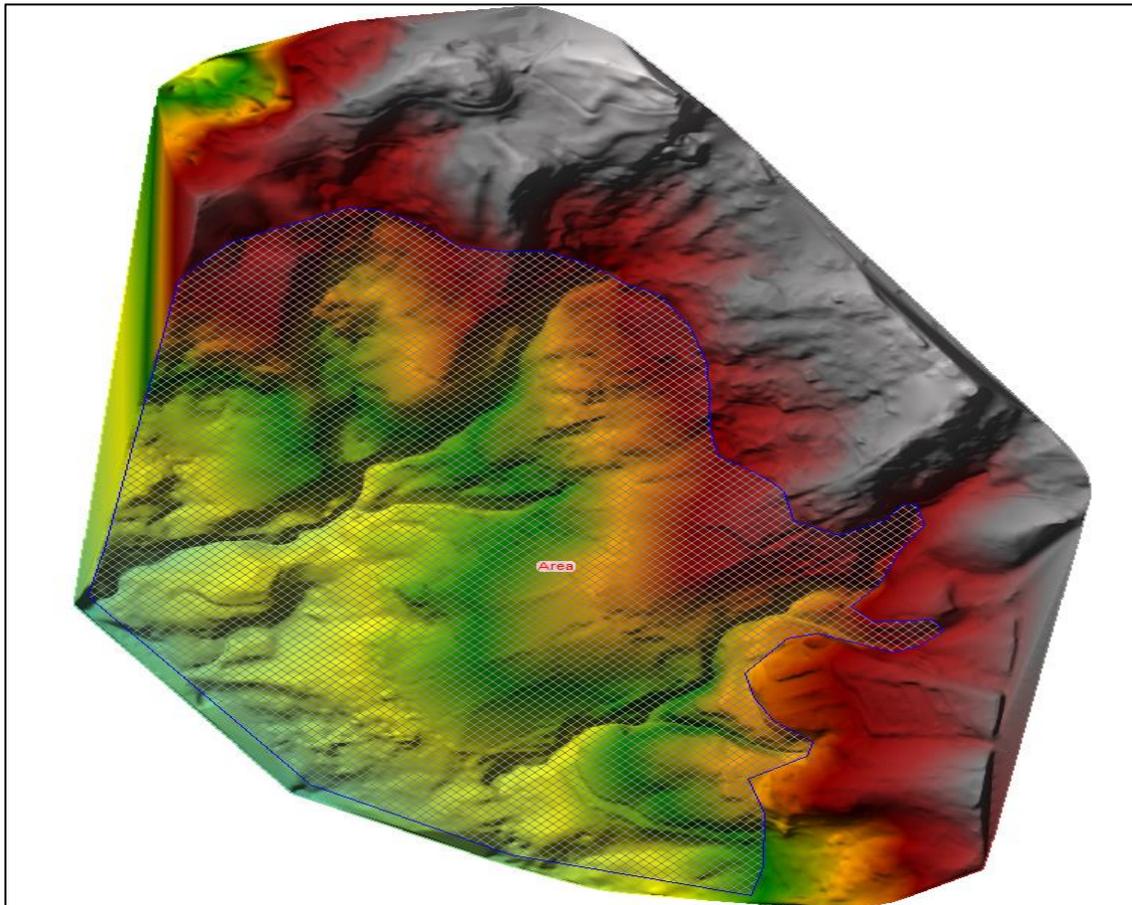


Ilustración 126. 2D Flow Área del municipio de Nátaga en HEC- RAS.
Fuente: Geocing SAS.

En la Ilustración 126, se presenta el mallado correspondiente el cual se generó a partir de la ubicación de los puntos críticos establecidos en el capítulo 10.1 para las quebradas el Putio, Tinajas, el Pueblo, La Pita y drenaje sin nombre (Punto crítico 5), y la ubicación de los diferentes elementos expuestos respecto al DEM.

12.2.5 Condiciones de Entrada y Salida

A partir del 2D Flow Área generada se estableció la ubicación, y condiciones de entrada y salida en el modelo correspondiente, tal como se presenta en la Ilustración 127, identificando que para la zona se establecieron las siguientes entradas:

- Pto 1: Quebrada el Putio.
- Pto 2: Quebrada Tinajas.
- Pto 4: Quebrada El Pueblo.
- Pto 5: Punto crítico 5, sin nombre.
- Pto 7: Punto crítico 7, Q. La Pita.

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

Se estableció una única salida nombrada “Salida” a la que vierten las quebradas el Putio y el Pueblo, las restantes tres entradas no presentan salidas ya que son afluentes de estas quebradas:

- Quebrada Tinajas afluente de la quebrada el Putio.
- Puntos Críticos 5 y 7 afluentes de la Quebrada el Pueblo.

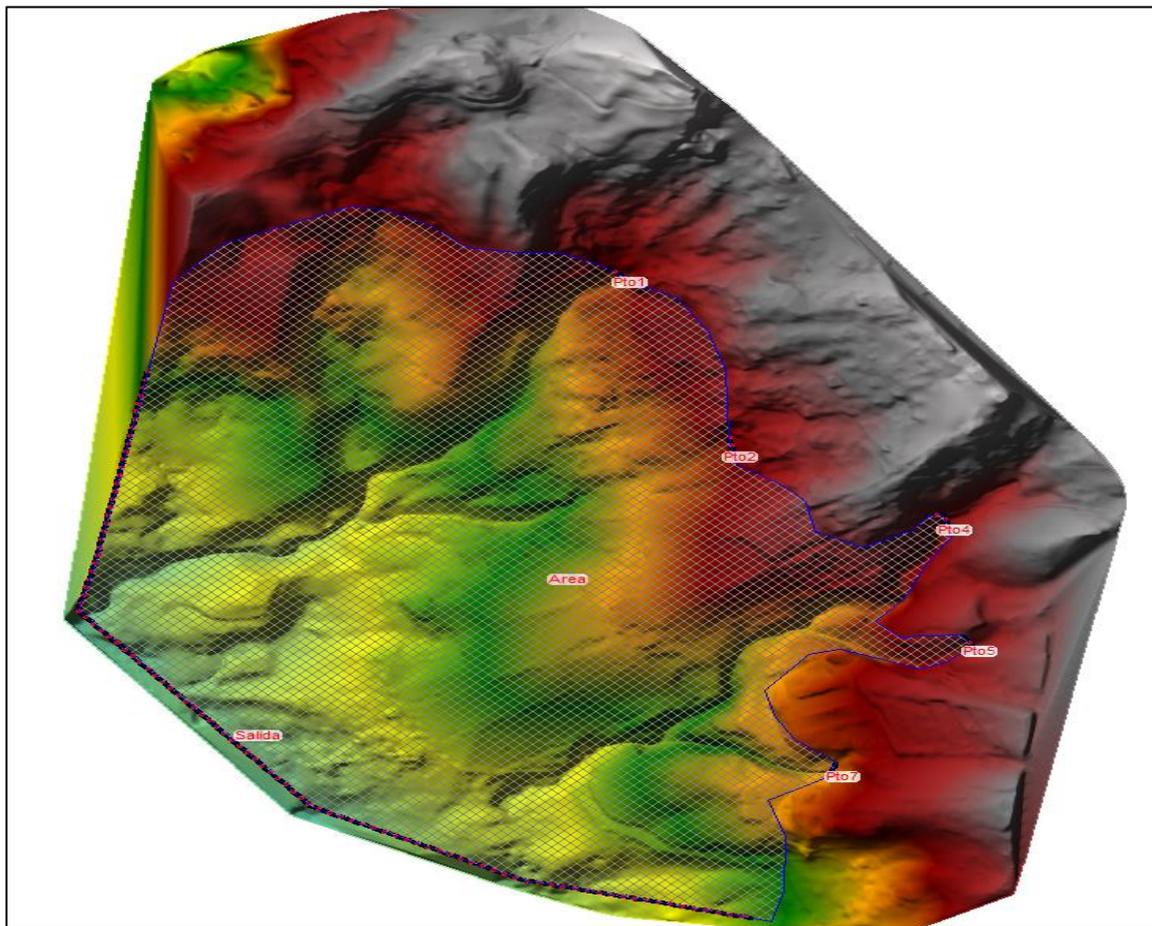


Ilustración 127. Condiciones de entrada y salida del modelo en HEC-RAS.
Fuente: Geocing SAS.

12.2.6 Modelación HEC-RAS 2D

A partir del modelo establecido se modelaron los periodos de retorno de 2.33, 5, 10, 15, 25, 50, 100, 500 y 1000 años, según los valores obtenidos en el capítulo 10.5, generando las manchas de inundación, según las cuales se establecieron las zonas que presentarían afectación y se categorizó la amenaza. Respecto a los resultados se seleccionaron los periodos de retorno de 100, 500 y 1000 años para categorizar la amenaza como se establece en el capítulo 12.2.7.

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

Debido a la variación en los tamaños de las cuencas y sus correspondientes tiempos de concentración, se presentaron diferentes tiempos en los hidrogramas unitarios de cada drenaje, por lo cual fue necesario implementar un tiempo de modelación mayor al presentado en el drenaje con el hidrograma unitario más duradero. Según esto el tiempo de modelación fue de 7 horas, para el cual se logró identificar que las manchas de 100 y 500 años no superaban los 10 metros de ronda hidráulica, un ejemplo de esto es la mancha que se presenta en la Ilustración, donde se denota que para un periodo de retorno de 500 años, no se presenta una inundación considerable en el casco urbano



Ilustración. Mancha de Inundación Tr 500 años.
Fuente: Geocing SAS.

Respecto a los drenajes modelados para los periodos de retorno de 100 y 500 años, se identificó que el drenaje que presentaba el mayor volumen fue la Quebrada El Pueblo de la cual son afluentes los drenajes sin nombre de los puntos críticos 5 y 7; aguas abajo de está quebrada se presenta una lámina de agua de 0,7 m en un periodo de

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

retorno de 500 años tal como se presenta en la Ilustración 128, mientras que para el periodo de retorno de 100 años varía en 3 cm la altura de la lámina de agua; adicionalmente, se establece que la altura máxima de la lámina de agua no se ubica aguas abajo de la quebrada, esto debido a que en el cauce se presentan reducciones en la sección transversal que generan represamiento de las aguas y aumento en la altura de la lámina de agua, principalmente en el tramo ubicado entre los drenajes sin nombre asociados a los puntos críticos 5 y 7, debido a la ubicación de los box culvert de la Kr 5 y Kr 7.

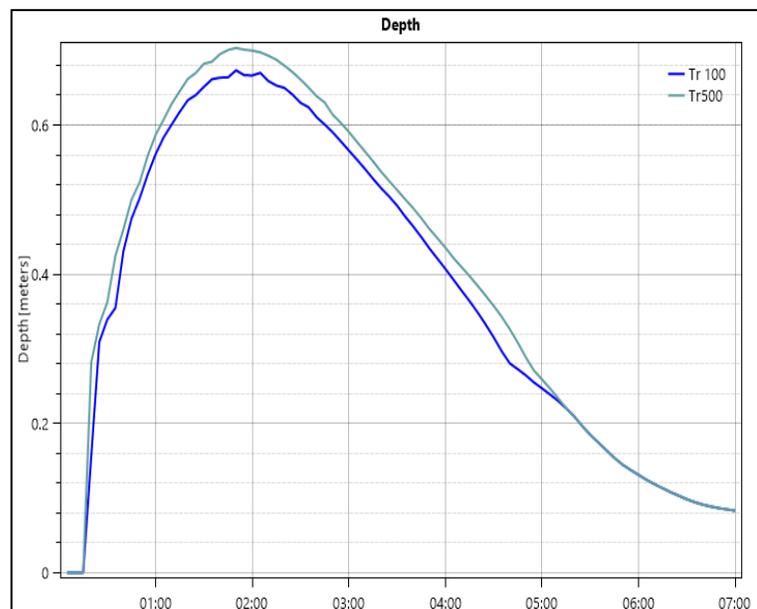


Ilustración 128. Variación de profundidad los Tr 100 y Tr 500 aguas abajo de la Qda El Pueblo. Fuente: Geocing SAS.

Los afluentes de la quebrada el Pueblo, “drenajes sin nombre” asociados a los puntos críticos 5 y 7, presentan comportamientos similares con alturas de lámina de agua antes de verter en la quebrada el Pueblo entre los 30 y 40 cm, y variaciones entre los periodos de retorno de 100 y 500 años de 2 cm.

Aguas abajo de la quebrada La Putia se presenta una variación en la altura de la lámina de agua de 2 cm entre los periodos de retorno de 100 y 500 años, tal como se presenta en la Ilustración 129, y en la velocidad de 0,8 m/s, como se presenta en la Ilustración 130, lo cual representa una variación de 900 litros entre los caudales para los dos periodos de retorno.

La quebrada Tinajas es el único afluente de la quebrada El Putio, y presenta una variación de 2 cm respecto a la altura de la lámina de agua entre los periodos de retorno de 100 y 500 años. A diferencia de las manchas de inundación para los periodos de retorno de 100 y 500 años, donde la variación altitudinal es leve, para un periodo de retorno de 1000 años se establece que la inundación afectaría todo el

municipio debido a que la capacidad hidráulica de los drenajes es superada presentando un rebose lateral y distribuyendo la inundación a través de todo el municipio como consecuencia de la pendiente que presenta.

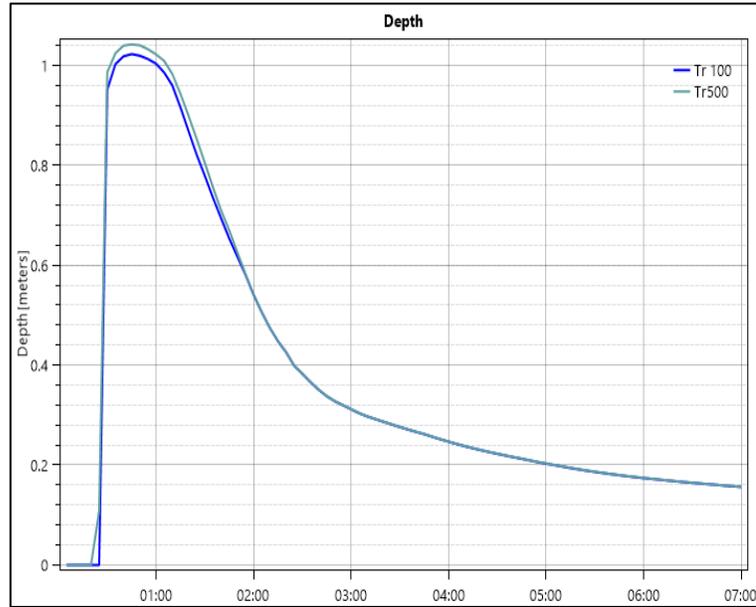


Ilustración 129. Variación de la profundidad para los Tr 100 y Tr 500 aguas abajo de la Qda El Putio. Fuente: Geocing SAS.

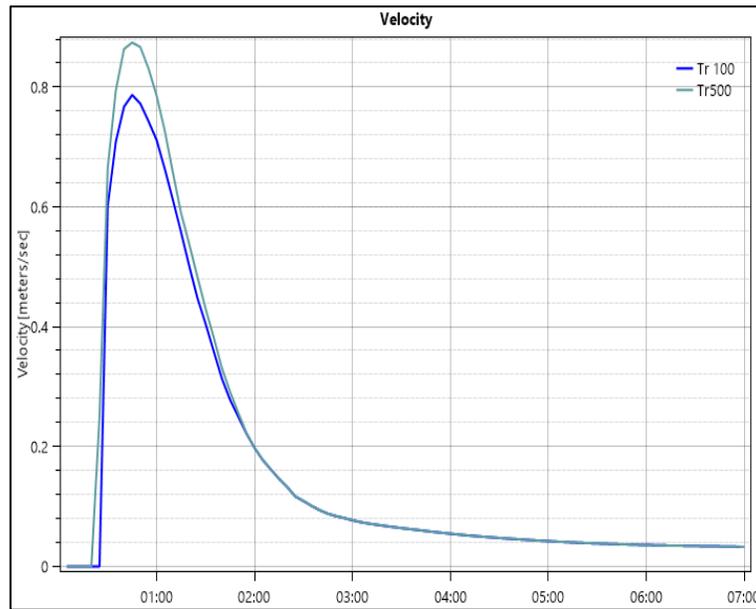


Ilustración 130. Variación de la velocidad para los Tr 100 y Tr 500 aguas abajo de la Qda El Putio. Fuente: Geocing SAS.

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

12.2.7 *Categorización de la Amenaza*

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 77.

Tabla 77. Categorización de la 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 una Inundación durante el 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.

12.2.8 *Evaluación de la amenaza por inundación*

Según la categorización de la amenaza se identifica que la amenaza alta y media se ubica en los primeros 10 metros de ronda de los drenajes, mientras que el área restante se categoriza con amenaza baja. De los 990 predios sólo uno ubicado en la ronda de la quebrada El Pueblo se categoriza con amenaza alta, los restantes 989 predios se categorizan con amenaza baja, esto se debe a que estos predios se ubican a una distancia superior a los 10 metros de ronda que corresponde al área afectada con los periodos de retorno de 100 y 500 años, esto debido a que la sección hidráulica de los drenajes tiene una aforo que evitar el rebose lateral para los caudales correspondientes. En Anexo 6 se encuentra el mapa GE426-NAT-PSIG-AZI-001-00.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA

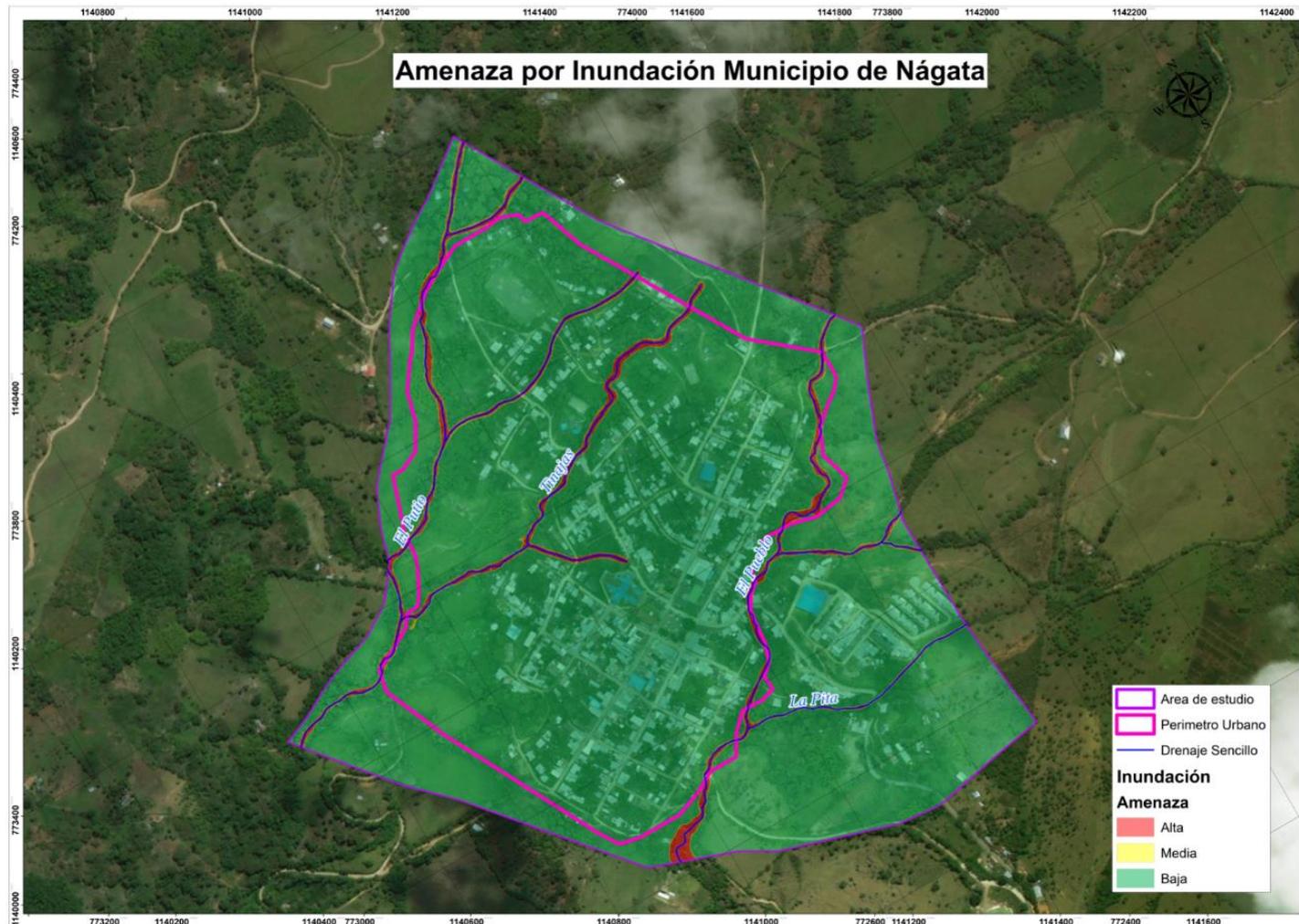


Ilustración 131. Mapa de Amenaza por Inundación para el Casco Urbano del municipio de Nátaga.

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

Del área categorizada por inundación se logra identificar que el 97,41% del territorio se encuentra categorizado con amenaza baja por inundación, tal como se presenta en la Ilustración 132, del área restante el 1,99% se categoriza con amenaza alta y el 0,61 con amenaza media; las categorías de amenaza alta y media corresponde a las zonas aledañas al curso de los drenajes ubicados en el municipio por esto representan un mejor porcentaje del total del territorio.



Ilustración 132. Porcentaje de Área Categorizada con Amenaza por Inundación.
Fuente: Geocing SAS.

Las vías tienen una longitud de 13,26 Km de los cuales, 13,20 Km se encuentran categorizados con amenaza baja por inundación, los restantes 0,06 Km corresponden a los puentes que se ubican sobre los drenajes del municipio por lo que se categorizan con amenaza alta o media, se logra identificar las áreas correspondientes a cada categorización de amenaza por inundación, identificando que predomina la amenaza baja con el 97,04 % del área total que corresponde a 78,91 ha, seguido por amenaza alta con el 2,22% del área total (1,81 ha) que corresponde a cauce de los drenajes mencionados en este capítulo.

Tabla 78. Distribución de la Amenaza por Inundación

Nátaga		
Amenaza	Área Ha	Área %
Alta	2.99	3.68%
Media	1.04	1.28%
Baja	77.28	95.05%
Total	81.31	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 NÁTAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA</p>

12.3 AMENAZA POR AVENIDA TORRENCIAL

Se denomina avenida torrencial a aquellos eventos repentinos de crecientes súbitas caracterizadas por un alto flujo de agua con altas concentraciones de materiales de arrastre, se originan en drenajes con altas vertientes como consecuencia de fenómenos hidrometeorológicos intensos, donde la lluvia supera la precipitación pico en un corto lapso tiempo, generando saturación en los materiales de las laderas, lo cual lleva a desgarres superficiales y deslizamientos de material que es arrastrado dentro del flujo del cauce hasta ser represado, donde de forma violenta rompe su represamiento, generando la avenida torrencial (MADS, 2014) (CORNARE, 2012).

12.3.1 *Modelación FLOW-R*

Debido a que no se identificaron eventos históricos de avenidas torrenciales ni información secundaria que demostrará susceptibilidad a presentarse, se utilizó el modelo de Flow- R (Flow path assessment of gravitational hazards at a Regional scale o en español Evaluación de la Trayectoria de flujo de amenazas gravitacionales a escala regional) el cual emplea un modelo empírico para el análisis de susceptibilidades por avenidas torrenciales el cual fue desarrollado en la Universidad de Lausanne. El modelo se basa en el procesamiento de información proveniente de sistemas de información geográfica (GIS) y utiliza un método probabilístico para la modelación matemática de la susceptibilidad.

Se modeló un área de 55,6 Km², para establecer si los drenajes ubicados en la zona de estudio eran susceptibles a presentar una avenida torrencial por su topografía, dirección y acumulación de flujo, curvatura y pendiente. En la Ilustración 133, se logra identificar el área modelada en la cual se establecen las variaciones altitudinales del Modelo Digital de Elevación (DEM, por sus siglas en ingles), y se ubica una única avenida torrencial (círculo rojo), la cual no corresponde a ninguno de los drenajes del casco urbano tal como se presenta en la Ilustración 133.

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

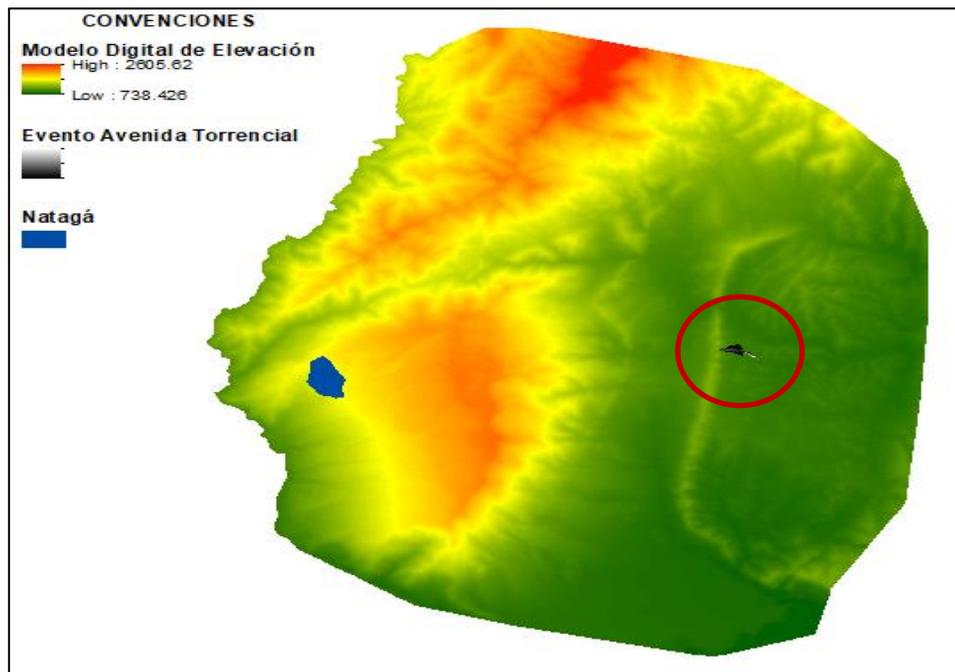


Ilustración 133. Ubicación de Natagá respecto a modelación Flow- R señalada en el círculo rojo.

Fuente: Geocing SAS.

Así mismo, de acuerdo a lo observado en campo, las condiciones morfométricas de los drenajes en el casco urbano no presentan los factores que favorecen la ocurrencia de avenidas torrenciales como lo son los cambios drásticos en el gradiente de la pendiente lo que conlleva a que no se presentan relieves abruptos, ni zonas con alta probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa que favorezcan al aporte de sedimentos, árboles y demás desechos.

Debido a estos resultados no se realizó la modelación hidráulica que categoriza la amenaza ante una avenida torrencial, ya que las condiciones actuales no son propensas a presentar evento de estos.

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

13 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 inundaciones las cuales fueron las amenazas identificadas en el área de estudio.

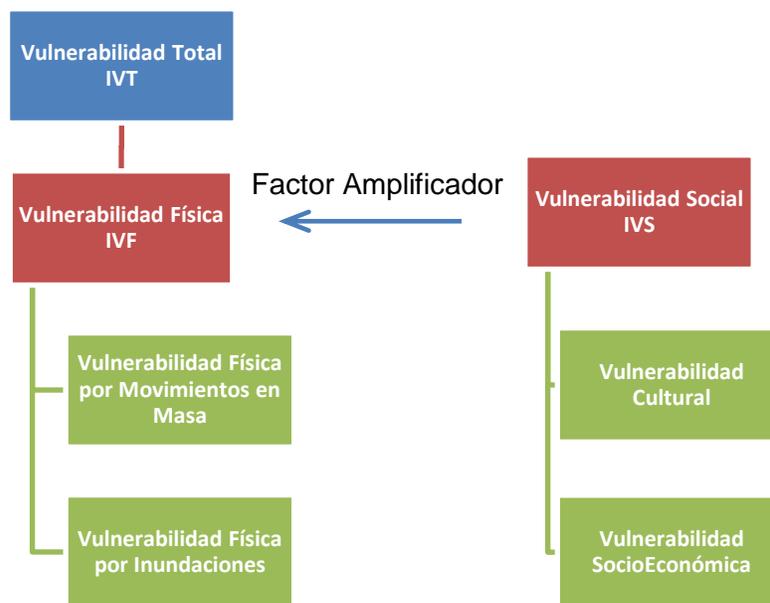


Ilustración 134 Diagrama vulnerabilidad
Fuente: Geocing SAS.

La vulnerabilidad social dentro de este componente actúa como un amplificador de la vulnerabilidad física y se 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.

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

13.1 METODOLOGÍA APLICADA PARA LA VULNERABILIDAD FÍSICA Y SOCIAL

13.1.1 *Metodología AHP*

Se propone calificar las variables de vulnerabilidad física y social empleando el método de estimación por el Análisis de Procesos Jerárquicos (AHP por sus siglas en inglés), que consiste en utilizar el juicio de expertos, para ayuda en la toma de decisiones debido a que se basa en múltiples criterios de decisión; este método 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.

13.1.2 *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 135

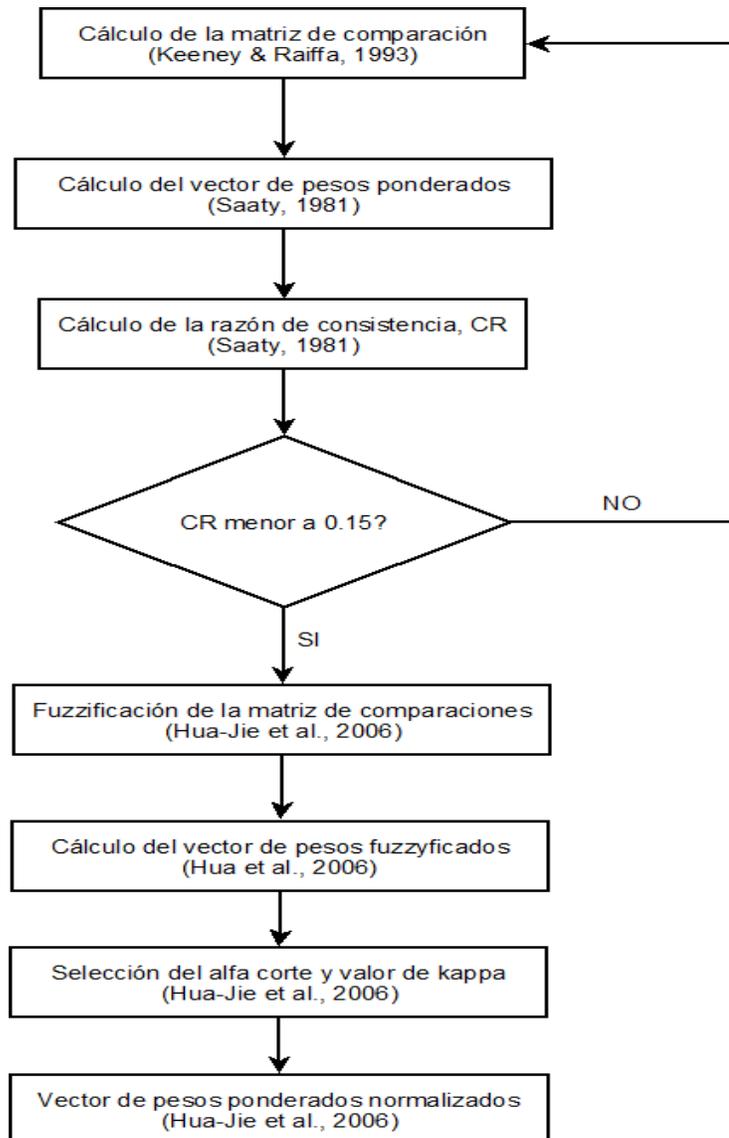


Ilustración 135. Diagrama de flujo del proceso propuesto para la evaluación de los pesos ponderados normalizados utilizando metodología AHP-difuzza Fuente: Geocing SAS.

13.1.3 Obtención de los pesos ponderados

Matriz de comparación

El primer paso para obtener los pesos ponderados es determinar la matriz de comparación, de orden nxn:

$$\{A\} = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

Los siguientes criterios de calificación:

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

Tabla 79. 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:

$$\{w_i\} = \left\{ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left[\frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{ik}} \right] \right\} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Promedio aritmético

$$\{w_i\} = \left\{ \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}}{\sum_{k=1}^n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{kj}}} \right\} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Promedio geométrico

13.1.4 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).

De otra parte, el término IA es el “Índice de Aleatoriedad”, cuyos valores son los presentados en la Tabla 80.

Tabla 80. 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

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

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.

13.1.5 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 136) o inversa (Ilustración 137), y cuyos valores se presentan en la Tabla 81.

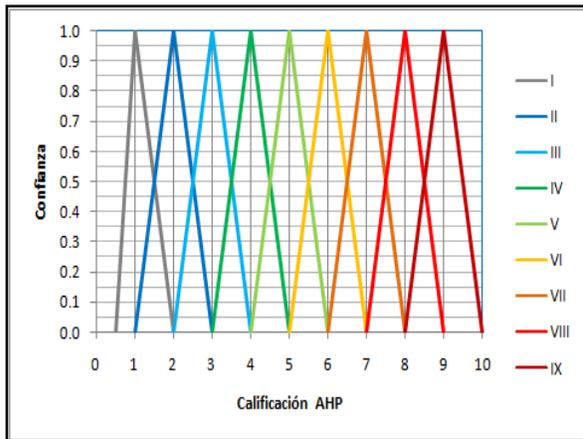


Ilustración 136. Calificación difusa de los criterios de calificación AHP (relación directa).

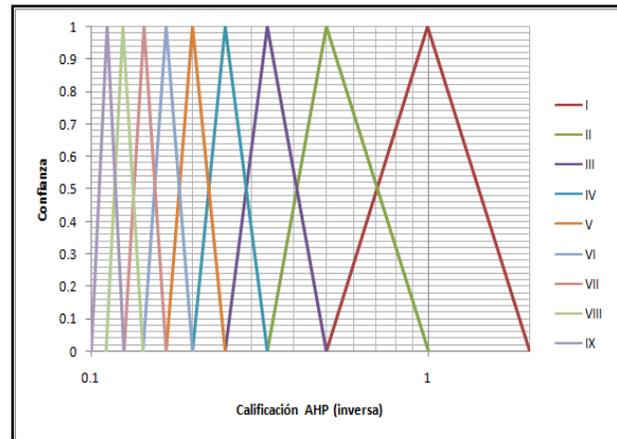


Ilustración 137 Calificación difusa de los criterios de calificación AHP (relación inversa).

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

Tabla 81. 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

Fuente: Geocing SAS.

De esta forma, y con base en la matriz de comparaciones obtenida anteriormente, se puede obtener la matriz de comparaciones borrosa, teniendo en cuenta los números difusos o borrosos triangulares definidos anteriormente, según la categoría difusa, obteniendo la matriz difuzza o borrosa de comparaciones (Hua-Jie et al., 2006):

$$[A] = \begin{pmatrix} (1,1,1) & \cdots & (a_{1n_l}, a_{1n_m}, a_{1n_u}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ (a_{n1_l}, a_{n1_m}, a_{n1_u}) & \cdots & (1,1,1) \end{pmatrix}$$

13.1.6 Cálculo del vector de pesos fuzzyficados

Con base en la matriz de comparaciones borrosa, se obtiene el vector de pesos borrosos o fuzzyficados (Huan-Jie et al., 2006), bien sea por el promedio aritmético o geométrico (ver numeral 0) para cada uno de los valores de la terna de cada calificación (l, m y u), ordenando la terna obtenida de menor a mayor, definiendo el vector de pesos borroso o fuzzificado como:

$$\{w_{i_l}, w_{i_m}, w_{i_u}\} = \left\{ \begin{matrix} w_{1_l}, w_{1_m}, w_{1_u} \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ w_{n_l}, w_{n_m}, w_{n_u} \end{matrix} \right\}$$

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

13.1.7 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:

$$P_{i\alpha_l} = [\alpha \cdot (w_{i_m} - w_{i_l})] + w_{i_l}$$

$$P_{i\alpha_r} = w_{i_u} - [\alpha \cdot (w_{i_u} - w_{i_m})]$$

$$P_{i\alpha} = \begin{pmatrix} [P_{1\alpha_l}, P_{1\alpha_r}] \\ \vdots \\ [P_{n\alpha_l}, P_{n\alpha_r}] \end{pmatrix}$$

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):

$$\{C_{i\alpha}\} = \left\{ \frac{\kappa \cdot P_{i\alpha_r} + (1 - \kappa) \cdot P_{i\alpha_l}}{\sum_{j=1}^n (\kappa \cdot P_{j\alpha_r} + (1 - \kappa) \cdot P_{j\alpha_l})} \right\}, i = 1, 2, \dots, n$$

13.1.8 Método de calificación

En la Ilustración 138 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.

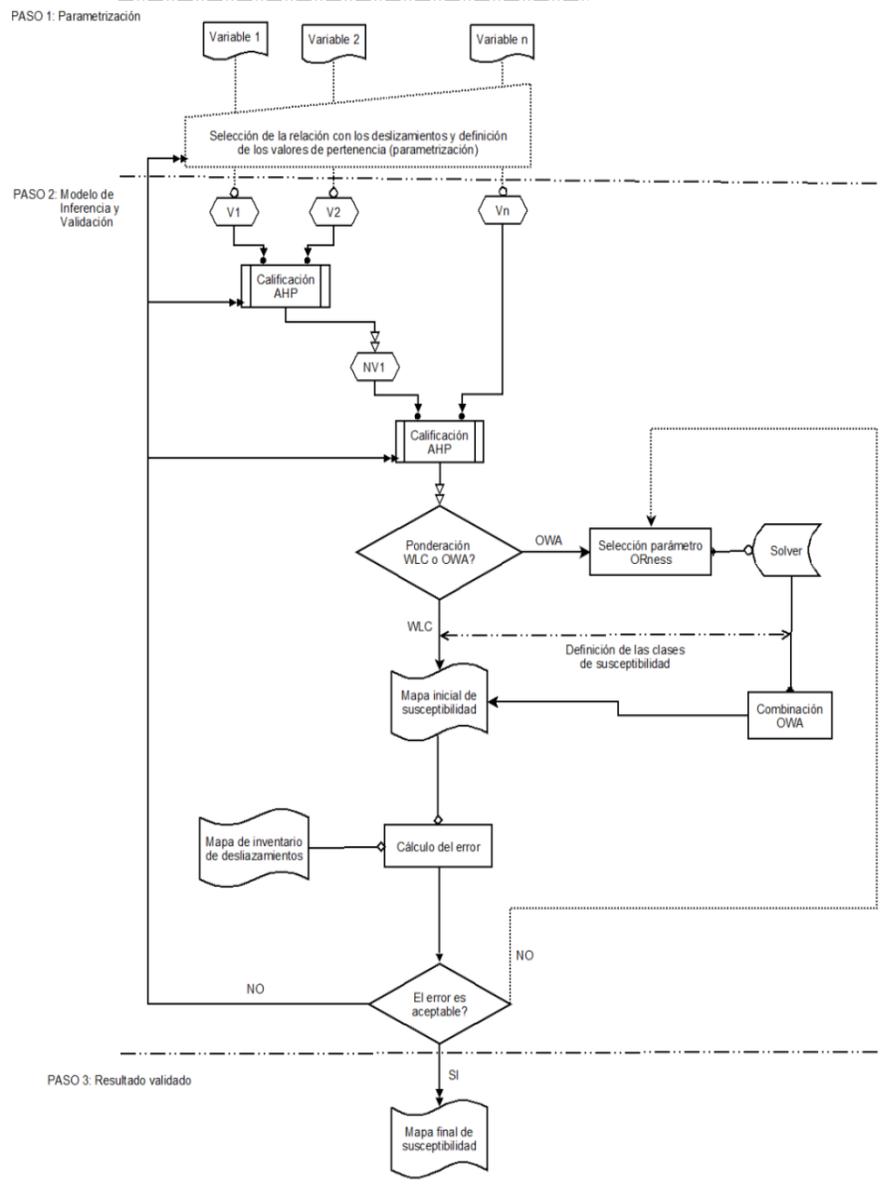


Ilustración 138. Diagrama de flujo para la calificación de la susceptibilidad utilizado los métodos WLC y OWA (adaptado de Malczewski, 2006).

13.1.9 Combinación lineal ponderada (WLC)

Una vez los criterios o variables de calificación han sido estandarizados o parametrizados y sus respectivos pesos han sido establecidos, el método de la combinación lineal ponderada o WLC por sus siglas en inglés (Voogd, 1983), es el más simple método para la agregación de los criterios de evaluación en un criterio de calificación. Así, según el método WLC, el índice de susceptibilidad a deslizamientos (ISD) se obtiene de la suma de cada criterio de evaluación multiplicado por su respectivo peso (obtenido de la calificación AHP), es decir:

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

$$IS = \sum_{i=1}^n c_i \cdot v_i$$

13.2 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 condiciones técnicas y específicas de los elementos expuestos. El primer factor se refiere a la localización de los bienes que se encuentran expuestos a eventos naturales, puesto que al estar ubicados en una zona inundable o en una ladera inestable aumenta considerablemente la vulnerabilidad a sufrir un daño físico. El segundo factor, condiciones técnicas y específicas, se refiere al tipo de materiales y estructuras con las que fueron construidos los elementos expuestos. Este segundo factor se conoce también como la tipificación de las estructuras.

13.2.1 *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

7 Leone, F. (1999) Concept De Vulnerabilite Applique A L'evaluation Des Risques Generes Par Les Phenomenes De Mouvements De Terrain. 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 Cpsmsif. 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 NÁTAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA</p>

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, 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 solicitaciones y las características del elemento expuesto (viviendas).

En forma general, 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 87, teniendo en cuenta los siguientes criterios de resistencia de la estructura. El tipo de solicitación mostrado en dicha tabla corresponde a los procesos de daño que describen la acción de un proceso sobre un elemento estructural.

Tabla 82. 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	Arrostramiento de la estructura
Empujes laterales	-Deformación -Ruptura	Altura de la estructura
		Profundidad de la cimentación
		Refuerzo
Impactos	-Deformación -Ruptura	Refuerzo

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 83.

Tabla 83. Tipología de las viviendas.

⁹ Leone, F. (1999) *Concept De Vulnerabilite Applique A L'evaluation Des Risques Generes Par Les Phenomenes De Mouvements De Terrain. 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 Cpmisif. 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 NÁTAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA</p>

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 84:

Tabla 84. 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

El porcentaje de daño o índice de pérdidas (IP) lo define Leone, como:

$$IP = \frac{(V_i - V_f)}{V_i}$$

Donde,

Vi: Valor inicial del bien (antes del evento).

Va: Valor final del bien (después del evento).

13.2.2 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

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

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 en vías la propuesta por Leone y el DRM para edificaciones, tomando a criterio por parte de esta consultoría los análisis. Los parámetros adoptados para la evaluación y calificación de los índices de pérdidas y daños potenciales en la infraestructura vial se describen a continuación.

Tabla 85. 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 86. 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 Solicitación

El tipo de solicitud depende de la localización del elemento expuesto en referencia al sitio donde ocurre el evento, en otras palabras, depende del movimiento del terreno de acuerdo al tipo de evento de estudio. Estos movimientos se pueden expresar en términos de desplazamientos verticales, horizontales, totales y diferenciales, o de presiones laterales de tipo estático, dinámico, hidrodinámico o de impacto¹². Un ejemplo de estos movimientos se presenta a continuación.

¹¹ Clasificación propuesta por el DRM y adoptado por Geocing S.A.S

¹² Cifuentes, D. (2011). Modelación de vulnerabilidad física de estructuras de uno y dos pisos, asociada a deslizamientos. Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Colombia.

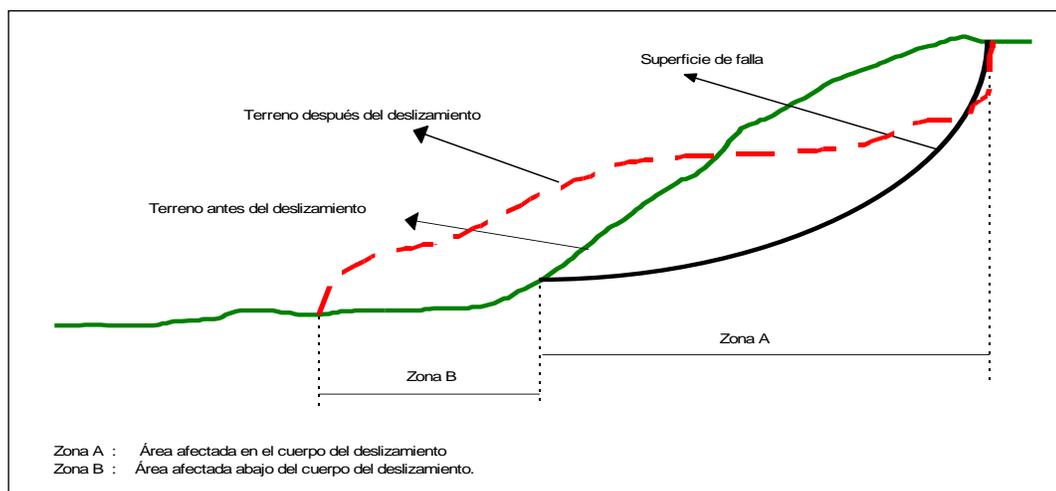


Ilustración 139. Esquema de deslizamiento.

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 Varnes¹³, presentada a continuación.

Tabla 87. Rangos de velocidad utilizadas en el estudio.

DESCRIPCIÓN	CLASE	VELOCIDAD CARACTERÍSTICA
Muy rápido	VM1	Mayor a 50 mm/seg
Rápido	VM2	Entre 0,5 mm/seg y 50 mm/seg
Moderado	VM3	Entre 0,05 mm/seg y 0,5 mm/seg
Lento	VM4	Entre 0,005 mm/seg y 0,05 mm/seg
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 88. 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.

¹³ 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 NÁTAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA</p>

Matriz de daño

Se asocian los Índices de Daños Actuales (IDa) descritos en la Tabla 84 y Tabla 86, 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. Se adaptó la matriz de daño de la metodología de Leone modificada 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

Tabla 89. Matriz de daño utilizada en el estudio.

MATRIZ DE DAÑO					
CLASE DE SOLICITACIÓN	TIPOLOGÍA DEL ELEMENTO EXPUESTO				
	B1	B2	B3	B4	B5
I	V	IV	III	II	I
II	V	IV	III	II	I
III	V	IV	III	II	II
IV	V	IV	IV	III	II
V	V	V	IV	III	III
VI	V	V	V	III	III
VII	V	V	V	IV	III
VIII	V	V	V	IV	IV
IX	V	V	V	V	IV
X	V	V	V	V	IV

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 90. Matriz de daño para infraestructura vial para los tipos de vías presentes en el municipio

TIPO DE VÍA			
Intensidad	V-3	V-4	V-5
Leve	A	F	S
Media	F	S	S
Alta	S	S	S
Muy Alta	S	S	S

Fuente: Geocing SAS.

Distancia de Viaje

La distancia de deslizamiento resulta ser un parámetro de gran importancia ya que la estimación del volumen deslizado y su velocidad determinan el punto donde el deslizamiento afectará las estructuras físicas. Principalmente, la distancia de viaje depende de las características del talud, mecanismos de falla y tipo de movimiento, características del talud hacia abajo y la información sobre el parámetro en eventos previos de deslizamientos en el sitio de estudio o cerca de él (Mostajo, 2013). La distancia de viaje se puede relacionar con el volumen deslizado por medio de expresiones empíricas, a partir del ángulo de fricción aparente y el volumen deslizado

(ver Ilustración 140) o a través de la modelación cinemática de movimiento¹⁴ (ver Ilustración 141). 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 142).

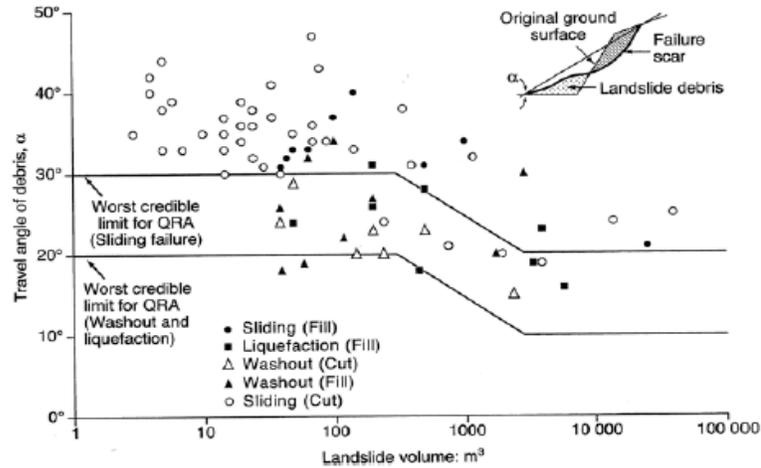


Ilustración 140. Estimación de la distancia de viaje a partir del ángulo de fricción aparente y el volumen deslizado (Fuente: Cifuentes, 2011)

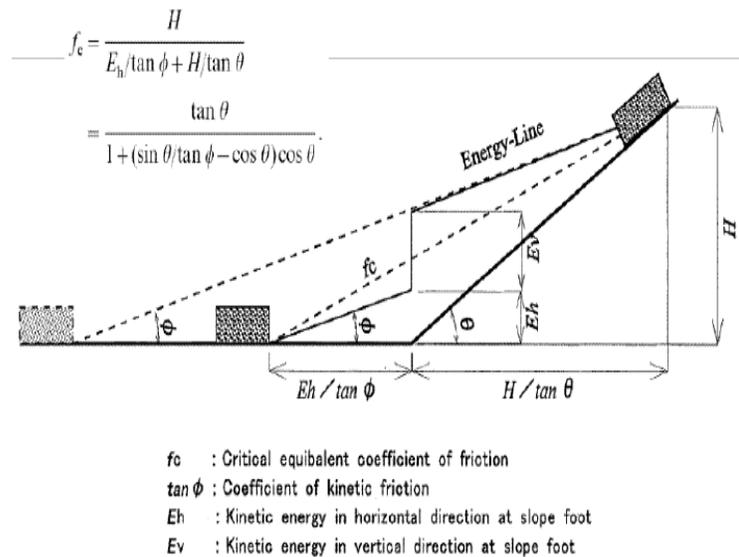


Ilustración 141. Modelación cinemática de movimiento para la determinación de la distancia de viaje (Fuente: Cifuentes, 2011).

¹⁴ Cifuentes, D. (2011). Modelación de vulnerabilidad física de estructuras de uno y dos pisos, asociada a deslizamientos. Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Colombia

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

Volumen estimado (m ³)	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 142. 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 143).

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 143. 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

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

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 intensidad¹⁵. En general, las funciones evalúan el grado de elemento en riesgo cuando está sujeto a un esfuerzo producto de un proceso natural peligroso. Adicionalmente, proveen una evaluación cuantitativa de la intensidad del daño que un tipo de esfuerzo puede generar sobre un elemento (Pascale, Sdao, & Sole, 2010)¹⁶.

13.2.3 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

¹⁵ SafeLand. (2011). *Physical vulnerability of elements at risk to landslides: Methodology for evaluation, fragility curves and damage states for buildings and lifelines.*

¹⁶ 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 NÁTAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA</p>

α_i = factor de daño o índice de daño con categoría i

n_i = número de unidades en la categoría i.

S_i = Daño máximo por unidad en categoría i

Donde el índice de daño 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)
- ukT** 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.

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.

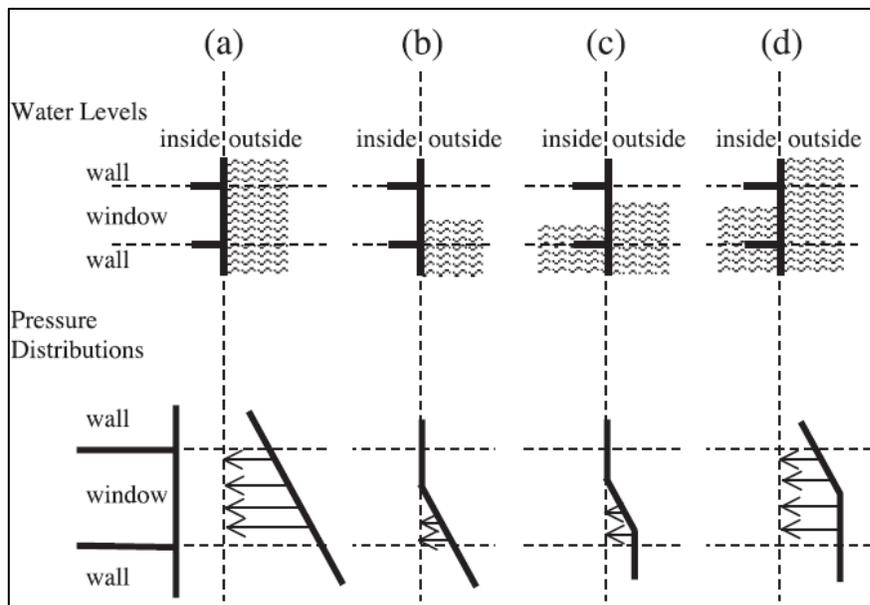


Ilustración 144. Niveles de agua y presiones que actúan sobre una casa para diferentes escenarios. Fuente: Kelman & Spence (2004)

La capilaridad es importante en cuanto a que los objetos que se encuentran dentro de la casa pueden estar fabricados con materiales que absorban agua, o los mismos materiales con los que fue construida la casa pueden absorber agua lo que resultará más adelante en daños.

Fuerzas Hidrodinámicas

Existen tres formas de fuerzas hidrodinámicas: 3 acciones relacionadas con la velocidad (incluida la turbulencia) y 2 acciones relacionadas con ondas.

La presión lateral que ejerce el flujo de agua alrededor de una vivienda se puede definir como $\Delta P = 0.5\rho v^2$, para una aproximación de primer orden.

Cambios en la velocidad y por lo tanto en las diferencias de presión ocurren cuando el agua fluye alrededor de las esquinas de una vivienda o por huecos en las estructura

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

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 89.

Tabla 91. Categoría de Daños según materiales y estructura.

Categoría de Daño	Materiales	Estructura
Viviendas de 1 piso	Ladrillo o Bloque	Mampostería Simple y Estructural
Viviendas de poca altura (2 – 3 pisos)	Ladrillo o Bloque	Mampostería Simple y Estructural
Viviendas de altura intermedia (4-5 pisos)	Concreto Fundido	Mampostería Estructural
Viviendas de gran altura (Más de 6 pisos)	Concreto Fundido	Mampostería Estructural

Fuente: Geocing SAS.

A parte del nivel del agua, la influencia de las olas (en el caso de una tormenta) y la velocidad de flujo son unos parámetros que generalmente se presumen que influyen los daños por inundación.

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).

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

Nivel del Agua y Velocidad de flujo

La metodología menciona que se necesita una velocidad de flujo crítica para determinar si una edificación va a colapsar a causa de velocidades de flujo altas. Indica que si la velocidad de flujo producto del modelo hidráulico es mayor que la velocidad de flujo crítica, el factor de daño o índice de daño es igual a 1. Según las modelaciones, la velocidad de flujo en la que las edificaciones pueden colapsar se encuentra entre 1 y 8 m/s. Y por lo tanto, se define que el método estándar se debe calcular utilizando una velocidad de flujo crítica de 8 m/s.

La metodología establece que para las viviendas de un piso, la velocidad crítica corresponde a $\frac{1}{4}$ de la velocidad de flujo crítica del método estándar. Este valor es menor dado que las paredes de estos tipos de viviendas son resistentes a velocidades de flujo de solamente 1 a 2m/s, mientras que las paredes de los edificios en concreto resisten 8 m/s como máximo.

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

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.

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

La función de daño para cada de categoría de daño de las edificaciones presenta alta complejidad por lo que no se presenta en el informe, sin embargo, se implementó como un código en Excel para su cálculo.

Las curvas del índice de daño potencial total producto de la función de daño de cada categoría se presentan a continuación.

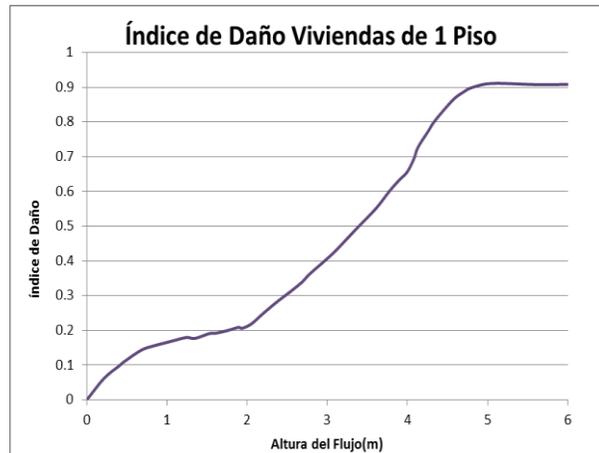


Ilustración 145. Índice de Daño de las Viviendas de 1 Piso.
Fuente: Adaptación de Kok et al. (2005).

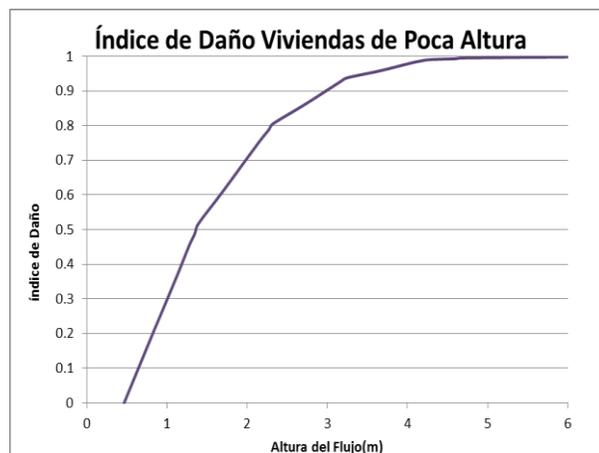


Ilustración 146. Índice de Daño de las Viviendas de Poca Altura.
Fuente: Adaptación de Kok et al. (2005).

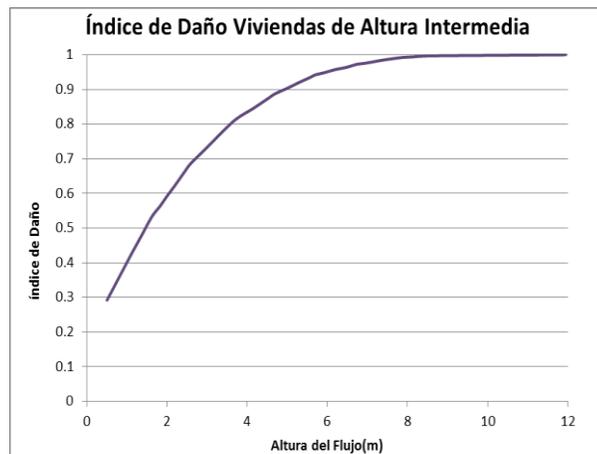


Ilustración 147. Índice de Daño de las Viviendas de Altura Intermedia.
Fuente: Adaptación de Kok et al. (2005).

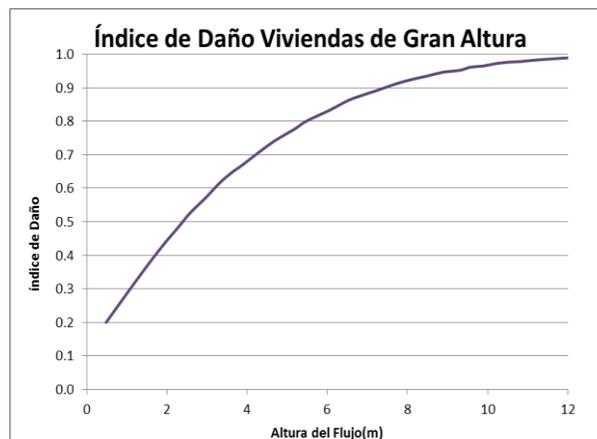


Ilustración 148. Índice de Daño de las Viviendas de Gran Altura.
Fuente: Adaptación de Kok et al. (2005).

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 92. 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

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

Índice de Daño (IDp)	Tipo de daño	Categoría Difusa
0,8 - 1,0	La estructura sufre daños más allá de la reparación, por ejemplo las paredes colapsan.	V

Fuente: Geocing SAS.

Infraestructura Vial

En cuanto a la categoría de infraestructura vial, la metodología de Kok presenta la siguiente función para el índice de daño potencial:

$$\alpha_{vías} = \text{MIN}(0.28d, 0.18d + 0.1, 1)$$

Donde la siguiente gráfica presenta la curva de Daño para esta categoría.

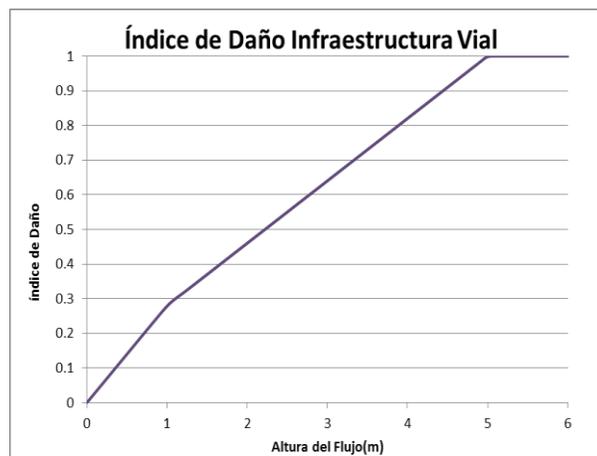


Ilustración 149. Índice de Daño de la Categoría de infraestructura vial
Fuente: Adaptación de Kok et al. (2005).

La consultora propone la siguiente matriz de daño donde se clasifica el índice de daño numérico obtenido de la Ilustración 149 para la infraestructura vial dentro de las diferentes categorías de lógica difusa.

Tabla 93. 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.

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

13.2.4 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 una propuesta para la evaluación por medio de “matrices de vulnerabilidad bidimensionales” 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 13.2.3 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 94.

Tabla 94. 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 95. 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



Velocidad del Flujo Máxima (m/s)	Altura (m)			
	0,0	0,5	1,0	1,5 o mayor
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
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 96. 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 o mayor
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
4,5	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

Tabla 97. 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 o mayor
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
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

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

Velocidad del Flujo Máxima (m/s)	Altura (m)				
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0 o mayor
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 98. 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
4,0	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
8,0	0	4	5	5	5	5
8,5	0	4	5	5	5	5
9,0	0	4	5	5	5	5
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 99. 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

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

Índice de Daño (IDp)	Tipo de daño	Categoría Difusa
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).

13.2.5 *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.

Edad de la Construcción

La edad de la construcción está directamente ligada al estado del inmueble en general, ya que entre más años tenga la construcción más deteriorada se encuentra, sus técnicas constructivas no son las adecuadas para cumplir con la Norma Sismo Resistente y sus materiales presentan diferentes desgastes. Adicionalmente, si la construcción es más nueva se podría considerar que sus materiales cuentan con mejores condiciones de calidad y las técnicas empleadas para su construcción son las adecuadas. En la siguiente tabla se presenta su categorización.

Tabla 100. 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 41,7% de las edificaciones han sido construidas antes de 1997, el mismo porcentaje se presenta para las edificaciones construidas entre los años 1997 y 2010 periodo en donde se establecieron las primeras normas sismo resistentes y el 16,7% de las viviendas restante han construido 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.

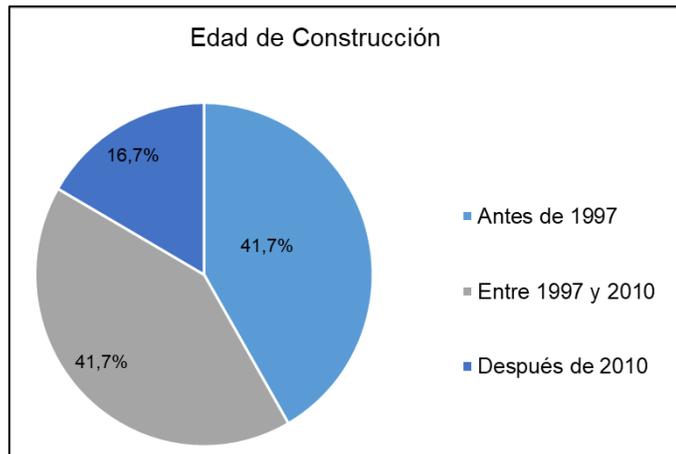


Ilustración 150. Distribución de las edificaciones encuestadas según su fecha de construcción.
Fuente: Geocing SAS.

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 101. Pesos - Parámetro: Número de pisos.

Parámetro	Calificación
1	0,20
2	0,30
3	0,40
4	0,50
5	0,70
>5	0,80

Fuente: Geocing SAS.

En términos generales, las encuestas realizadas para el presente estudio arrojan que el 86,81% de las edificaciones son estructuras de 1 sólo piso y el 13,19% de las edificaciones son de 2 pisos. A continuación en la Ilustración 151 se presenta la distribución de esta variable:

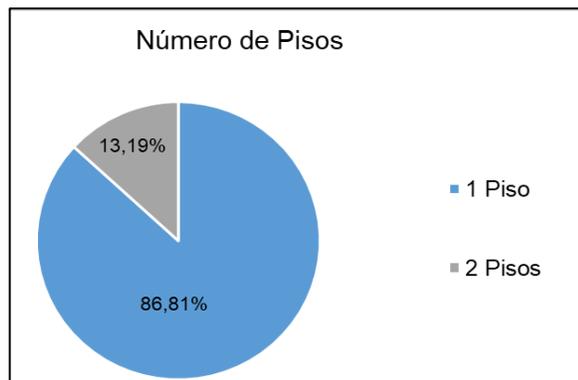


Ilustración 151. Distribución de las edificaciones encuestadas según su número de pisos.
Fuente: Geocing SAS.

Forma de construcción

Es la metodología, materiales y técnicas utilizadas en el proceso de constructivo de un inmueble, para este estudio se consideraron tres identificadores, a continuación se presentan las calificaciones asignadas:

Tabla 102. Pesos - Parámetro: Forma de construcción.

Parámetro	Calificación
Empresa Constructora	0,2
Prefabricado	1,0
Informal	0,4

Fuente: Geocing SAS.

Se encontró que 100% del total de las edificaciones encuestadas fueron construidas de forma informal. En la Ilustración 152 se presenta la distribución de esta variable.

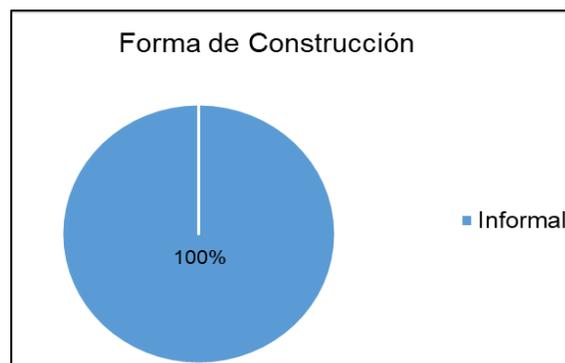


Ilustración 152. Distribución de las edificaciones encuestadas según su forma de construcción
Fuente: Geocing SAS.

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

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

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 103. Pesos – Tipo de entrepiso.

Parámetro	Calificación
Metálico	0,4
Madera	0,8
Concreto reforzado	0,1
No aplica	0,0

Fuente: Geocing SAS.

Según la información recolectada en las encuestas, se observó que el 33,3% de las viviendas que presentan entrepiso lo tienen en concreto y metálico respectivamente, 25,0% tienen entrepiso en madera y finalmente el 8,33% de las edificaciones presentan entrepiso en otro tipo de material. Es importante destacar que las edificaciones que presentan entrepiso corresponden al 13,19% del 100% de las viviendas encuestadas. En la Ilustración 153 se presenta la distribución de esta variable.

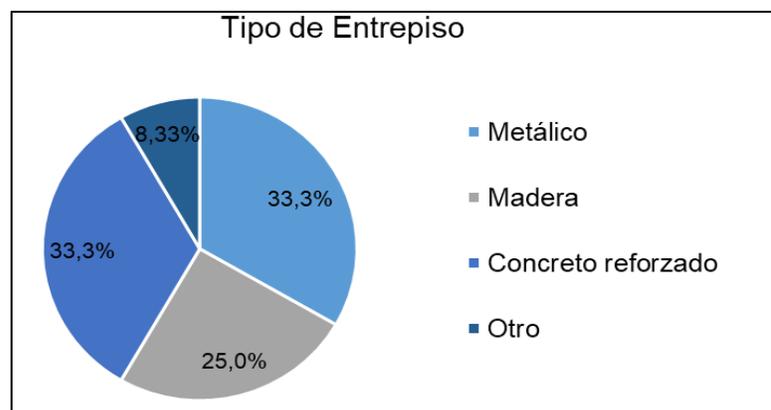


Ilustración 153. Distribución de las edificaciones encuestadas según su tipo de entrepiso.

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 104. Pesos - Parámetro: Tipo de Cubierta.

Parámetro	Calificación
Zinc	0,4

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

Parámetro	Calificación
Concreto	0,2
Teja Plástica	0,8
Asbesto Cemento	0,6
Otro (Teja Barro y plástico)	0,9

Fuente: Geocing SAS.

Se evidenció que el tipo de cubierta de las edificaciones se distribuye en su mayoría en Zinc con un 87,9%, seguido del 11,0% con otro tipo de cubierta (teja de barro) y con el 1,1% se identificaron cubiertas de teja asbesto cemento. La Ilustración 43, muestra la distribución del tipo de cubierta de las edificaciones.

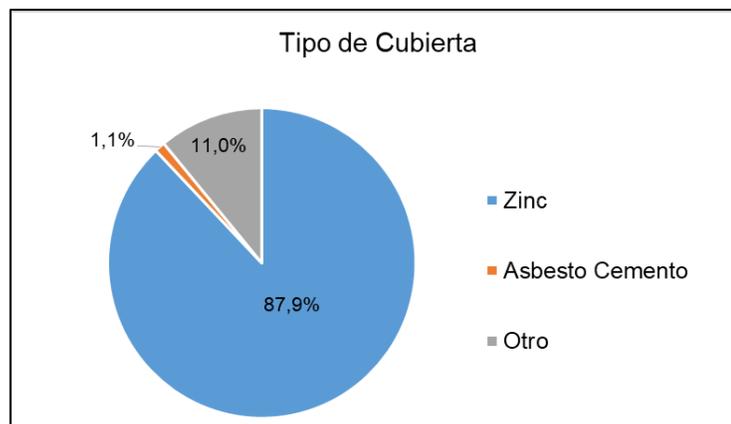


Ilustración 154. Distribución de las edificaciones encuestadas según su tipo de cubierta.

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 105. Pesos - Parámetro: Sistema Estructural.

Parámetro	Calificación
Pórtico	0,2
Prefabricado	0,4
Mampostería Estructural	0,2
Madera	0,9
Mixto	0,8
Muro portante confinado	0,2
Muro portante NO confinado	0,9

Fuente: Geocing SAS.

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

Los resultados de las encuestas realizadas arrojan que el 42,86% corresponde a muro portante no confinado, el 6,59% muro portante confinado, el 4,40% mixto y finalmente con el 2,20% se identificó el sistema de pórticos. De acuerdo a los resultados obtenidos aproximadamente el 43,96% de las edificaciones presentan otro tipo de sistema estructural entre los cuales se encuentra el bahareque. La distribución de esta variable se presenta en la siguiente ilustración.

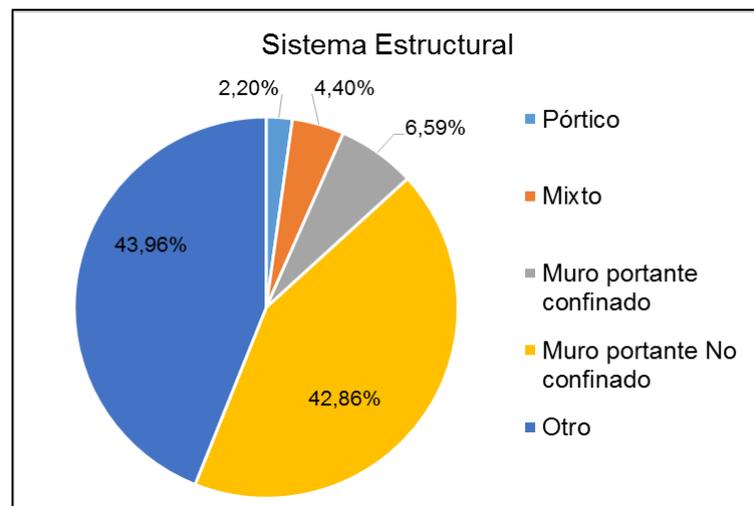


Ilustración 155. Distribución de las edificaciones encuestadas según su sistema estructural.
Fuente: Geocing SAS.

Estado del inmueble

De acuerdo a las características y condiciones actuales de los predios se realizó una categorización de cada uno, se dio una apreciación entre bueno, regular o malo, parámetros que se analizaron y luego del cálculo de los pesos, se obtuvo una calificación descrita a continuación:

Tabla 106. 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 regular con un 80,22% y en estado malo y regular se identificó el 9,89%. La distribución de esta variable se presenta en la siguiente ilustración.

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

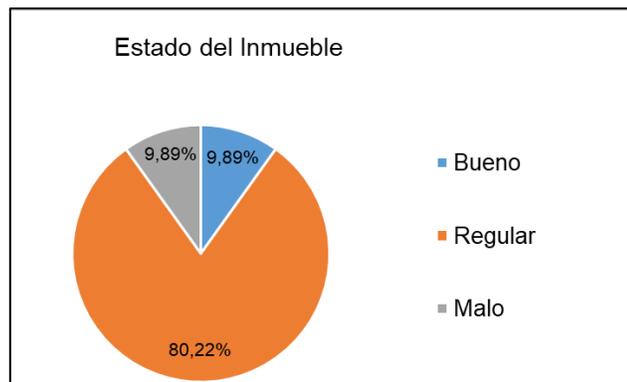


Ilustración 156. Distribución de las edificaciones encuestadas según tipo de daño.
Fuente: Geocing SAS.

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 107. Pesos ponderados - Parámetro: Daños en toda la construcción.

Parámetro	Calificación
Fisuras	0,1169
Grietas	0,2599
Desprendimiento	0,5395
Humedad	0,0837

Fuente: Geocing SAS.

Las edificaciones encuestadas sólo se distribuyen entre 4 tipos de daños propuestos por la presente consultoría. Los porcentajes de los daños presentes en las edificaciones encuestadas se encuentran distribuidos de la siguiente forma: un 43,81% presentan fisuras, con un 29,52% se identificaron grietas, un 22,86% presentan humedades y finalmente con un 3,81% se identificaron desprendimientos. La distribución de esta variable se presenta en la siguiente ilustración.

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

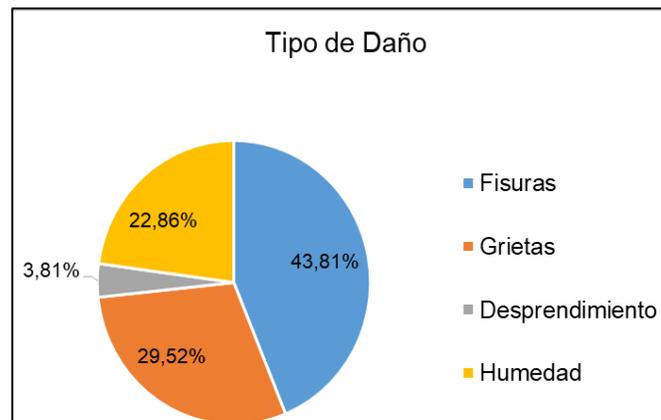


Ilustración 157. Distribución de las edificaciones encuestadas según tipo de daño.
Fuente: Geocing SAS.

Adicionalmente y como complemento a lo expuesto anteriormente en la Tabla 108 y Tabla 109 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 108. Pesos – Parámetro Localización de los Agrietamientos en la Estructura de la edificación.

Parámetro	Calificación
Sin agrietamientos	0,0
Muros	0,7
Columnas	1,0
Vigas	1,0
Pisos	0,2
Techo	0,3

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 109. 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 (33,65%); las viviendas que tienen grietas se encuentran localizadas así: en muros con un 43,27% y en los pisos con un 23,08%. En cuanto a la humedad, el 46,24% de las edificaciones no presentan humedad; las humedades que se identificaron en las viviendas se encuentran localizadas así: el 50,54% de las humedades se encuentran en los muros y el 3,23% en las columnas. Las siguientes ilustraciones indican la distribución de las viviendas según la localización de las grietas y humedades.

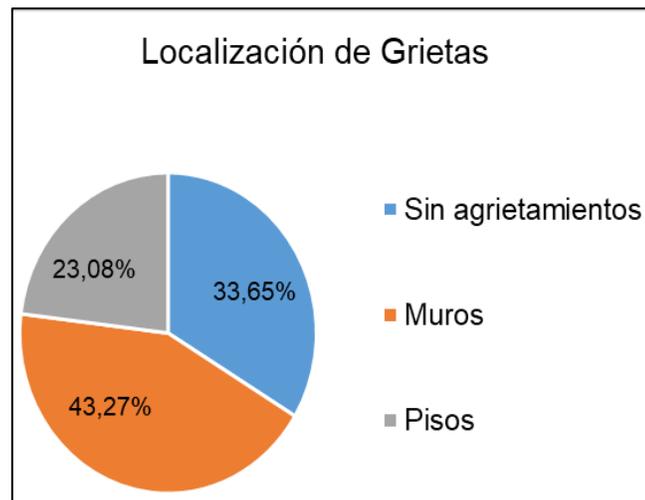


Ilustración 158. Distribución de las edificaciones encuestadas.
Fuente: Geocing SAS.

Severidad de Daños en toda la construcción

En la inspección y revisión de los predios se identifican los signos de daños presentes en las estructuras tales como fisuras, grietas, desprendimientos y niveles de humedad, los cuales evidencian los cambios en las condiciones y estabilidad de las estructuras. De acuerdo a lo anterior se determinó la siguiente calificación para evaluar las severidades medias y altas que presentan los inmuebles de acuerdo con el número aproximado de grietas que se observaron en su estructura.

Tabla 110. 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 46,15% de las edificaciones presentan daños con severidad baja y el 53,85% restante presentan severidad media. En la siguiente ilustración se presenta la distribución de esta variable.

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

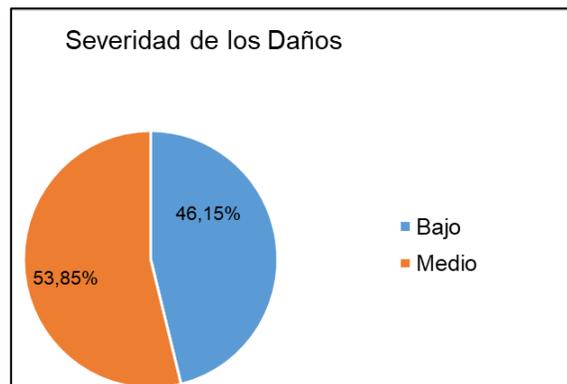


Ilustración 159 Distribución de las edificaciones encuestadas según la severidad de daños.
Fuente: Geocing SAS.

Tipología de la vivienda

El tipo de vivienda y sus características físicas se analizarán dentro del contexto de la vulnerabilidad física, las construcciones en sí mismas, son indicativos de la calidad de vida de los habitantes, por lo cual se determinó la siguiente calificación para cada uno de los parámetros de acuerdo a su influencia:

Tabla 111. 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.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA



Ilustración 160. Vivienda Tipología B1 (Vivienda en materia reciclaje).
Fuente: Geocing SAS.



Ilustración 161. Vivienda Tipología B2 (Vivienda en mampostería sin estructura).
Fuente: Geocing SA S



Ilustración 162. Vivienda Tipología B3 (Edificaciones hasta de dos (02) niveles de buena calidad de construcción (con estructura).

Fuente: Geocing SAS.

En la Ilustración 163 se presenta la tipología de la infraestructura de la zona de estudio; información que fue obtenida a partir de las encuestas realizadas en campo.

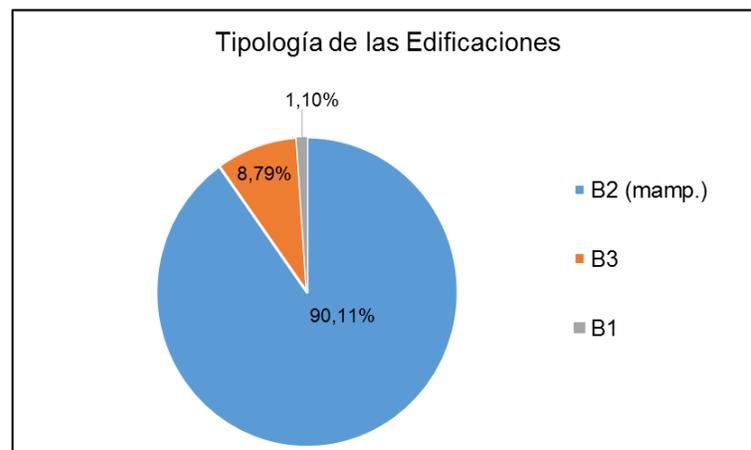


Ilustración 163. Tipología de Viviendas.

Fuente: Geocing SAS.

Como se puede observar la tipología con mayor porcentaje es la B2 Mamp (90,11%) correspondiente a 82 viviendas, B3 (8,79%) con 8 viviendas y finalmente se identificó con tipología B1 (1,10%) 1 vivienda.

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 112** se

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

presenta los pesos ponderados calculados para las variables evaluadas en la vulnerabilidad física por inundaciones.

Tabla 112. 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.

13.2.6 *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 113.

Tabla 113. 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.

13.2.7 *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.

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 factores 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.

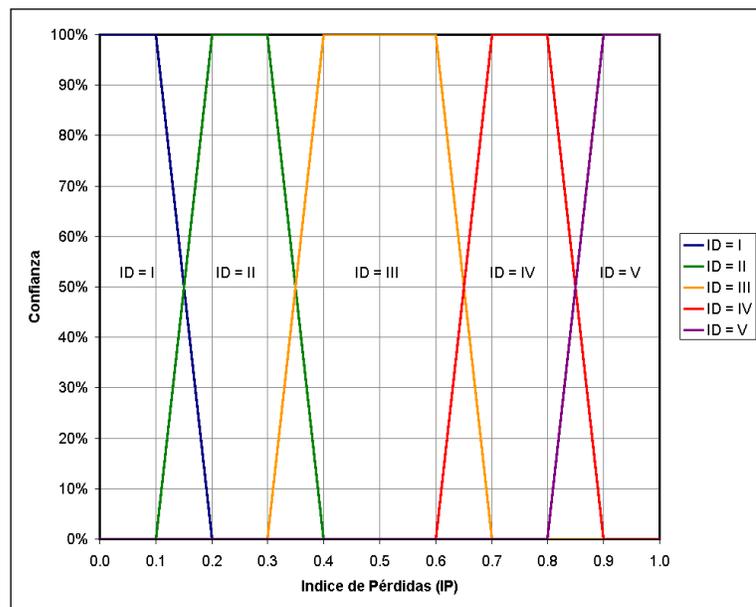


Ilustración 164. Valoración del ID (potencial y actual) utilizando conjuntos difusos.
Fuente: Geocing SAS.

Tabla 114. 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.

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

13.2.8 *Predicción de datos faltantes índice de Vulnerabilidad Física*

Para obtener los resultados que se presentan en las secciones anteriores, se encuestaron un total de 91 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 85% con un error del 7.6%.

Sin embargo, para obtener un panorama general de la zona de estudio se extrapolaron los datos para hallar la información de los predios faltantes. El procedimiento que se utilizó fue el de asignar el promedio de la vulnerabilidad física de las edificaciones encuestadas a cada predio faltante de la zona de estudio. Esto se realiza suponiendo que los predios en cada barrio poseen un índice de vulnerabilidad muy similar dado que no se presentan grandes diferencias en sus aspectos físicos y estructurales.

13.2.9 *Análisis de resultados vulnerabilidad física total por movimientos en masa*

La vulnerabilidad física, según la cual se evaluó 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 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.

La totalidad de sus predios correspondientes a 965 se encuentran categorizada ante un movimiento en masa en media con el 95,8% (924 predios) del total de las construcciones, el 3,7% (36 predios) con alta y 0,5% (5 predios) en baja, tal como se logra identificar en la Ilustración 165.

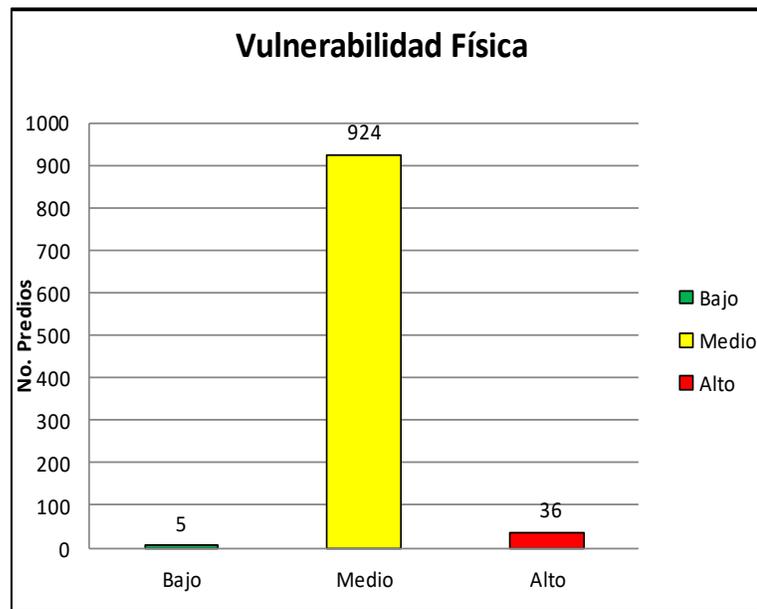


Ilustración 165. Vulnerabilidad Física predios Nátaga- Movimientos en Masa.

Fuente: Geocing SAS.

La categorización de los predios se debe principalmente a las condiciones en las cuales fueron construidos, ya que se logró identificar que los predios no presentan daños considerables en su infraestructura que lleven a presentar una alta vulnerabilidad física; mientras que la categoría media se debe a la longevidad y el sistema estructural de los predios, el cual no es sismo resistente y no cumple con la NSR-10.

La totalidad de las vías se encuentran categorizadas con vulnerabilidad física por movimientos en masa, lo cual representan una longitud de 11,8 Km de los cuales predomina una categoría alta con el 72,5% que corresponde a 8,6 Km, del restante 27,5%, el 24,9% de la infraestructura vial se encuentra en categoría media (2,9 Km) y el 2,6% en categoría baja (0,3Km), como se logra identificar en la Ilustración 166.

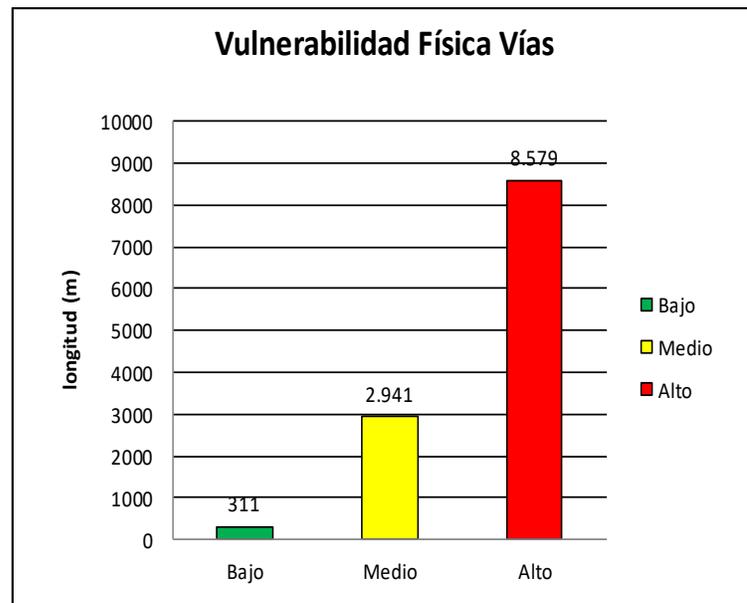


Ilustración 166. Vulnerabilidad Física vías Nátaga- Movimientos en masa.
Fuente: Geocing SAS.

Las categorías media y alta predominan debido a las condiciones en las cuales están construidos las vías y su estado actual, identificando que prevalecen las vías sin pavimentar y vías con daños estructurales como lo son ondulaciones, grietas y huecos, lo cual posibilita una mayor afectación de las mismas en caso de presentarse un movimiento en masa.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA



Ilustración 167. Mapa de vulnerabilidad física por movimientos en masa en el municipio de Nátaga.

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

13.2.10 *Análisis de resultados vulnerabilidad física por inundaciones*

La vulnerabilidad física por inundaciones se obtuvo a partir de la metodología establecida en el capítulo 13.2.3, donde a partir de los valores correspondientes a altura y velocidad del flujo se evaluó la afectación que presentarían los elementos expuestos (Predio, puentes y vías).

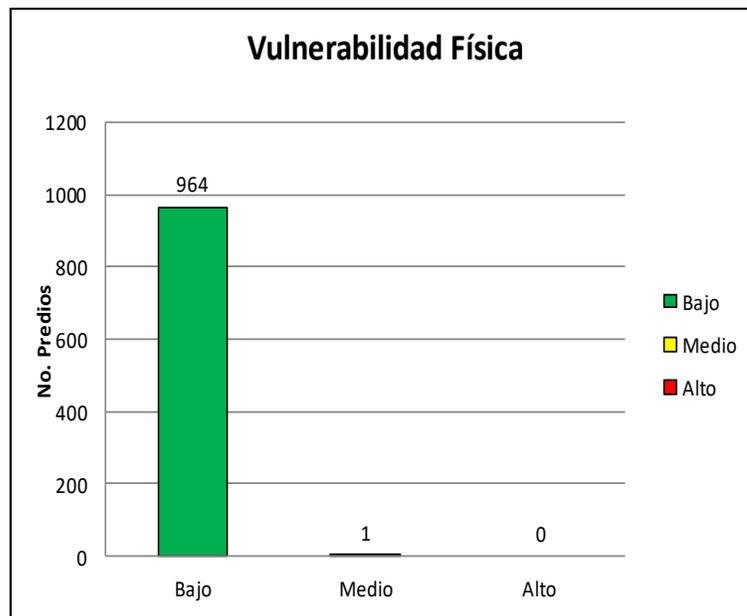


Ilustración 168. Vulnerabilidad Física predios Nátaga- Inundaciones.
Fuente: Geocing SAS.

Según los resultados correspondientes a la modelación de la inundación se establecieron aquellos elementos expuestos que presentarían afectación, identificando que los 965 predios se verían afectados; al identificar los elementos expuestos se evaluaron las condiciones en las cuales se encuentran los predios y la forma en la cual fueron construidos para establecer cómo se comportaría ante la velocidad y altura del flujo correspondiente a la zona donde se encuentran ubicados, según lo anterior 964 predios se categorizaron con vulnerabilidad física baja debido a que los drenajes se encuentran encañonados y por lo tanto la altura de lámina de agua que no alcanza a generar un rebose lateral que afecte los predios; adicionalmente se identificó un predio el cual corresponde a C0241 presenta una vulnerabilidad física media debido a que se encuentra a 4 metros de la quebrada el pueblo, la cual alcanza a presentar un rebose lateral que lo afecta; adicionalmente, el estado de este predio representa una condición de mayor vulnerabilidad debido al sistema estructural y el uso de materiales reciclables.

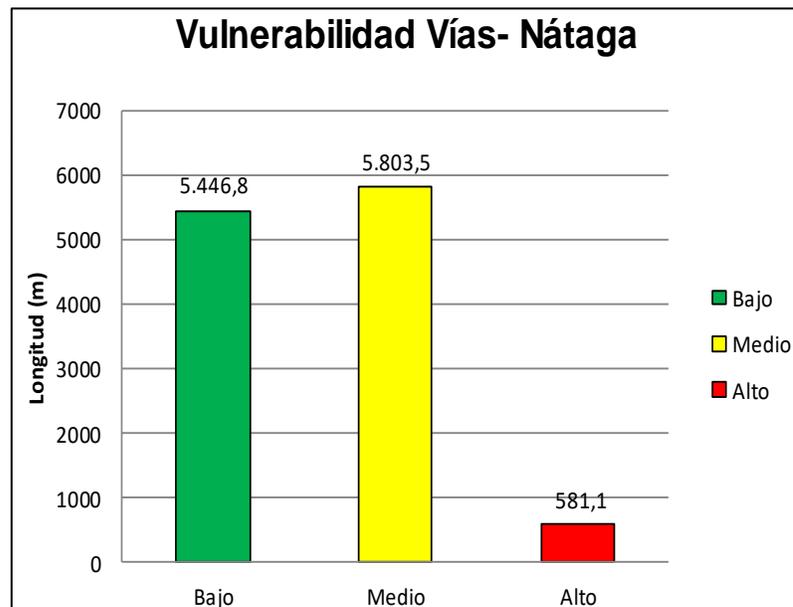


Ilustración 169. Vulnerabilidad Física vías Nátaga- Avenidas Torrenciales.
Fuente: Geocing SAS.

La totalidad de la malla vial correspondiente a 11,8 Km se encuentra expuesta ante una inundación, identificando que predomina la categorización de vulnerabilidad física media con una distancia de 5,8 Km, seguido por la categoría baja con 5,4 Km y la alta con 0,6 Km. Para las categorías de vulnerabilidad física media y alta se establece que se presenta un estado actual de las vías precario identificando que se presentan daños como huecos, ondulaciones, vías sin pavimentar y de carril sencillo. Las tablas con la información compilada por cada tipo de elemento expuesto se presentan en el Anexo 5. Vulnerabilidad y Riesgo.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA



Ilustración 170. Mapa de vulnerabilidad física por inundación en el municipio de Nátaga.

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

13.3 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 45,05% de un total de 91 encuestas; por lo tanto fue necesario realizar un complemento utilizando la información disponible en el DANE, mediante el Sistema de Consulta Información Censal – Censo General 2005. La información encontrada, presenta como menor unidad geográfica la manzana, por consiguiente, dichos análisis se realizaron para las manzanas que componen el casco urbano. En el 13.3.2 se presenta la base de la información utilizada para el análisis.

13.3.1 *Vulnerabilidad Cultural*

La vulnerabilidad cultural se encuentra relacionada con los patrones de pensamiento y medidas con los que diferentes grupos de diversidad cultural entienden las variaciones 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 NÁTAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA</p>

La categorización utilizada durante el estudio de estas variables se presenta a continuación:

Tabla 115. Categorización de los parámetros para la vulnerabilidad cultural.

GRAVEDAD RELATIVA		IVC90	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
		IVC90	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.

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

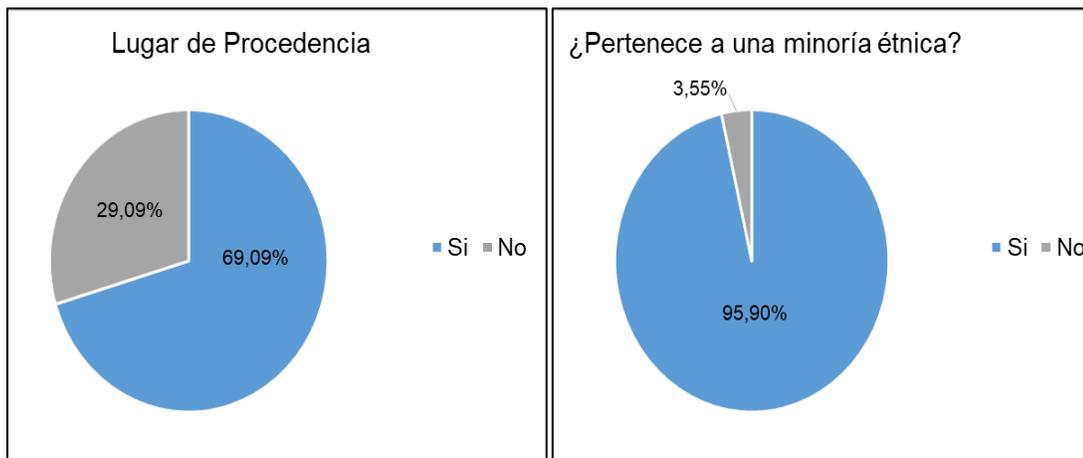


Ilustración 171 Distribución de la población por Lugar de Procedencia y por Pertenencia a una Minoría Étnica
Fuente: Geocing SAS.

Según las encuestas aplicadas e información recopilada, el 69,09% de la población ha sido desplazada de sus hogares en algún momento de sus vidas, el 95,90% de la población pertenecen a una minoría étnica. En las siguientes ilustraciones se presentan las distribuciones de las variables culturales.

Para su análisis, se le asignó un peso de importancia a cada parámetro por persona (Ver Tabla 126). 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 116. 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., 2018

13.3.2 *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

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

y lograr niveles más altos de bienestar ante cambios originados en su entorno por desastres naturales. Los parámetros de evaluación para la vulnerabilidad socioeconómica utilizados fueron:

- Edad Vulnerable.
- Nivel Educativo.
- Limitación Física (discapacidad).
- Uso actual del Predio.
- Actividad Principal.
- Servicios Públicos (Acueducto, Alcantarillado, Luz, Teléfono, Gas).

La categorización utilizada durante el estudio de estas variables se presenta a continuación:

Tabla 117. Categorización de los parámetros para la vulnerabilidad socioeconómica.

Gravedad Relativa		IVS E90	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.
		IVSE90	INDICE DE VULNERABILIDAD SOCIOECONÓMICA CONFIANZA DEL 90%

Fuente: Geocing SAS.

Edad Vulnerable

Como edad Vulnerable se consideró por la Consultoría, los grupos de edades comprendidos en los rangos de Edad de “0 a 5 años”, de “6 a 17 años”, “18 a 24”, “25 a 40”, “41 a 60” y “61 a 104”. Esta consideración de rango de edades vulnerables se tomó debido a que los rangos menores de 17 años y las personas mayores de 61 años tienen una menor respuesta ante un fenómeno amenazante como lo es un movimiento en masa e inundaciones, además de que las personas menores de 17 años aun no tienen una estabilidad económica, requieren mayor atención y formación debido a que apenas un pequeño porcentaje se encuentra en el rango de edad productiva (mayores de 18 años).

Se encontró un alto porcentaje de población infantil de 1 a 17 años, equivalente al 44,13% constituyendo la mayoría en el sector, seguido por una población en edades de 25 a 40 años equivalente al 17,79%, en edades de 41 a 60 años comprendiendo el

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

17,11%, los adultos de 18 a 24 años hacen parte del 10,28% de la población. Entre tanto habita una minoría de adultos mayores en edades superiores a los 60 años, correspondiendo a 10,69% de la población. En la Ilustración 172 muestra la distribución de la población por rangos de edad.

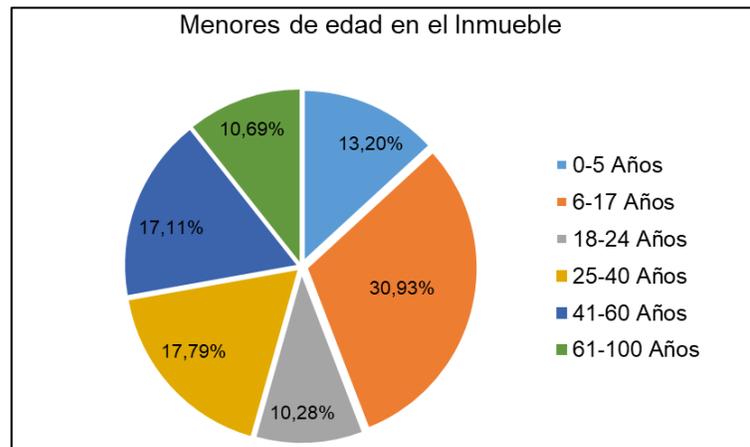


Ilustración 172. Distribución de las edificaciones encuestadas según la cantidad de menores de edad que viven en el inmueble
Fuente: Geocing SAS.

Para su análisis, se le asignó un peso de importancia a cada parámetro por persona, Después se realizó una suma ponderada de estos valores por predio.

Tabla 118. 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.

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

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

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 119. Nuevamente, se realizó la suma ponderada de este parámetro por predio y se categorizo según la Ilustración 173.

Tabla 119. 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 38,25% logró completar los estudios de media técnica, seguido por una población que superó los estudios básica primaria equivalente al 13,59%, el 7,59% de la población realizó estudios de media académica. El 4,88% de la población realizó estudios superiores y postgrados. Adicionalmente el 3,33% de la población únicamente tomo estudios de preescolar; entre tanto existe un porcentaje de población que ha completado sus estudios normalistas con un 0,89%. La Ilustración 173, muestra la distribución del nivel educativo en la población.

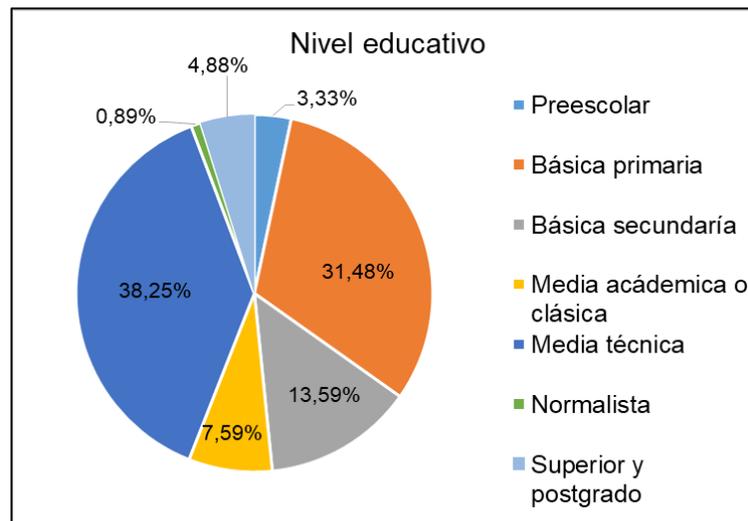


Ilustración 173. Nivel educativo.

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 98,2% 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.

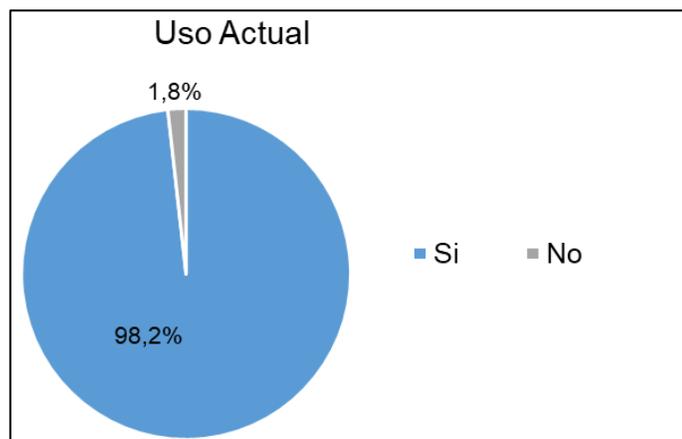


Ilustración 174. Limitación física.

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 120.

Tabla 120. 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 LEA. El 82,9% de los predios se utilizan como viviendas mientras que el 16,3% restante se les da uso económico y al 0,08% se les da uso de LEA. La Ilustración 175 muestra la distribución del uso actual de los predios en la población.

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

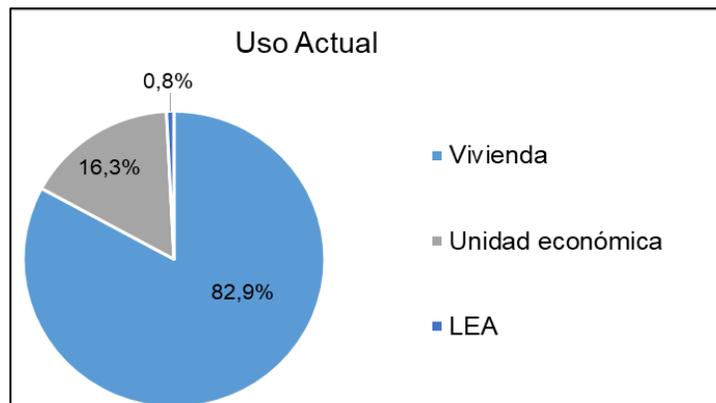


Ilustración 175. Uso Actual de los Predios.
Fuente: Geocing SAS.

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 121.

Tabla 121. 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 energía eléctrica, alcantarillado, acueducto. Seguido de esto, cuenta con teléfono y por el contrario no cuentan con gas natural.

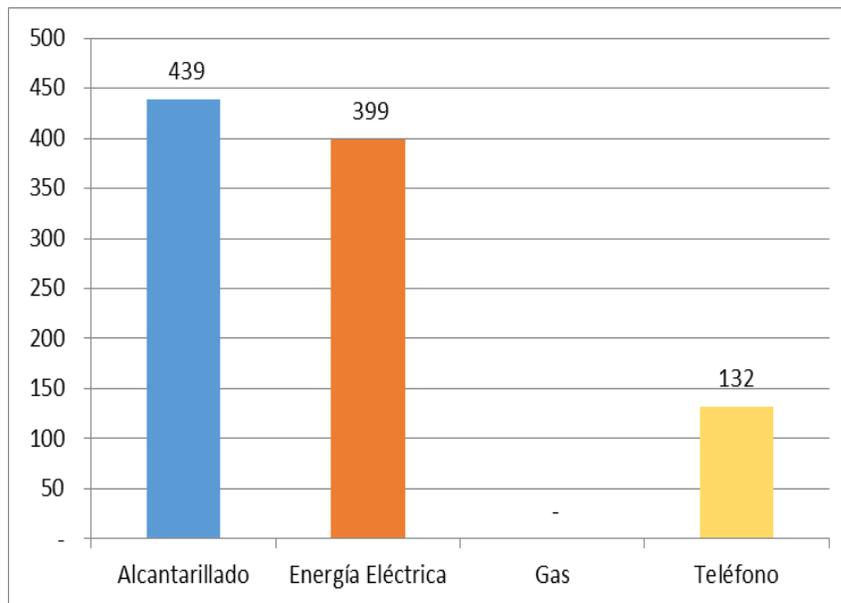


Ilustración 176. Servicios Públicos
Fuente: Geocing SAS.

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

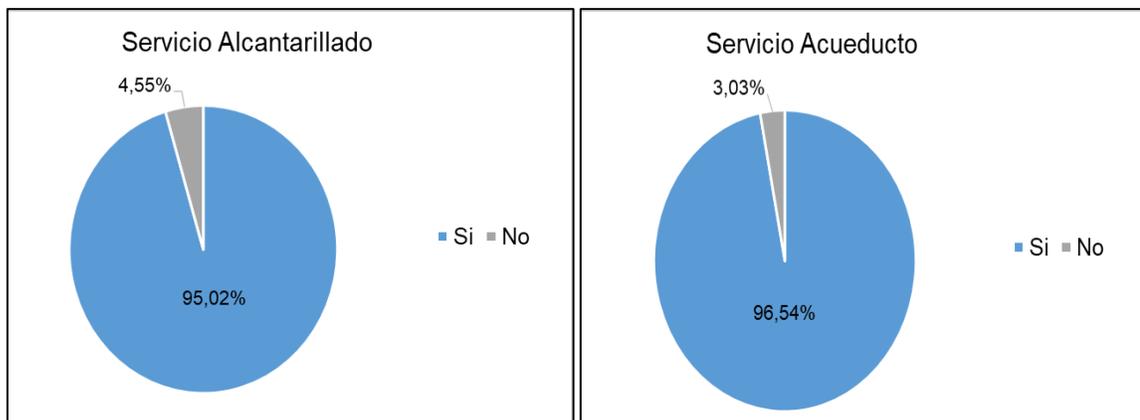


Ilustración 177 Distribución Servicio de Alcantarillado y Acueducto
Fuente: Geocing SAS.

El 96,54% de la población cuenta con servicio de acueducto y el 95,02% con servicio de alcantarillado. Las siguientes ilustraciones indican la distribución de las viviendas que cuentan o no con el servicio de Alcantarillado y Acueducto en la zona de estudio.

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.

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

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

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, se presenta la matriz de comparaciones entre las variables que se tomaron en consideración.

Tabla 123. Matriz de Comparación para la evaluación de las variables de la Vulnerabilidad Socioeconómica

Elemento C \ Elementos R	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 124. Pesos ponderados de las variables obtenidos por el método AHP para la Vulnerabilidad Socioeconómica.

Variable	Peso
Uso Actual	0,059
Vías de Acceso	0,039
Estrato	0,046
Número de Personas	0,129
Número de Menores de Edad	0,256
Minoría Étnica	0,138
Desplazados	0,333

Fuente: Geocing SAS.

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.

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

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 125).

 CAM Corporación Autónoma Regional del Huila <i>Cuidando 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 NÁTAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
 GEOCING S.A.S. Geociencias e Ingeniería	INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA

Tabla 125 Matriz de Comparación Borrosa para el cálculo de pesos difusos de las variables de la Vulnerabilidad Socioeconómica.

variable	Uso Actual			Vías de Acceso			Estrato			Número de Personas			Número de Menores de Edad		
Uso Actual	0,50	1,00	2,00	2,00	3,00	4,00	0,50	1,00	2,00	0,25	0,33	0,50	0,17	0,33	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		
Uso Actual	0,25	0,33	0,50	0,17	0,33	0,25	0,13	0,14	0,17	0,17	0,33	0,25	4,00	5,00	6,00	4,00	5,00	6,00
Vías de Acceso	0,25	0,33	0,50	0,17	0,33	0,25	0,17	0,33	0,25	0,17	0,33	0,25	6,00	7,00	8,00	6,00	7,00	8,00
Estrato	0,25	0,33	0,50	0,17	0,33	0,25	0,13	0,14	0,17	0,13	0,14	0,17	0,50	1,00	2,00	0,50	1,00	2,00
Número de Personas	0,50	1,00	2,00	0,25	0,33	0,50	0,13	0,14	0,17	0,25	0,33	0,50	4,00	5,00	6,00	4,00	5,00	6,00
Número de Menores de Edad	0,50	1,00	2,00	0,25	0,33	0,50	0,25	0,33	0,50	0,50	1,00	2,00	6,00	7,00	8,00	6,00	7,00	8,00
Minoría Étnica	0,50	1,00	2,00	0,25	0,33	0,50	0,25	0,33	0,50	0,25	0,33	0,50	4,00	5,00	6,00	4,00	5,00	6,00
Desplazados	2,00	3,00	4,00	0,50	1,00	2,00	0,25	0,33	0,50	0,25	0,33	0,50	6,00	7,00	8,00	6,00	7,00	8,00
Limitación Física	2,00	3,00	4,00	2,00	3,00	4,00	0,50	1,00	2,00	2,00	3,00	4,00	6,00	7,00	8,00	6,00	7,00	8,00
Mujeres en Embarazo	2,00	3,00	4,00	2,00	3,00	4,00	0,25	0,33	0,50	0,50	1,00	2,00	6,00	7,00	8,00	6,00	7,00	8,00
Simulacros	0,17	0,33	0,25	0,13	0,14	0,17	0,13	0,14	0,17	0,13	0,14	0,17	0,50	1,00	2,00	0,50	1,00	2,00
Capacitaciones	0,17	0,33	0,25	0,13	0,14	0,17	0,13	0,14	0,17	0,13	0,14	0,17	0,50	1,00	2,00	0,50	1,00	2,00

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

Tabla 126. Vector de pesos difusos para las variables evaluadas en la Vulnerabilidad Socioeconómica.

Variable	Wil	Wim	Wiu
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 127. Intervalos izquierdo y derecho ($P\alpha$ -left y $P\alpha$ -right respectivamente) del vector de pesos para la Vulnerabilidad Socioeconómica.

Variable	$P\alpha$	$P\alpha$
Uso Actual	0,045	0,047
Vías de Acceso	0,042	0,045
Estrato	0,024	0,027
Número de Personas	0,070	0,073
Número de Menores de Edad	0,137	0,139
Minoría Étnica	0,074	0,082
Desplazados	0,145	0,148
Limitación Física	0,241	0,250

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

Variable	Pal	Par
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 128. 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.

13.3.3 Categorización Vulnerabilidad Social Total

Los rangos que se utilizaron para la categorización del índice de vulnerabilidad social se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 129. Categorización de los parámetros para la vulnerabilidad social.

GRAVEDAD RELATIVA		IVS90	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
		IVS90	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SOCIAL

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

GRAVEDAD RELATIVA	IVS90	DESCRIPCIÓN
		CONFIANZA DEL 90%

Fuente: Geocing SAS.

13.3.4 *Predicción de datos faltantes Vulnerabilidad Social*

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 190 personas en la zona de estudio. El análisis estadístico de la muestra representativa de los aspectos sociales, presentado en el documento de diagnóstico social, presenta en que el número de encuestados por el consorcio corresponde a una muestra representativa con confiabilidad del 85% y en error del 7,6% 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.

13.3.5 *Análisis de resultados vulnerabilidad social*

Según los parámetros de evaluación de la vulnerabilidad social presentados en el capítulo 13.3.2, se categorizaron los predios de Nátaga que se encuentran expuestos ante alguna amenaza por movimientos en masa se estableció que la totalidad de los predios presentan vulnerabilidad social; 953 predios ubicados en Nátaga presentan vulnerabilidad media (98,8%), el 0,1% de los predios se encuentran categorizado en riesgo bajo (10 predios) y 2 predios se encuentran categorizados en vulnerabilidad social alta (0,2%), como se logra identificar en la Ilustración 178. 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.

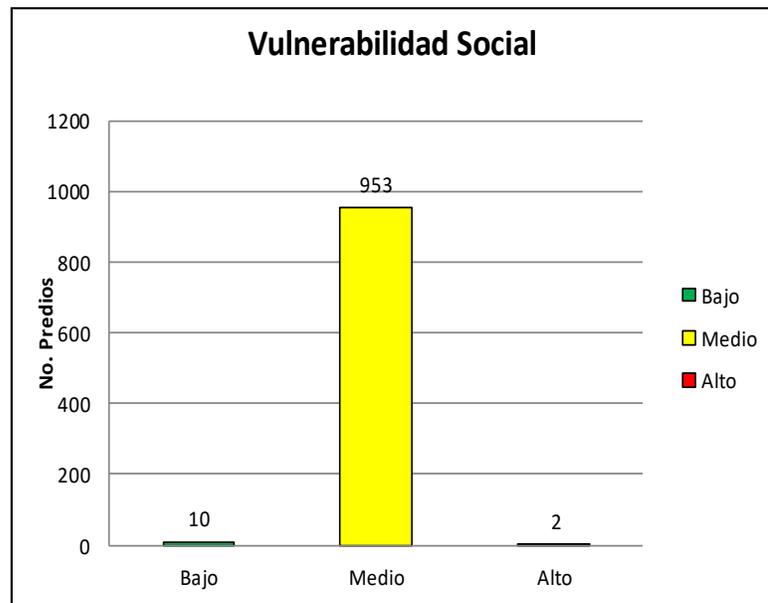


Ilustración 178. Vulnerabilidad Social por movimientos en masa predios Nátaga.
Fuente: Geocing SAS.

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 según los predios según la exposición para la amenaza 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 NÁTAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA

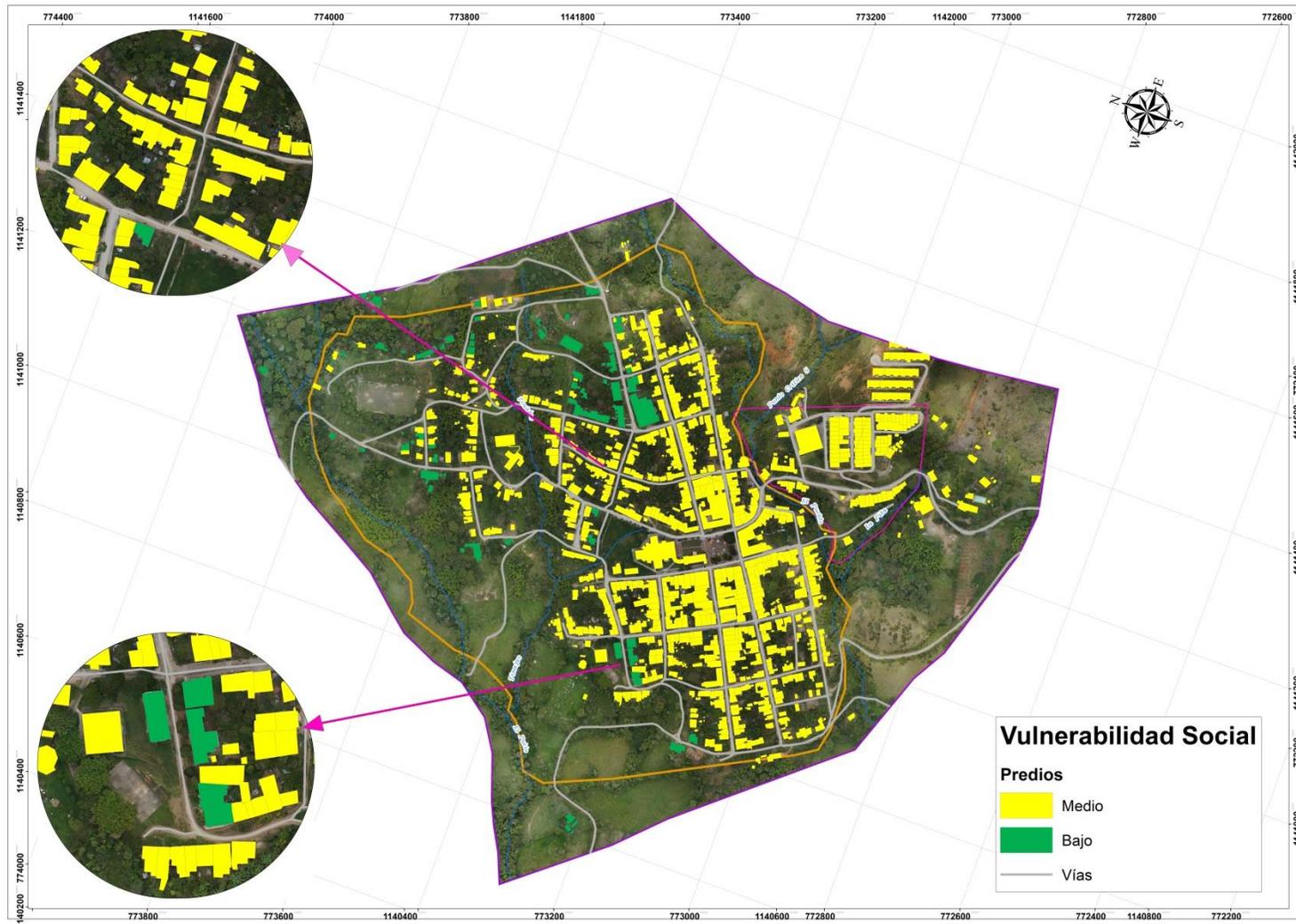


Ilustración 179. Mapa de vulnerabilidad social municipio de Nátaga.
Fuente: Geocing SAS.

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

13.4 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 180, 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.

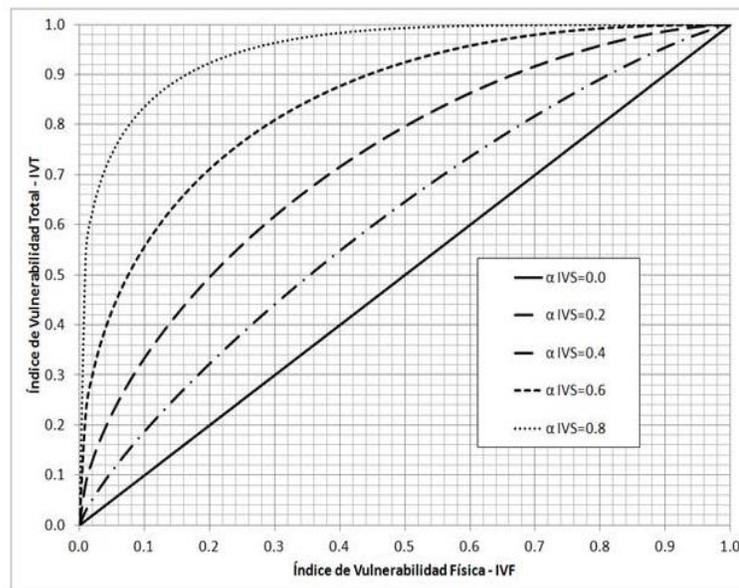


Ilustración 180. Relación entre el índice de vulnerabilidad total con los índices de vulnerabilidad física y social. Fuente: Geocing SAS.

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 180). 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.

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

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

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.

13.4.1 *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 130. 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 130 se colocó el símbolo de $A=0.4$.

Tabla 130. 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 $A=0,490$	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD GLOBAL ALFA = 0.4 CONFIANZA DEL 90%

Fuente: Geocing SAS.

13.4.2 *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.

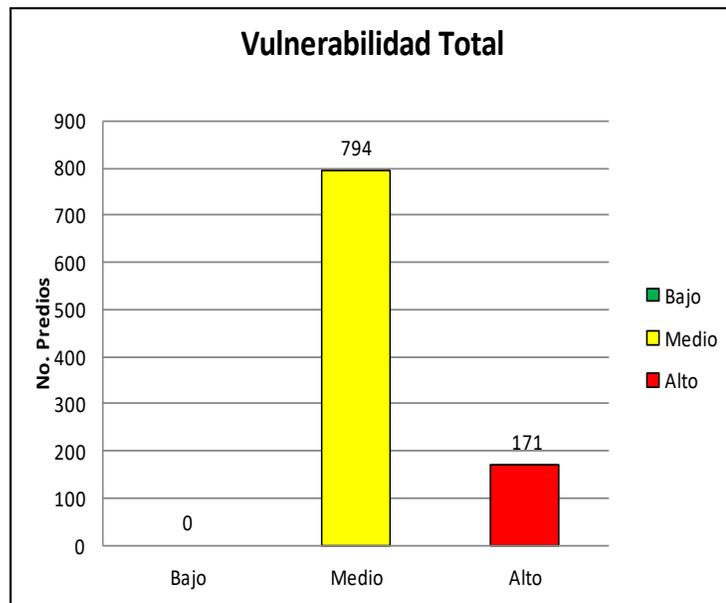


Ilustración 181. Vulnerabilidad Total predios Nátaga- Movimiento en Masa.
Fuente: Geocing SAS.

El total de predios se encuentran categorizados con vulnerabilidad total ante movimientos en masa, de los cuales ninguno presenta categoría 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 82,3% de las construcciones presentan vulnerabilidad total media (794 predios) y el restante 17,7% se categoriza con vulnerabilidad total alta (171 predios), como se logra identificar en la Ilustración 181.

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.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA

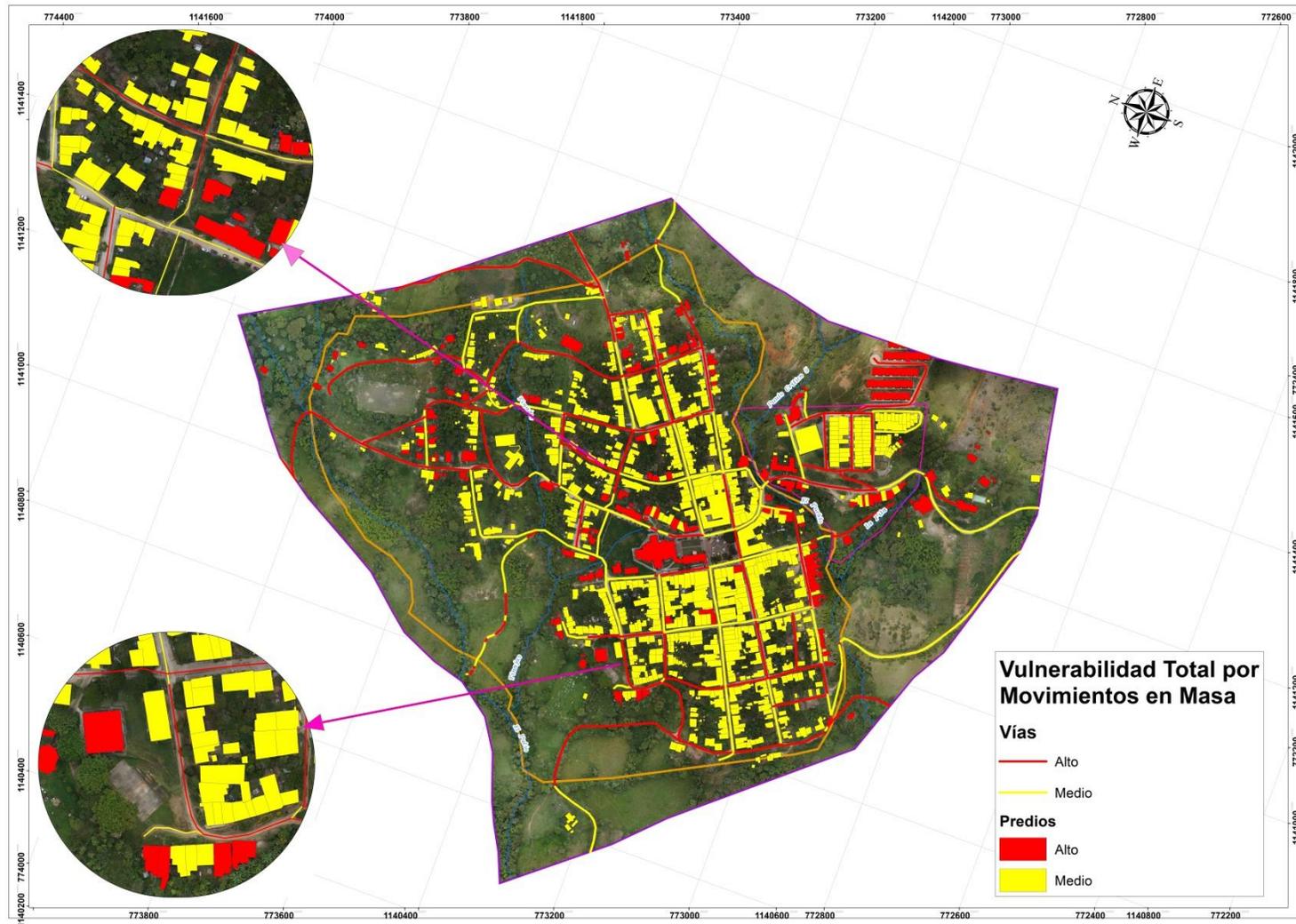


Ilustración 182. Mapa de vulnerabilidad total por movimientos en masa en el municipio de Nátaga.

Fuente: Geocing SAS.

Dirección de correo: Calle 120 No. 49-44

Teléfono (1) 7046969 / (1) 7458541

Bogotá D.C. Página 292 de 363

13.4.3 *Análisis de resultados vulnerabilidad total por inundaciones*

El cálculo de la vulnerabilidad total se da por la ecuación propuesta por Soler et al (1999), la cual se da en función de los resultados de la vulnerabilidad física y social presentada en los capítulos 13.2.5 y 13.3.2. Según los resultados presentados en la Ilustración 183, se logra identificar que el 99,9% se encuentran categorizados con vulnerabilidad total baja con un valor de 964 predios, el restante 0,1% que corresponde a un predio (ID SIG C0241) se encuentra categorizado con vulnerabilidad total media debido a que se ubica en los primeros 5 metros de ronda de la quebrada El Pueblo. Los resultados correspondientes a vulnerabilidad total se encuentran de manera detallada en el Anexo 5. VULNERABILIDAD Y RIESGO- para cada uno de los predios.

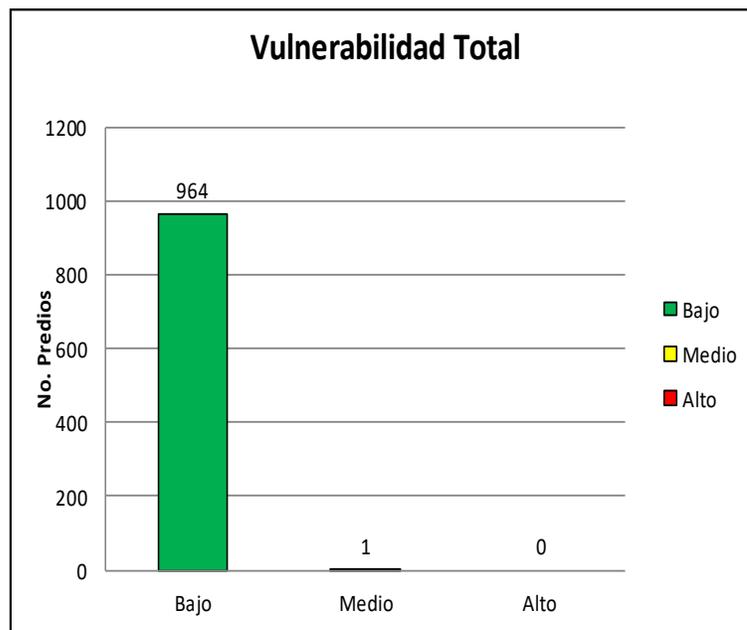


Ilustración 183. Vulnerabilidad Total predios Nátaga- Inundación.
Fuente: Geocing SAS.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA

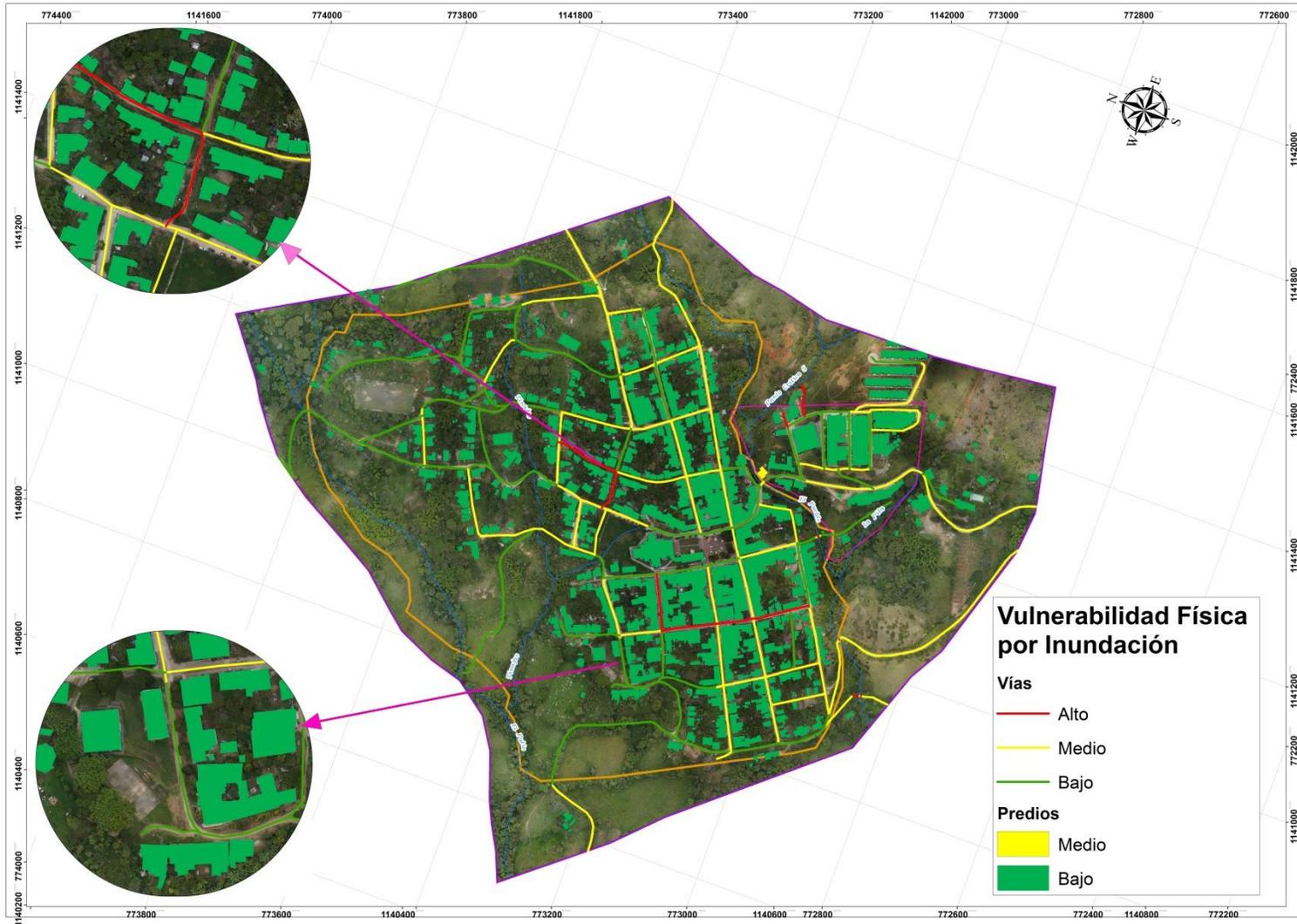


Ilustración 184. Mapa de vulnerabilidad total por inundación en el municipio de Nátaga.

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

14 RIESGO

14.1 GENERALIDADES

El riesgo es el grado de pérdidas de toda índole (pérdidas humanas, heridos, daños a las propiedades y afectación a la economía) debido a la ocurrencia de un desastre en un sitio específico vulnerable con una amenaza particular (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”.

14.2 COSTO DIRECTO DE LOS ELEMENTOS EN RIESGO

Como se mencionó y desarrolló anteriormente en el capítulo de Vulnerabilidad, existen elementos en riesgo (elementos expuestos) los cuales se podrán ver afectados en el momento en que se materializara una amenaza tanto por movimientos en masa como de inundación.

Resumiendo lo presentado en el capítulo de vulnerabilidad física, se identificaron 2 tipos de elementos expuestos:

- Edificios o construcciones de diferentes categorías y tipologías.
- Infraestructura Vial.

Siguiendo este orden de ideas y con el objetivo de calcular el riesgo económico directo (valor de las pérdidas económicas esperadas), se hace necesario calcular el valor o costo de los elementos expuestos. En las siguientes secciones se presenta la metodología utilizada.

14.2.1 *Costo por Construcción*

Para calcular el costo de las construcciones se parte del inventario de predios obtenido por la consultoría por medio de las encuestas realizadas en la zona de estudio y de esta información se extrae el número de pisos y estrato que poseen las viviendas. Por otro lado, por medio del programa ArcGIS se calculó el área que le correspondía a cada construcción.

Para el cálculo del costo estimado de la construcción se obtuvo el valor del metro cuadrado de la edificación y del terreno por medio del método de mercado de la zona de estudio en el cual se indagaron tipologías, áreas, números de pisos y localización. De la información antes mencionada, se obtuvo un valor por metro cuadrado y este fue el que se empleó para el cálculo del costo por cada construcción.

La fórmula del costo de la construcción se muestra a continuación:

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

14.2.2 *Costo por infraestructura Vial*

El costo de la infraestructura vial es una variable que tiene en cuenta la característica de construcción de la estructura, ya que es diferente el método de construcción de una vía nacional (VU1-Primer Orden) a una vía interveredal (VU3-Tercer Orden), la cual no cuenta con todas las características y especificaciones de una vía Nacional, de acuerdo a su importancia.

El sistema de infraestructura Nacional está constituido por la interconexión de cuatro mallas clasificadas de acuerdo a su centralidad, volumen de tránsito y conectividad entre las mismas. La siguiente tabla indica las especificaciones para cada tipo de sistema vial:

A continuación se establecen las especificaciones para el sistema vial primario municipal, el cual está conformado por el conjunto de vías o malla que permite la intercomunicación vial al interior y exterior del municipio, hacen parte de este sistema las siguientes vías nacionales, departamentales y municipales.

Para la zona urbana se tiene la siguiente clasificación:

VÍA URBANA DE PRIMER ORDEN (VU-1): Interconecta los centros donde discurren las principales actividades urbanas con los diferentes barrios.

- ✓ Ancho total: 15 metros mínimos.
- ✓ Ancho y número de calzadas: 2 calzadas de 7 metros cada una.
- ✓ Ancho separador central: 1 metro.
- ✓ Ancho de andenes: 3 metros mínimo en las zonas centrales y comerciales; 2 metros en zona de vivienda.
- ✓ Radio mínimo de empate: 5 metros.
- ✓ Retrocesos: en zonas comerciales 2 metros mínimo.
- ✓ En zonas de Vivienda: 5 metros a partir del paramento propuesto para ante jardín.
- ✓ Se permite estacionamiento en un solo costado.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE NÁTAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA</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 vías. En la Tabla 131 se presentan los costos estimados por metro para cada tipo de vía identificado en la zona de estudio.

Tabla 131. Costo estimado para las vías (Valor en m/l)

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

SISTEMA VIAL PRIMARIO	TIPO DE VÍA	CONVENCIÓN	COSTO ESTIMADO POR M/L
Vías nacionales	Vías de primer orden	VU1	\$ 2,420,000.00
Vías departamentales	Vías de segundo orden	VU2	\$ 1,870,000.00
Vías municipales interveredales	Vías de tercer orden	VU3	\$ 1,320,000.00
Vías urbanas	Vías de cuarto orden	VU4	\$ 660,000.00
Vías veredales o ramales	Vías de quinto orden	VU5	\$ 440,000.00

Fuente: INVIAS (2015)

Los costos de la Tabla 131 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.

14.3 MÉTODO DE ANÁLISIS

La calificación del riesgo se realiza mediante una evaluación cualitativa que tiene en cuenta el índice de riesgo total de los elementos expuestos y lo clasifica en las categorías de riesgo aceptable, tolerable o inaceptable. En esta sección se presenta la metodología y análisis del cálculo del índice de riesgo, riesgo económico directo y su categorización.

El denominado riesgo (económico, social o ambiental, según sea el sector que represente al usuario) se puede simular mediante el modelo dinámico del tipo integral (Rivera, 2001). 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 185.

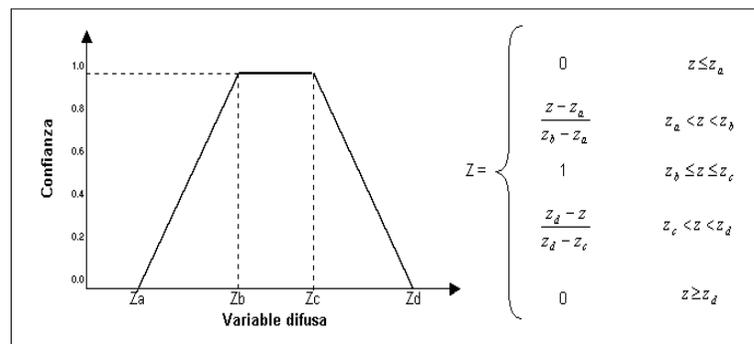


Ilustración 185. Conjuntos difusos trapezoidales. Fuente: Geocing SAS.

Los números difusos trapezoidales (Ver Ilustración 185) 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

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

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.

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).

14.3.1 *Cálculo Del Riesgo Global Por Zona*

Para poder realizar el análisis es necesario el cálculo del índice de riesgo (IR_Z) por zona de estudio. Este cálculo se realiza mediante la utilización de un promedio ponderado del índice de riesgo (IR) de los elementos expuestos que se encuentran en dicha zona. La fórmula se muestra a continuación:

$$IR_Z = \frac{\sum IR_i * Ce_i}{\sum Ce_i}$$

Donde,

IR_i = índice de riesgo de los diferentes elementos expuestos

Ce_i = costo de cada elemento expuesto

Con la anterior fórmula es posible asignarle una categoría de riesgo a la zona, sin embargo, para asignar la categoría lingüística es necesario contar también con el índice de vulnerabilidad total (IVT) y la amenaza total (probabilidad de ocurrencia acumulada total a 50 años, $[P(Dz)50]T$) de dicha zona.

El índice de vulnerabilidad total (IVT_Z) se halla de manera similar que el IR_Z . La fórmula utilizada es la siguiente:

$$IVT_Z = \frac{\sum IVT_i * Ce_i}{\sum Ce_i}$$

Donde,

IVT_i = índice de vulnerabilidad total de los diferentes elementos expuestos

Ce_i = costo de cada elemento expuesto

Una vez se conocen los valores del IVT_Z e IR_Z se despeja la probabilidad de ocurrencia acumulada total a 50 años $[P(Dz)50]_Z$ para la zona de la fórmula para el cálculo del índice de riesgo.

$$P(Dz)_{50Z} = \frac{IR_Z}{IVT_Z}$$

14.3.2 Criterios Aplicados

Para la categorización del IR se utiliza la Ilustración 186. Esta gráfica enseña de forma visual el criterio de decisión adoptado para asignar el nivel de riesgo. Asimismo, la Tabla 132 muestra el nivel de riesgo, su descripción y los rangos que encierran cada criterio de decisión.

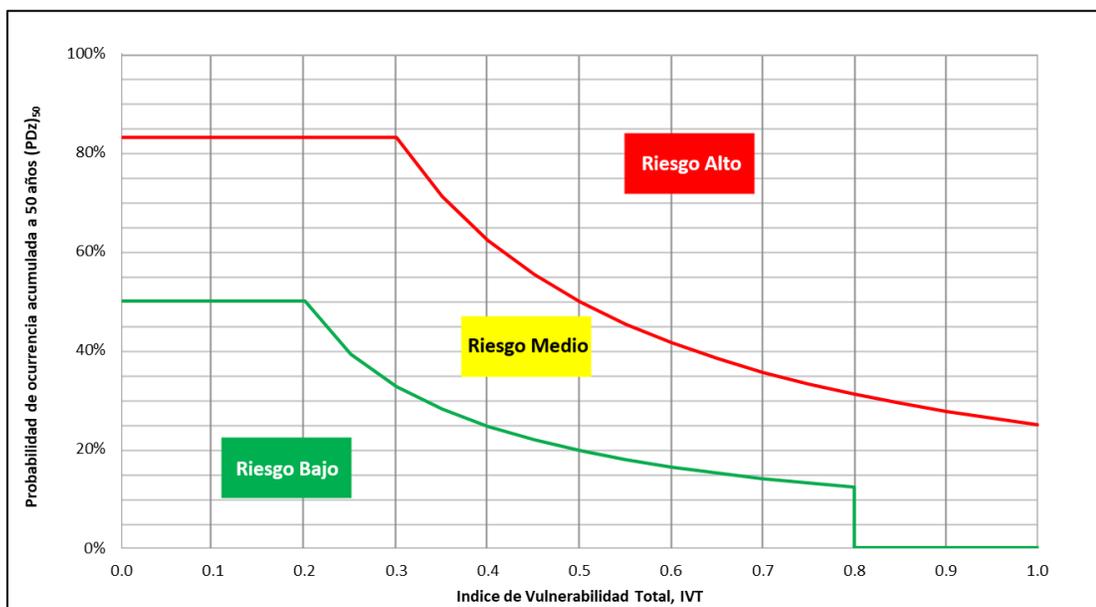


Ilustración 186. Categorización del nivel de riesgo el cual depende del índice de vulnerabilidad total en el eje x y la probabilidad de ocurrencia acumulada a 50 años en el eje y.

Fuente: Geocing SAS.

Como se observa en la Ilustración 186, 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.

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

Tabla 132. 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><i>Si $IVF < 0.30$ y $P(DZ)_{50} \geq 83\%$</i> <i>Si $IRT \geq 0.25$, para $IVF \geq 0.30$</i></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 del evento.	<p><i>Si $50\% \leq P(Dz)_{50} < 80\%$ y $IVF < 0.20$</i> <i>Si $0.10 \leq IRT < 0.25$, para $0.125 \leq IVF < 0.85$</i> <i>Si $IRT \leq 0.25$, para $IVF \geq 0.85$</i></p>
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><i>Si $P(Dz)_{50} < 50\%$ y $IVF < 0.20$</i> <i>Si $IRT < 0.10$, para $0.20 \leq IVF < 0.80$</i> <i>N. A., para $IVF \geq 0.80$</i></p>

Fuente: Geocing SAS.

14.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA

De acuerdo a la distribución de los índices de riesgo de los elementos expuestos presentados en la Ilustración 187 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.

A partir de los resultados correspondientes a amenaza, vulnerabilidad y riesgo obtenidos para los elementos expuestos fueron calculados los valores de IVTZ, $(P(DZ)_{50})Z$ e IRZ, los cuales representan el valor total y permiten estimar el riesgo total del mismo, como se logra identificar en la Tabla 133.

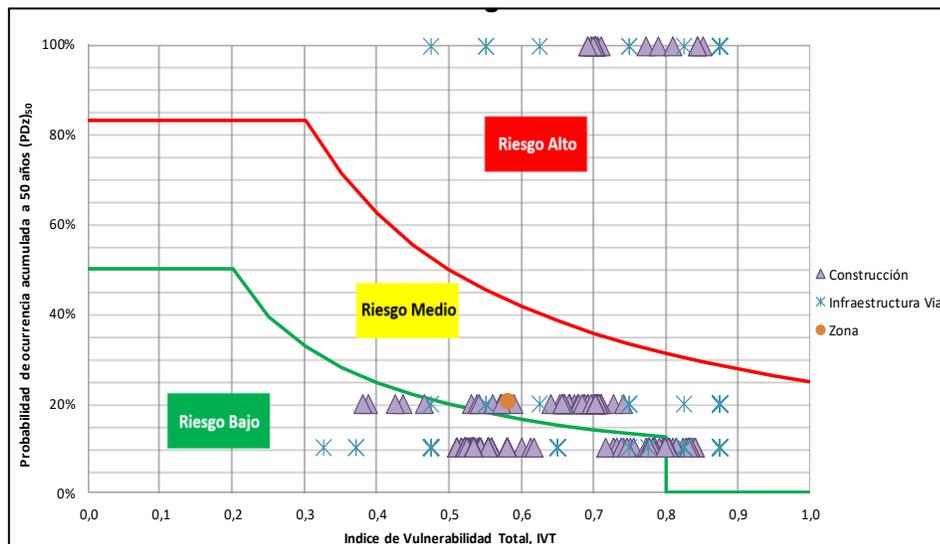


Ilustración 187. Categorización del nivel de riesgo por movimientos en masa de los elementos expuestos para el escenario actual.
Fuente: Geocing SAS.

Tabla 133. Valores de los índices de vulnerabilidad, amenaza y riesgo por movimientos en masa.

Zona de Estudio	IVT _z	(P(Dz) ₅₀) _z	IR _z
Nátaga	0,58	0,20	0,12

Fuente: Geocing SAS.

Según la Ilustración 187 y la Tabla 133, se encuentra categorizado con riesgo medio por inundaciones, debido a que la mayor parte de los elementos expuestos se encuentran en la misma categoría de riesgo. El nivel de riesgo medio implica que para el municipio no se requieren acciones de manera inmediata pero si es necesario evaluar de manera prioritaria y puntual los elementos expuestos respecto al riesgo correspondiente ante inundaciones y las correspondientes pérdidas económicas que implicarían.

Respecto al riesgo económico que representan las construcciones categorizadas con riesgo por movimientos en masa, se establecen unas posibles pérdidas de \$14.611.859.470, como se logra identificar en la Ilustración 188. Cabe resaltar que a pesar que los predios en riesgo alto representan el 3,6% del total de predios en riesgo, estos representan el 49,1% 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 96,4% del riesgo económico se encuentra distribuido un 83,7% en riesgo bajo (808 predios) con unas pérdidas económicas esperadas de \$5.321.711.131 y el 12,6% del total de los predios en riesgo medio (122 predios) con \$1.722.790.023 pesos.

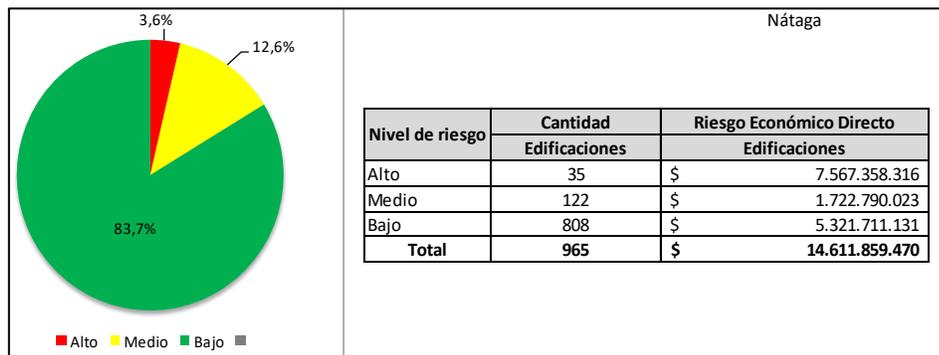


Ilustración 188. Distribución del número de construcciones y pérdidas económicas esperadas para las categorías de riesgo por movimientos en masa.
Fuente: Geocing SAS.

El total de las vías se encuentra categorizado con riesgo ante inundación, lo cual corresponde a un tramo vial de 11,83 Km y un riesgo económico directo de \$791'284.995, de los cuales el 4,3% (\$ 244'042.833) de las pérdidas están asociadas al riesgo alto a pesar de ser un tramo vial de tan solo 0,51 Km, esto debido a que la afectación esperada en las vías es mayor en comparación con las otras categorías. Un tramo vial de 6,7 Km esta categorizado con riesgo medio con unas pérdidas esperadas de \$301'774.241 y bajo con 4,6 Km respectivamente y representa un riesgo económico de \$245'467.922 (Ver Ilustración 189).

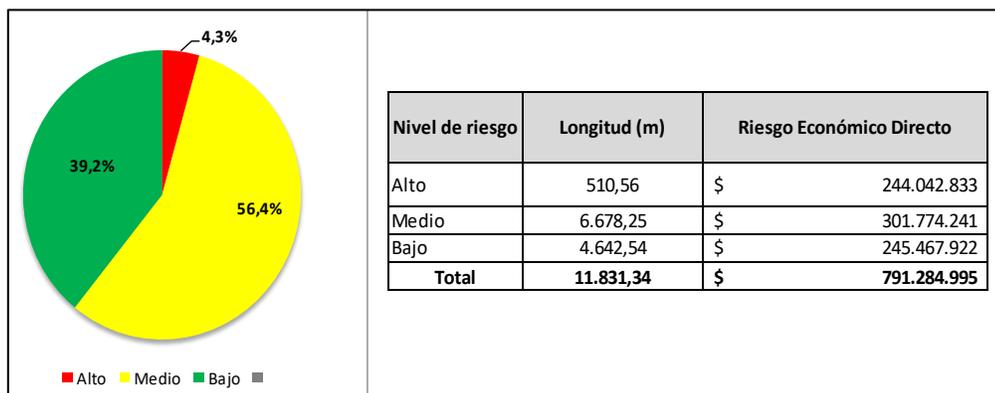


Ilustración 189. Distribución de las pérdidas económicas esperadas de la infraestructura vial que se encuentra dentro de las categorías de riesgo por movimientos en masa.
Fuente: Geocing SAS.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA

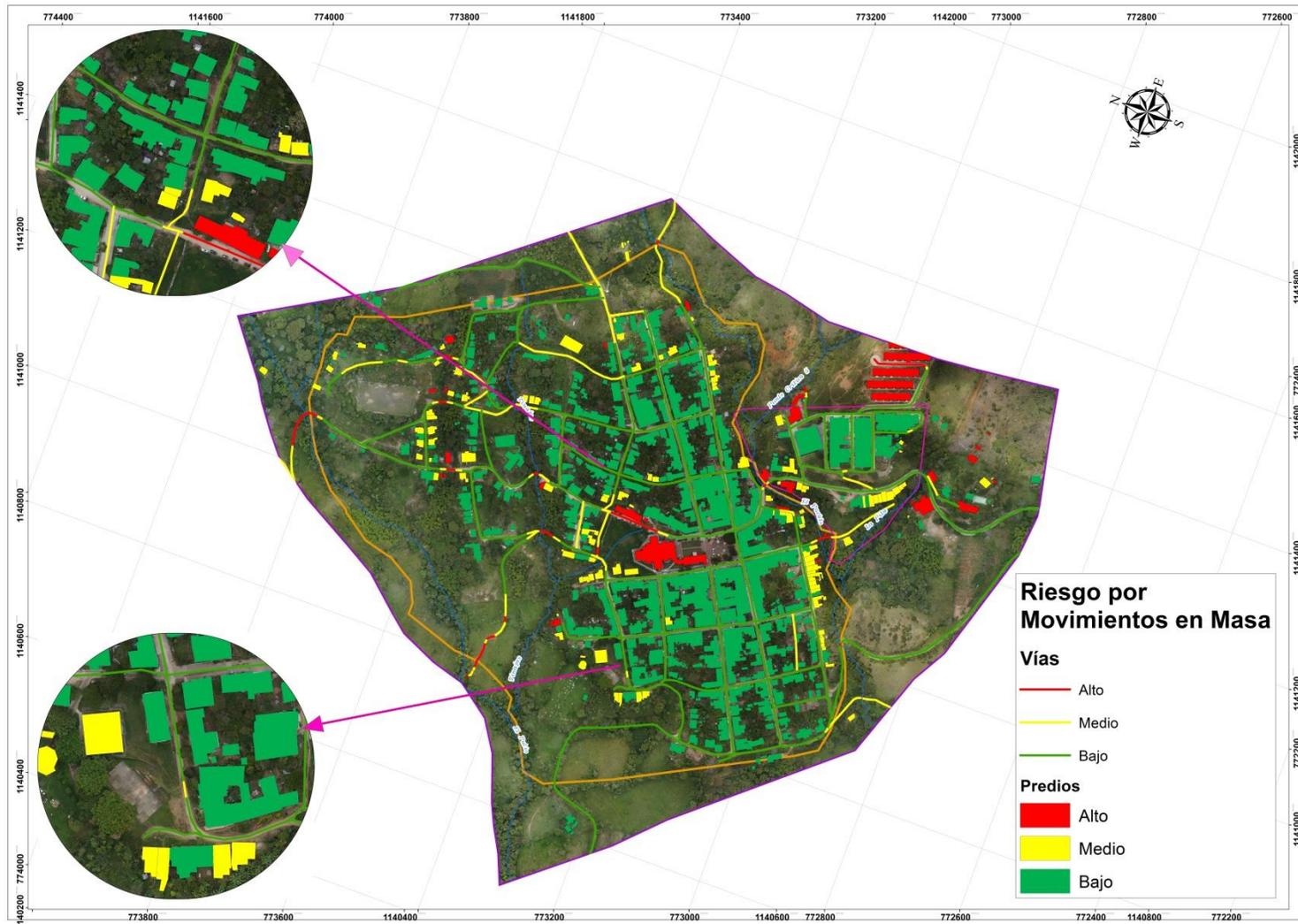


Ilustración 190. Mapa de riesgo por movimientos en masa municipio de Nátaga
Fuente: Geocing SAS.

14.5 RESULTADOS OBTENIDOS DEL RIESGO POR INUNDACIÓN

Como se logra identificar en la Ilustración 191 se presenta la distribución de los predios y vías ubicados dentro de las diferentes categorías de riesgo por inundación, esto a partir de los resultados obtenidos por amenaza y vulnerabilidad total, estableciendo que la distribución de estos elementos expuestos no es homogénea debido a que todos presentan una diferente categorización por amenaza, las diferentes características físicas de los predios, las condiciones socioeconómicas y características culturales de la población. Esta distribución no representa cuantitativamente los elementos expuestos en cada categoría de riesgo debido a que algunos de estos presentan el mismo índice. En el Anexo 5. Vulnerabilidad y riesgo, se presentan los resultados correspondientes al IR y la categorización de cada de cada elemento expuesto.

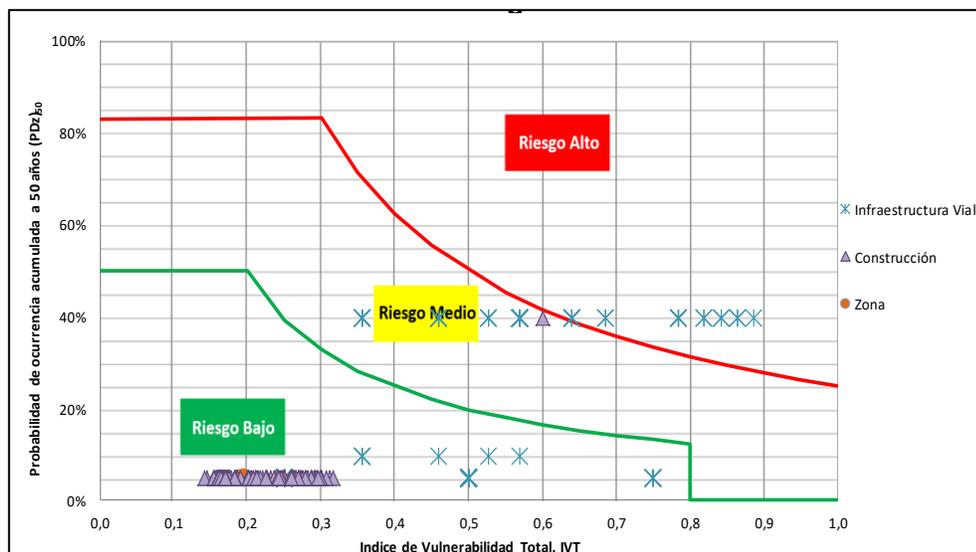


Ilustración 191. Categorización del nivel de riesgo por inundación de los elementos expuestos para el escenario actual.

Fuente: Geocing SAS.

A partir de los resultados obtenidos para los elementos expuestos se categoriza el riesgo según los resultados correspondientes a IVT y $(P(Dz)_{50})_z$, obteniendo un índice de riesgo igual a 0,01 lo que categoriza al municipio con un riesgo bajo, tal como se presenta en la Tabla 134, y de manera gráfica en la Ilustración 191 como zona.

Tabla 134. Valores de los índices de vulnerabilidad, amenaza y riesgo por inundación

Zona de Estudio	IVT _z	$(P(Dz)_{50})_z$	IR _z
Nátaga	0,19	0,1	0,01

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

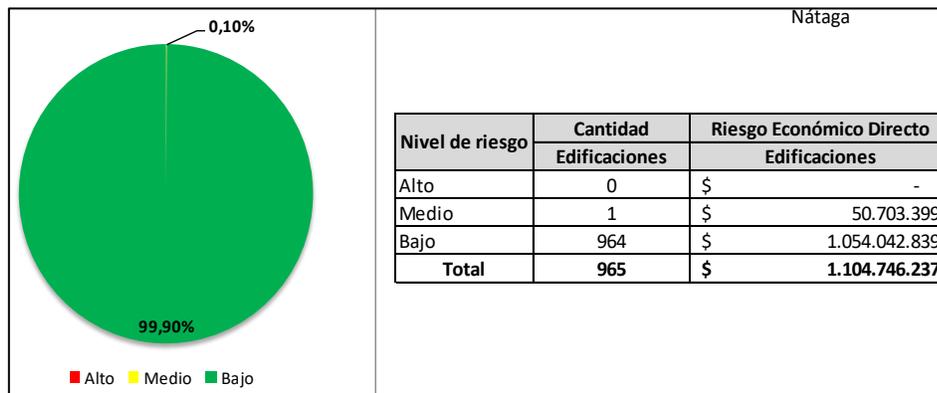


Ilustración 192. Distribución del número de construcciones y pérdidas económicas esperadas para las categorías de riesgo por Inundación.

Fuente: Geocing SAS.

En la Ilustración 192 se presentan las pérdidas económicas y cantidad de predios correspondiente a cada categoría de riesgo por inundación, estableciendo que el 99,9% de los predios presentan riesgo bajo con un riesgo económico de \$1.054´042.839 y únicamente el 0,1% corresponde a riesgo medio. se encuentra ningún predio en riesgo alto.

Las vías en riesgo presentan un riesgo económico total de \$ 166´879.419 como se presenta en la Ilustración 193, del total de estas pérdidas el 99,7% se encuentran categorizadas en riesgo bajo lo que corresponde a 11,79 Km, los 0,04 Km restantes se encuentran en categoría de riesgo medio y alto con el 0,02 Km respectivamente, esta infraestructura de consolidarse el riesgo representaría una pérdidas económicas de \$ 6´173.871.

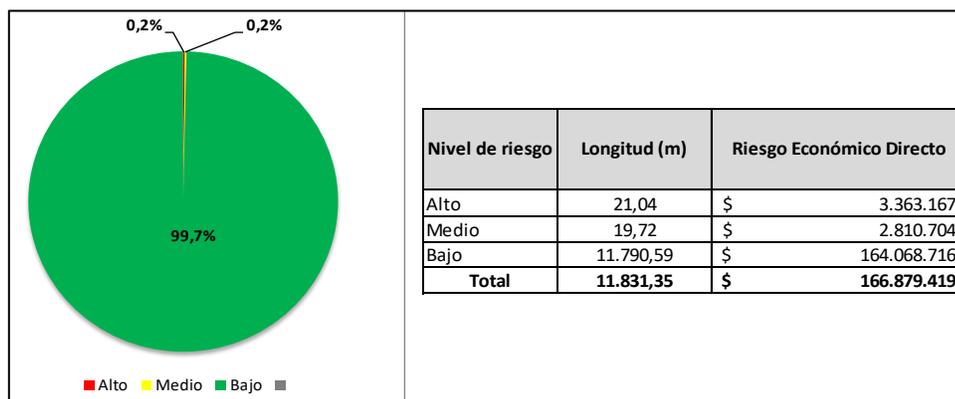


Ilustración 193. Distribución de las pérdidas económicas esperadas de la infraestructura vial que se encuentra dentro de las categorías de riesgo por Inundación.

Fuente: Geocing SAS.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA

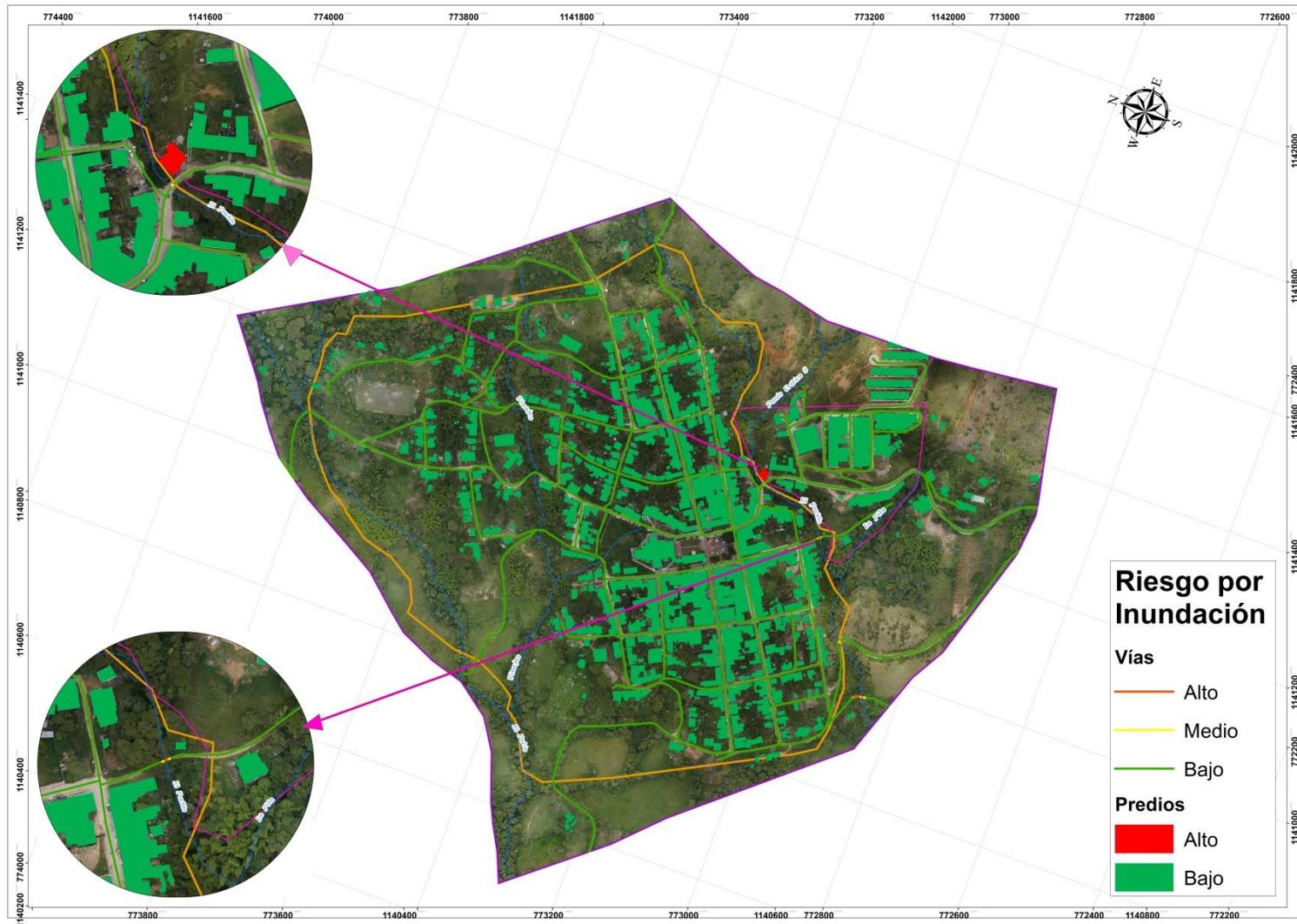


Ilustración 194. Mapa de riesgo por inundación municipio de Nátaga.

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

15 MEDIDAS DE MITIGACIÓN

De acuerdo a los resultados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa e inundación, se establecieron obras de mitigación para aquellos elementos expuestos que presentaban afectación ante un evento; estas medidas se categorizaron como medidas estructurales y no estructurales.

15.1 MOVIMIENTOS EN MASA

15.1.1 *Medidas no estructurales*

Las zonas que se encuentran en riesgo alto se localizan en zonas de pendiente alta y se ven afectadas por la infiltración de agua de escorrentía y subsuperficial, además de por acciones antrópicas, como el inadecuado uso del suelo; factores que contribuyen a la generación de erosión tipo reptación que sumados con las lluvias intensas producen movimientos en masa.

De acuerdo a lo descrito, se debe garantizar el control de erosión, mantenimiento de los taludes de cortes para vivienda de mayor magnitud, un adecuado manejo de aguas superficiales y de infiltración, y se debe evitar dejar los taludes expuestos garantizando su vegetalización y de esta forma se mitiga la susceptibilidad a presentarse deslizamientos.

En razón, a que se debe garantizar un sistema de colección de aguas superficiales y de infiltración y un correcto descole de las aguas captadas para evitar la infiltración sobre el talud reconformado, como medida a seguir, se debe garantizar el adecuado uso de suelo, no permitir por parte de las autoridades que la comunidad realice intervenciones antrópicas que afecten la estabilidad del mismo, y todos los taludes que se generen para los cortes de construcción de viviendas de deben revegetalizar con el fin de mitigar la afectación de la erosión hídrica.

Con lo que se evidencia en el mapa de amenaza por movimientos en masa, los márgenes / taludes de los cauces se encuentran categorizados como Amenaza Media, razón por la cual se deben proteger los márgenes de las quebradas, evitando la ocupación de las mismas. De igual, forma en las zonas del área urbana por las cuales discurren las quebradas se deben garantizar que no se altere la dinámica fluvial de las mismas, y en los puntos donde se reduce la sección hidráulica debido a la presencia de obras menores hidráulicas se debe garantizar que estas se encuentren libres de residuos para evitar la colmatación y una posible erosión de los taludes de los márgenes.

En las partes altas por las cuales discurre el cauce de las quebradas, se recomienda realizar campañas de conservación ambiental en las zonas de las laderas de e implementar un plan de manejo de agua y adecuado uso de suelo con el fin de

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

disminuir las afectaciones a los taludes naturales y mantener el equilibrio natural de estabilidad en el cual se encuentran.

15.1.2 *Medidas Estructurales*

- **Punto Crítico 1- Iglesia**

Movimiento en masa tipo Deslizamiento Rotacional, se presenta en la parte central del área de estudio, en un predio ubicado al costado norte de la iglesia en el cual se observa un hundimiento desde la vía al costado oriental de la iglesia la cual ha sido reparada varias veces. Este hundimiento se presenta en forma de “cuchara” o como una concavidad que se extiende hasta el predio, además de presentar lobulaciones a través de la superficie como se puede ver en Ilustración 195.

Como factores contribuyentes importantes a este movimiento se encuentran: la infiltración y el paso superficial de escorrentía por aguas residuales o servidas, la naturaleza heterogénea de los materiales involucrados (contacto suelo – roca), las variaciones en el nivel freáticos. El vector principal de desplazamiento de este deslizamiento va de suroriente a noroccidente. Posiblemente el factor detonante este asociado principalmente a la pendiente y la altura del talud afectado, el cual fue expuesto por cortes realizados en el sector, afectando su geometría e inestabilizando el terreno. Como consecuencia de este movimiento, se generaron fracturas con apertura máxima de 2 cm en los muros de la Iglesia



Ilustración 195. Deslizamiento rotacional en un predio contiguo a la Iglesia

Fuente: Geocing SAS.

En razón que la problemática de la zona se ve afectado por un inadecuado y mal manejo de aguas de infiltración y sub superficiales, se propone entonces para la mitigación del riesgo por movimientos en masa, instalar obras de drenaje superficial con el fin de controlar las fluctuaciones del nivel piezométrico. Dado que actualmente la vía no tiene un manejo de las aguas de infiltración se debe instalar una cuneta perimetral-longitudinal a la vía en el tramo de 115 m.

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

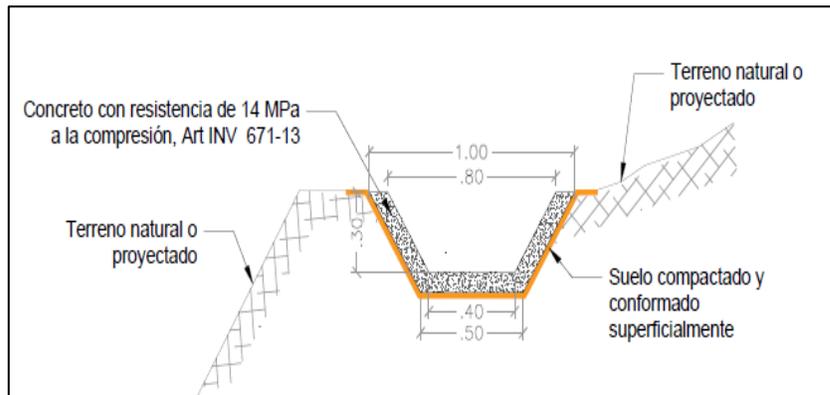


Ilustración 196 Cuneta longitud de la vía.

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.

Una propuesta integral es la disminución de la afectación en toda el área, por lo cual en la vía actual se debe realizar la conformación del terraplén de la vía y con el fin de garantizar la estabilidad local con un muro en suelo mecánicamente estabilizado con material geo sintético tipo Geomalla de resistencia a tensión de 70 KN/m, con altura mínima de 3.0 m, y conformado en capas de 0.30 m de espesor, compactado por medios mecánicos a una densidad máxima del 95% de la obtenida en el ensayo Próctor modificado. En la Ilustración 197 se presenta la tipología del muro en suelo mecánicamente estabilizado y posteriormente en la Ilustración 198.

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

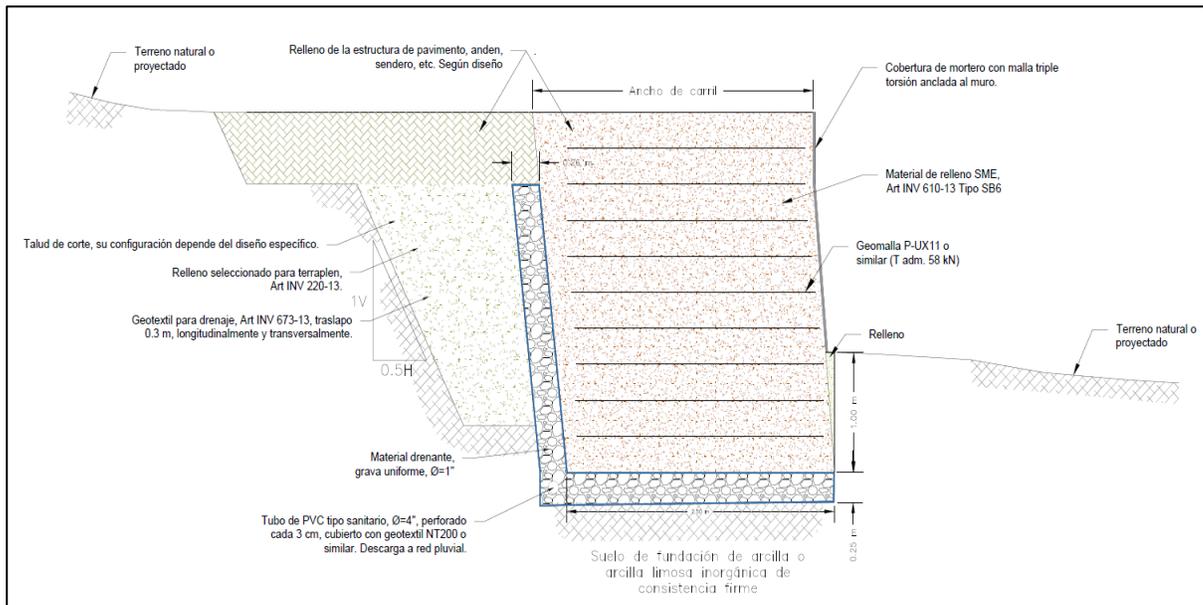


Ilustración 197 Tipología muro en tierra armada H 3.0 m.
Fuente: Geocing SAS.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDAS TORRENCIALES EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE NATAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>				
PRESUPUESTO DE MURO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO					
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	1860	\$ 2,076	\$ 3,860,616
1.2	Aislamiento y protección de la zona a intervenir H= 2.0 m en repisa y lona verde	ml	285	\$ 10,300	\$ 2,935,563
2 EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL					
2.1	Excavación en material seleccionado	m ³	1280	\$ 13,857	\$ 17,737,441
2.2	Transporte y disposición final de escombros en sitio autorizado (distancia de transporte 20 km)	m ³	1510	\$ 19,934	\$ 30,100,340
3 OBRAS DE MITIGACIÓN					
3.1	Relleno seleccionado para terraplenes	m ³	1090	\$ 111,438	\$ 121,467,384
3.2	Geomalla de resistencia a tensión de 70 KN/m P-UX11	m ²	3650	\$ 17,258	\$ 62,991,572
3.3	Material granular drenante	m ³	160	\$ 59,200	\$ 9,472,048
3.4	Geotextil No Tejido NT-2500	m ²	1370	\$ 7,038	\$ 9,641,841
3.5	Concreto 3000 psi Cuneta Trapezoidal	m ³	14	\$ 620,948	\$ 8,665,949
VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO DE MURO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO					\$ 266,872,754
AIU 30%					\$ 80,061,826
VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS					\$ 346,934,580

Ilustración 198 Presupuesto para Muro mecánicamente estabilizado SMR.
Fuente: Geocing SAS.

Por otra parte, en este punto crítico según el análisis multitemporal realizado para el área de estudio, se logra identificar la existencia de un antiguo drenaje que trascurría su cauce por el actual eje del deslizamiento, como se logra identificar en la Ilustración 131



Ilustración 199 Localización del drenaje antiguo
Fuente: Geocing SAS.

De manera inicial se propone el perfilaje de la parte superior del deslizamiento, con el fin de disminuir la sobre carga del material movilizado, en la “pata” de cada una de las terrazas conformadas deben implementar medidas de manejo de aguas subsuperficiales, para este caso, trincheras drenantes de ancho 1.0 m y 2.0 m de profundidad, dispuestas en forma de “espina de pescado” como se puede ver en la Ilustración 195 a Ilustración 198.



Ilustración 200 Localización en planta de las trincheras drenantes, dispuestas en espina de pescado.
Fuente: Geocing SAS.

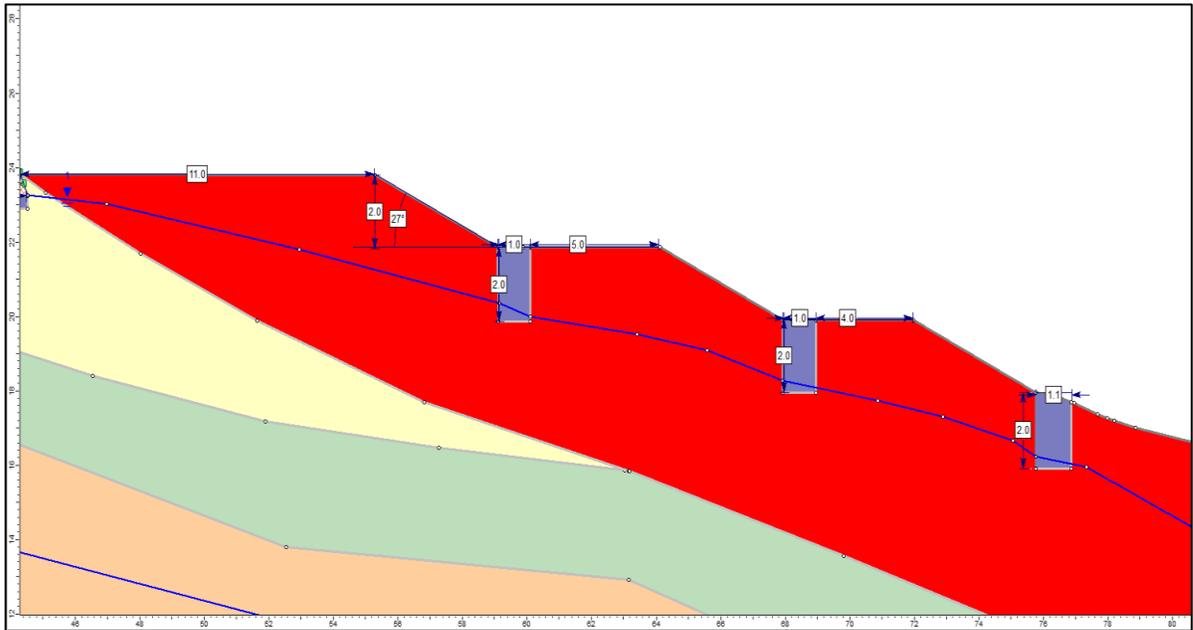


Ilustración 201 Perfil de terraseo propuesto para el talud inestable junto con las trincheras drenantes.
Fuente: Geocing SAS.

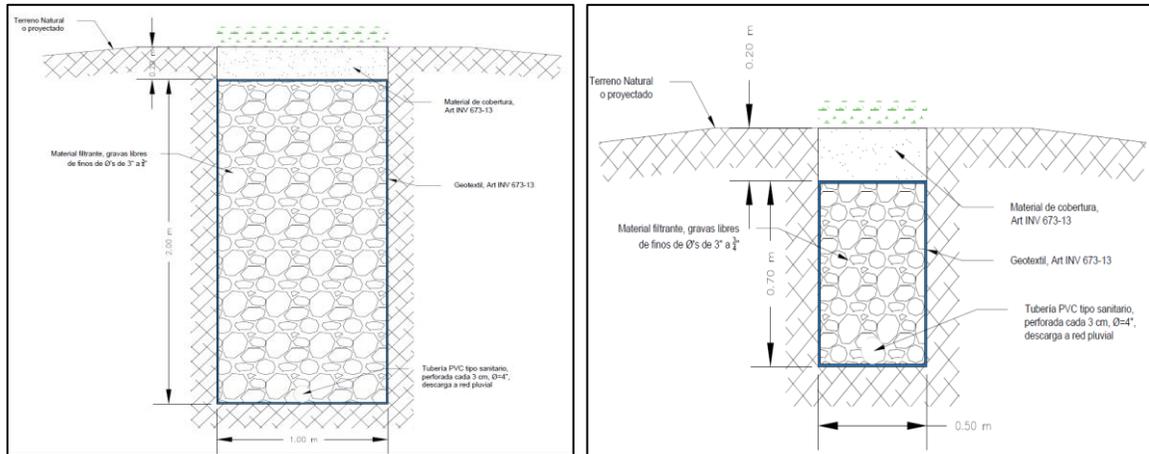


Ilustración 202. Detalle de la trinchera drenante central.
Fuente: Geocing S.A.S.

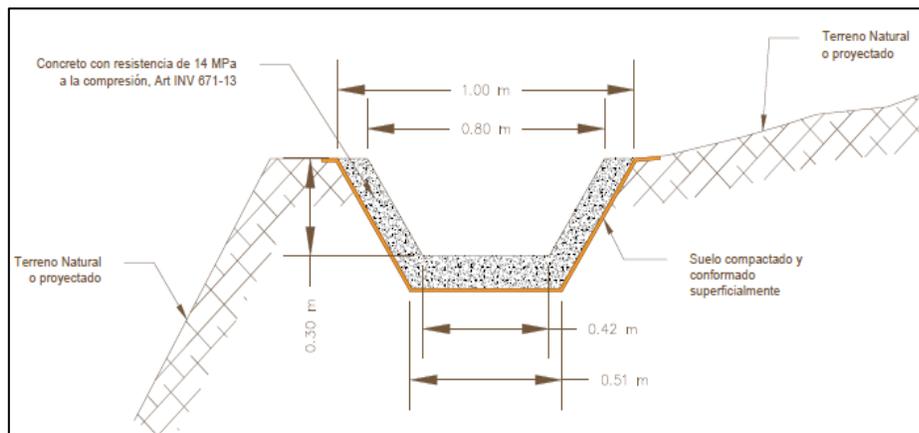


Ilustración 203. Esquema cunetas trapezoidales.
Fuente: Geocing S.A.S.

Todas las estructuras de subdrenaje deben dar cumplimiento con las especificaciones técnicas del Instituto Nacional de vías, especialmente con los Artículos INV-671-13 e INV-6736-13 y sus especificaciones relacionadas.

Se propone en la parte media y base del deslizamiento cultivar especies de vegetación nativa, ya que el perfil de suelo tiene capas delgadas de suelo que con la presencia de vegetación aumentan su densidad y su resistencia con la profundidad; las raíces penetran hasta encontrar un estrato competente, dándose un anclaje entre las diferentes capas del suelo lo cual contribuye a la estabilidad general del talud. A continuación se presenta, el análisis de estabilidad el talud con la implantación de las medidas propuestas. En la Ilustración 199 y Ilustración 205 los respectivos análisis y posteriormente en las Ilustración 206 y Ilustración 207 se adjuntan los costos estimados para las medidas de mitigación.

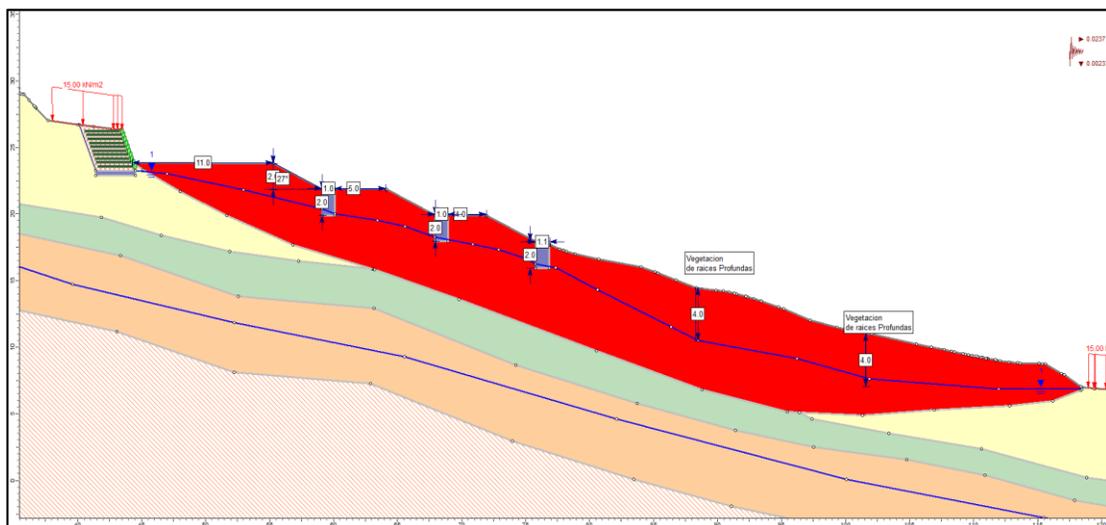


Ilustración 204 Vista en perfil de las obras de mitigación.
Fuente: Geocing SAS.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA

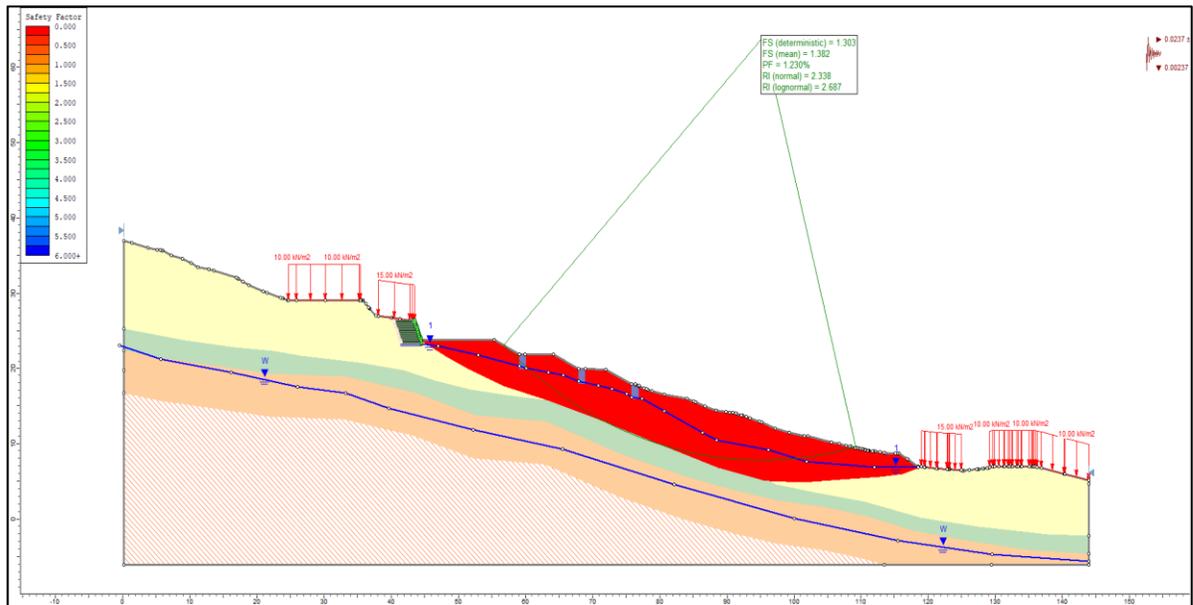


Ilustración 205. Estabilización con las obras de mitigación FS 1.30

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 NATAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>	
--	---	--

PRESUPUESTO DE DESCAPOTE

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	2213	\$ 2,076	\$ 4,593,303
1.2	Aislamiento y protección de la zona a intervenir H= 2,0 m en repisa y lona verde	m ^l	194	\$ 10,300	\$ 1,998,243
2	EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL				
2.1	Excavación en material seleccionado	m ³	1800.00	\$ 13,857.38	\$ 24,943,277
2.2	Transporte y disposición final de escombros en sitio autorizado (distancia de transporte 20 km)	m ³	800.00	\$ 19,934	\$ 15,947,200
VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO DE DESCAPOTE					\$ 47,482,022
AIU 30%					\$ 14,244,607
VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS					\$ 61,726,629

Ilustración 206 Presupuesto estimado para Descapote- Perfilaje + Retiro material antrópico

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

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

PRESUPUESTO DE TRICHERAS DRENANTES					
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	2800	\$ 2,076	\$ 5,811,680
1.2	Aislamiento y protección de la zona a intervenir H= 2,0 m en repisa y lona verde	ml	220	\$ 10,300	\$ 2,266,048
2	EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL				
2.1	Excavación en material seleccionado	m ³	510.00	\$ 13,857.38	\$ 7,067,262
2.2	Transporte y disposición final de escombros en sitio autorizado (distancia de transporte 20 km)	m ³	250.00	\$ 19,934	\$ 4,983,500
3	OBRAS DE MITIGACIÓN				
3.1	Material granular drenante	m ³	200	\$ 59,200	\$ 11,840,060
3.2	Geotextil No Tejido NT-2500	m ²	675	\$ 6,205	\$ 4,188,607
VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO DE TRICHERAS DRENANTES					\$ 36,157,158
AJU 30%					\$ 10,847,147
VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS					\$ 47,004,305

Ilustración 207 Presupuesto estimado para Trincheras drenantes.

Fuente: Geocing SAS.

En la zona perimetral del predio se debe garantizar un adecuado manejo de aguas provenientes de la vía en la parte superior del terreno inestable, donde actualmente existe un dissipador de energía el cual se le debe realizar mantenimiento con el fin de recuperar su funcionalidad.

- **Punto Crítico 2- Cancha de Fútbol**

Se identifica una posible combinación de varios tipos de deslizamientos (Movimiento complejo), evidenciado por las grietas y los hundimientos y montículos en el terreno. Este proceso se presenta en la ladera oriental de la cancha de fútbol ubicada al noreste de Nátaga. En la ladera se observan hundimientos, pequeños escarpes no cartografiados e inclinación de la vegetación, por lo que se infiere que están actuando más de un movimiento (superficiales y un poco más profundos) (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 NÁTAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA</p>

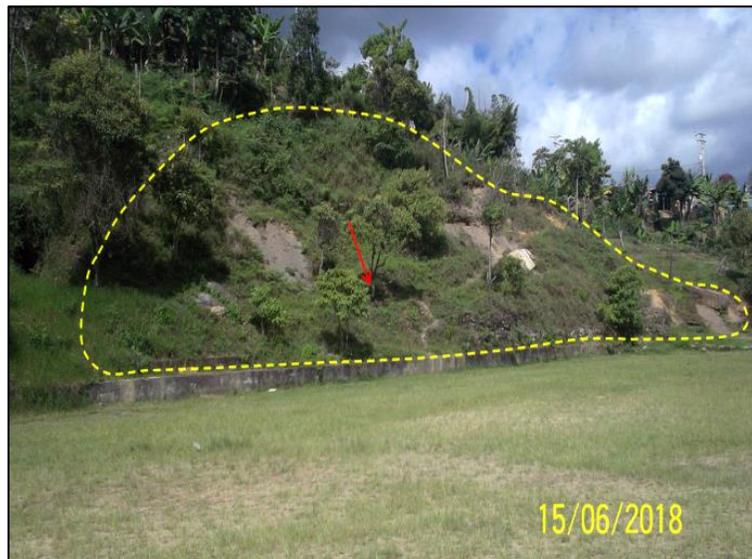


Ilustración 208. Movimiento complejo en la ladera oriental de la cancha de fútbol al noreste de Nátaga.
Fuente: Geocing SAS.

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 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

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

tensados sujetos a anclajes laterales, tal como se puede ver a continuación en la Ilustración 209, y en la Ilustración 210 se presenta el presupuesto estimado para la obra de mitigación.

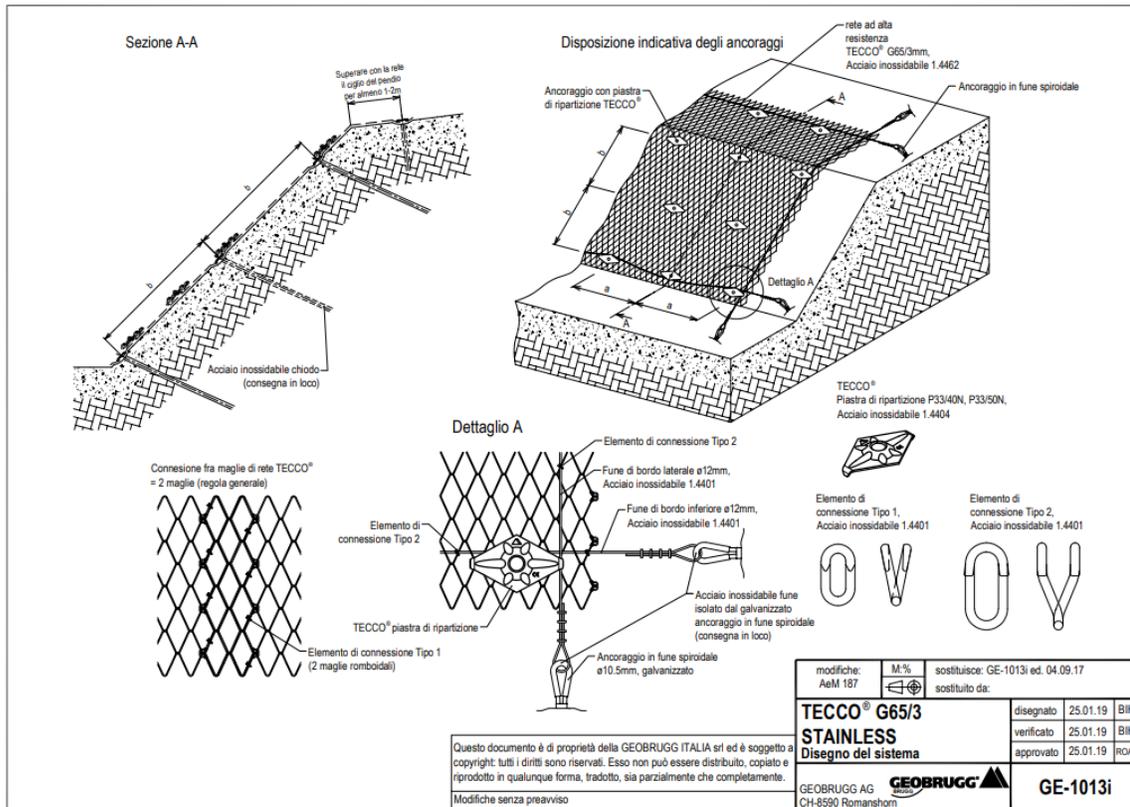


Ilustración 209 Vista de los detalles de la implementación de la malla TECCO.
Fuente: Geobruigg

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE NATAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.				
PRESUPUESTO MALLA TECCO PTO. 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	5250	\$ 2,076	\$ 10,897,110
1.2	Aislamiento y protección de la zona a intervenir H= 2,0 m en repisa y lona verde	m ²	320	\$ 10,300	\$ 3,296,080
2	OBRAS DE MITIGACIÓN				
2.1	Malla tipo TECCO 65x2	m ²	3300	\$ 253,491	\$ 836,519,838
2.2	Perno de anclaje Barra GW PLUS 28mm, incluye perforación e inyección L=4 ,	m	3700	\$ 279,072	\$ 1,032,566,400
2.3	Canal en manto de Hormigón e:8mm	ml	130	\$ 186,731	\$ 24,274,973
VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO MALLA TECCO PTO. CRITICO 2					\$ 1,907,554,401
AIU 30%					\$ 572,266,320
VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS					\$ 2,479,820,721

Ilustración 210 Presupuesto estimado para la obra de mitigación.
Fuente: Geocing SAS.

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

- **Punto Crítico 3-Zona Tanque de Gas**

En esta zona se presentan movimientos lentos, que se dan sobre niveles superficiales del terreno y se encuentran estrechamente relacionados con variación de humedad en el suelo, ya que el agua favorece como una especie de lubricante en las zonas de cambio de material, además de contribuir a un aumento en el peso que debe soportar el perfil del suelo. Se manifiestan en formas de pequeñas ondulaciones del terreno, pequeños escarpes y /o inclinaciones de los árboles los cuales ayudan a inferir la dirección del movimiento.

Un factor que contribuye a este tipo de movimiento es la expansión y contracción alternantes del material superficial, causadas por la humectación y sequedad posterior en la zona, debido a la gran cantidad de material fino que posee la matriz en esta zona. Evidencia de esto se presenta en las Ilustración 211 e Ilustración 212.



Ilustración 211. Movimiento superficial tipo reptación hacia el extremo nororiental de la zona de estudio. Nótese las ondulaciones en la superficie del terreno, la vegetación inclinada y algunas pequeñas terracillas hacia la parte central de la Fotografía.

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



Ilustración 212. Deformación de los gaviones como consecuencia del Movimiento superficial tipo reptación hacia el extremo nororiental de la zona de estudio.

Fuente: Geocing SAS.

Por lo evidenciado en campo; con el fin de mitigar y controlar este movimiento en masa, se recomiendan a continuación las medidas de intervención estructurales para dicho fin:

De manera general se debe construir un adecuado manejo de aguas de infiltración y sub superficial provenientes del flujo generado sobre el margen del talud por lo cual se debe reconformar el muro en gavión con los materiales pétreos existentes en la estructura actual, pero con reemplazo de la Malla Triple Torsión; la estructura debe tener como mínimo una altura de 3.0 m. Se debe garantizar la colocación de un geodrén en el tras dos del muro de longitud 31 m.

A continuación se presenta el análisis y diseño de las estructuras recomendadas para este punto:

Alternativa 1. Reconformación del Gavión H 3.0 m

Las obras de estabilización flexibles con Muros de Contención tipo Gavión, debe hacerse adecuándose a la topografía ascendente o descendente escalonada por terrazas del terreno, y una altura variable con valor máximo del Muro del orden de los 3.0 m, hasta encontrar piso competente colocando geotextil tejido para evitar la filtración de material fino en el gavión.

Para el pre dimensionamiento se recomienda utilizar los siguientes parámetros para la construcción del Diagrama de empujes lateral:

1. Diagrama de empujes triangular utilizando la metodología de Coulomb, con:

$$K_a = (1 - \text{Sen } \emptyset) / (1 + \text{Sen } \emptyset),$$

$$K_p = (1 + \text{Sen } \emptyset) / (1 - \text{Sen } \emptyset)$$

Un peso unitario efectivo de $\gamma's = 1.90 \text{ Ton/m}^3$ (Relleno de material Seleccionado Art. 620 Invias compactado $\emptyset = 32^\circ$).

2. Con los siguientes valores de diseño geotécnico:

$$K_a = (1 - \text{Sen } 32^\circ) / (1 + \text{Sen } 32^\circ) = 0.31$$

$$K_p = (1 + \text{Sen } 32^\circ) / (1 - \text{Sen } 32^\circ) = 3.25$$

$$K_o = (1 - \text{Sen } 32^\circ) = 0.47$$

$$K_{ae} = 0.42$$

El 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.

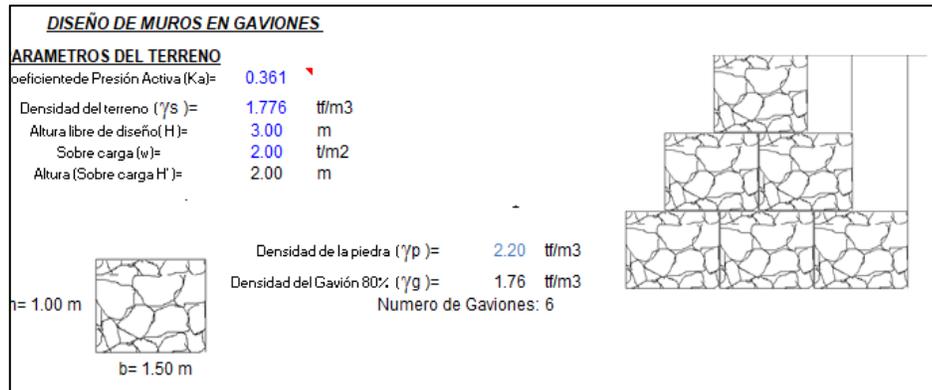


Ilustración 213 Dimensionamiento del Muro en Voladizo de H: 3.0 m.

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

FUERZAS RESISTENTES:			
ELEMENTO	FUERZA (tf/m)	BRAZO (m)	MOMENTO (tf*m/m)
Gaviones	16.790	2.250	37.778
Cuñas de Relleno	4.196	3.875	16.257
$\Sigma F_{vo} =$	20.986	$\Sigma M_{vo} =$	54.035
FUERZAS ACTUANTES:			
$\Sigma F_y = (E_p - E_a) = 6.732 \text{ t/m}$			
MOMENTO POR VOLCAMIENTO			
$\Sigma M_y = E_p \cdot \text{brazo} = 8.66 \text{ tf} \cdot \text{m/m}$			
FACTOR DE SEGURIDAD A VOLCAMIENTO:			
caso de relleno en un solo lado			
$\Sigma M_y / \Sigma M_{vo} = 6.24$		≥ 3.00	OK
FACTOR DE SEGURIDAD A DESLIZAMIENTO:			
caso de relleno en un solo lado			
$F = f \cdot \Sigma FV = 14.69$			
$f = 0.7$			
$\beta = F / \Sigma F_h = 2.18$		≥ 1.60	OK
POSICION DE LA RESULTANTE:			
PUNTO DE APLICACIÓN DE LA NORMAL			
$x = \Delta \Sigma M_{vo} / \Sigma F_{vo} = \frac{54.035 - 8.655}{20.986} = 2.16 \text{ m}$			
CALCULO DE EXENTRIDAD			
$e = (L/2) - x = 1.500 - 2.16 = -0.66 < e_{max} = (L/6) = 0.50 \text{ OK}$			

Ilustración 214 Dimensionamiento del Muro en Voladizo de H: 3.0 m. Evidencia de Cumplimiento a Capacidad Portante, Deslizamiento, Volcamiento dinámico y estático.
Fuente: Geocing SAS.

Con base en el pre dimensionamiento, a continuación se presenta el estimado del presupuesto para esta obra en la Ilustración 215.

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

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

PRESUPUESTO ALTERNATIVA 1 GAVIÓN PTO. CRITICO 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	390	\$ 2,076	\$ 809,484
1.2	Aislamiento y protección de la zona a intervenir H= 2,0 m en repisa y lona verde	ml	190	\$ 10,300	\$ 1,957,042
2	EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL				
2.1	Excavación para construcción de muro	m ³	450.00	\$ 13,857	\$ 6,235,819
2.2	Transporte y disposición final de escombros en sitio autorizado (distancia de transporte 20 km)	m ³	250.00	\$ 19,934	\$ 4,983,500
3	OBRAS DE MITIGACIÓN				
3.1	Gavión de Malla de Alambre de Acero Etrelazado Clase 4; recubrimiento de aleación Zn-5A1-MM y PVC	m ³	280.0	\$ 181,964	\$ 50,949,830
3.2	Geotextil tipo no tejido NT-2500	m ²	310.0	\$ 6,205	\$ 1,923,657
3.3	Drenes de penetración Horizontal PVC 2" (12m)	Gb	54.0	\$ 145,687	\$ 7,867,076
VALOR REPRESENTATIVO					\$ 74,726,409
AIU 30%					\$ 22,417,923
VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS					\$ 97,144,331

Ilustración 215 Tabla costos para la alternativa 1. Muro en Gavión
Fuente: Geocing SAS.

- **Punto Crítico 4- Barrio Nuevo**

El proceso que se materializa en este punto crítico es de tipo erosión laminar y 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.

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

La formación de surcos y cárcavas se presenta generalmente en suelos poco permeables, en los que la escorrentía excede ampliamente a la infiltración durante las lluvias, y depende también de la pendiente del terreno, la cobertura vegetal y el régimen de lluvias. En Ilustración 216 se observa la afectación por erosión hídrica laminar y en surcos en los taludes realizados para la adecuación del terreno en la zona de expansión del municipio. Estos cortes dejan expuesto el suelo residual, y al tener 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 NÁTAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA</p>

abrupta son altamente susceptibles a este tipo de erosión que con el tiempo puede afectar la estructura del suelo originando posibles inestabilidades del terreno.



Ilustración 216. Erosión laminar y en surcos de leve a moderada magnitud en un talud realizado para la adecuación de terrenos para construcción de viviendas en la zona de expansión de Nátaga.

Fuente: Geocing SAS.

En razón, si esta situación no es controlada a tiempo, la erosión en surco y cárcavas es la “antesala de un deslizamiento”, razón por la cual TODOS los taludes realizados por el corte para la construcción de viviendas se deben:

Realizar el perfilado de taludes para armonizar con el paisaje circundante y garantizar una transición gradual, cuidando especialmente las transiciones entre taludes de distinta inclinación. En los tramos de paso de excavación a terraplén y viceversa, los taludes se alabearán para unirse entre sí y con la superficie natural del terreno, sin originar una discontinuidad visible. Este perfilaje debe garantizar un espacio mínimo desde el talud hasta el límite de las viviendas de 2.0 m.

Protección de los taludes con el fin de mitigar y minimizar la erosión hídrica causada por la falta de cobertura vegetal, siendo este uno de estos el factor más importante para que se adapten a las condiciones climáticas, posibles incendios, pisoteo y temporadas de lluvias con el fin de evitar los deslizamientos o movimientos en masa que se puedan ocasionar por las aguas de escorrentía o aguas superficiales; esta protección se debe realizar con la implementación de una malla para control de erosión GREENAX, está en un compuesto integrado por una malla de acero de alta resistencia tipo DELTAX y una capa tridimensional de monofilamentos de polipropileno. La combinación de esta geomalla y rápido de instalar que ofrece una base óptima para la revegetalización.

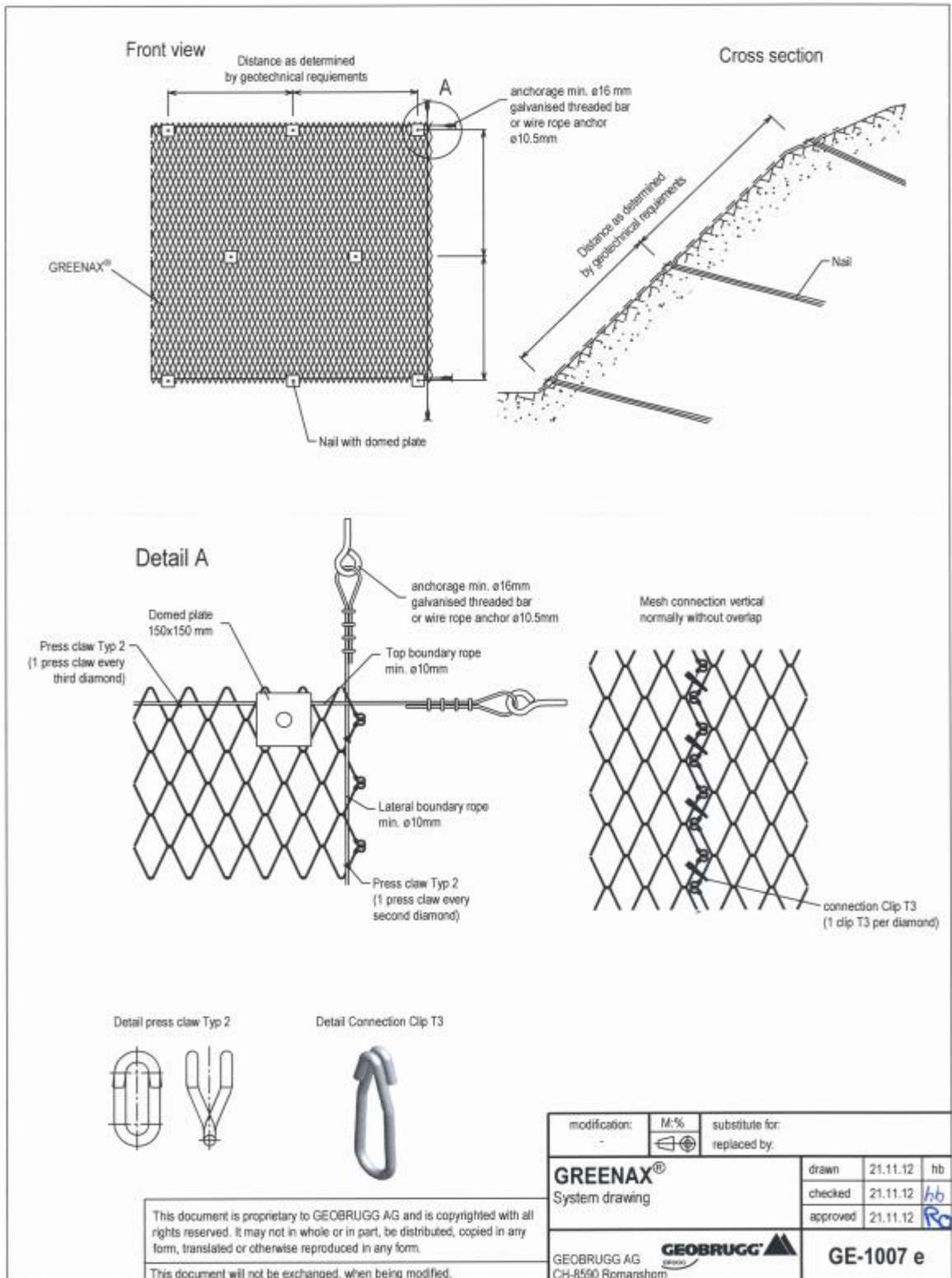


Ilustración 217 Vista de los detalles de la implementación de la malla TECCO.
Fuente: Geobru

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

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

PRESUPUESTO MALLA TECCO PTO CRITICO 4 BARRIO NUEVO

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)	m2	2450	\$ 2,076	\$ 5,085,318
1.2	Aislamiento y protección de la zona a intervenir H= 2,0 m en repisa y lona verde	ml	700	\$ 10,300	\$ 7,210,175
2	OBRAS DE MITIGACIÓN				
2.1	Malla tipo TECCO 65x2	m2	1150	\$ 253,491	\$ 291,514,489
2.2	Perno de anclaje Barra GW PLUS 28mm, incluye perforación e inyección L=4 ,	ml	1400	\$ 232,723	\$ 325,812,702
2.3	Canal en manto de Hormigón e:8mm	ml	305	\$ 186,731	\$ 56,952,821
VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO MALLA TECCO PTO CRITICO 4 BARRIO NUEVO					\$ 686,575,505
AIU 30%					\$ 205,972,652
VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS					\$ 892,548,157

Ilustración 218 Presupuesto estimado para la obra de mitigación.

Fuente: Geocing SAS.

En razón que la problemática de la zona se ve afectado por un inadecuado y mal manejo de aguas de infiltración y escorrentía, razón por la cual se debe realizar, para mitigar el riesgo por movimientos en masa, se propone entonces, instalar obras de drenaje superficial con el fin de controlar las fluctuaciones del nivel piezométrico. Dado que actualmente la vía no tiene un manejo de las aguas de infiltración de sebe Instalar una cuneta perimetral- longitudinal a la vía en el tramo de 115 m. A continuación se presenta la localización de las obras de mitigación por movimientos en masa planteadas para el municipio.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA



Ilustración 219 Implantación de medidas estructurales por Movimientos en Masa
Fuente: Geocing SAS.

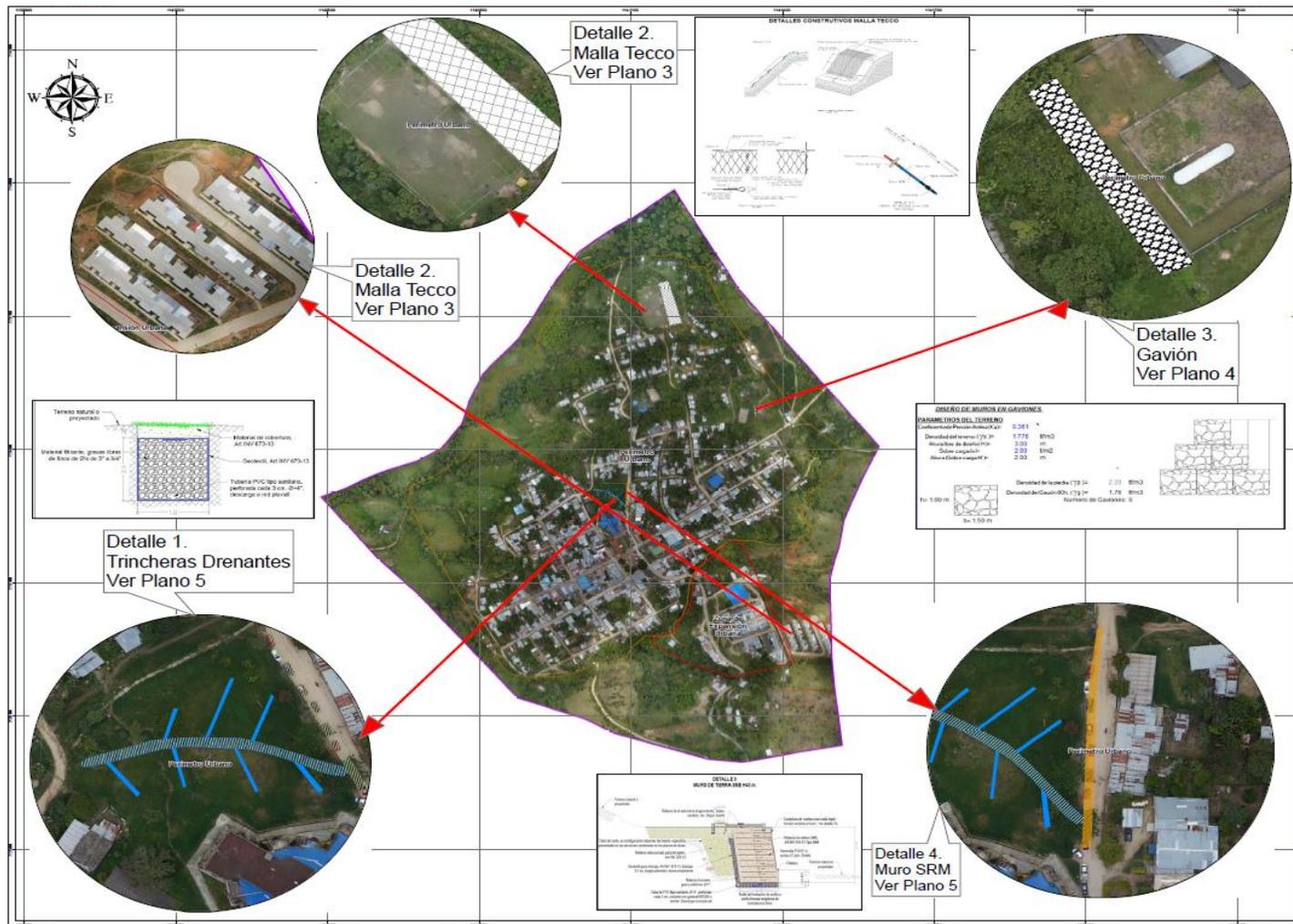


Ilustración 220 Localización de las obras de mitigación
Fuente:Geocing SAS.

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

15.2 INUNDACIÓN

15.2.1 *Medidas no estructurales*

En las medidas no estructurales se plantea la socialización de este estudio en la comunidad con el fin que se identifiquen las zonas inundables y las medidas estructurales llevadas a cabo para reducir el riesgo para los elementos expuestos. Adicionalmente, se plantean programas de educación ambiental donde la población identifique la zona de ronda y divagación, con el fin de conocer el tipo de actividades que pueden desarrollar en estas áreas.

A partir de los resultados de las diferentes socializaciones y programas de educación ambiental, se plantea desarrollar talleres comunales para cada barrio con apoyo de las juntas de acción comunal, donde de manera conjunta con los programas de gestión ambiental desarrollados en la alcaldía se articulen medidas para que la población pueda entender su territorio y se evite pueda reducir la vulnerabilidad y el riesgo por inundaciones.

15.2.2 *Medidas estructurales*

De los 990 predios ubicados solo uno presenta riesgo alto por inundación, dado que se ubica en la ronda hidráulica de la quebrada El Pueblo, tal como se presenta en la Ilustración 221. Para este predio (ID SIG C0241) se plantearon dos alternativas de mitigación. Posteriormente se presenta

Alternativa 1, Reubicación: debido a que el predio se ubica dentro de los tres primeros metros de ronda hidráulica de la quebrada El Pueblo y dadas las condiciones estructurales de la construcción (Construido con materiales reciclables, tal como se presenta en la Ilustración 221), y teniendo en cuenta que este no está habitado, se plantea la reubicación a una zona de riesgo bajo.



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

Ilustración 221. Ubicación de predios en riesgo alto por Inundación.
Fuente: Geocing SAS.

La Tabla 135 se presenta los costos para la alternativa presentada de reubicación para la mitigación definitiva.

Tabla 135. Presupuesto reubicación vivienda

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDAS TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE NATAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015				
PRESUPUESTO REUBICACIÓN					
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	36	\$ 2,076	\$ 74,723
2	EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL				
2.1	Demolición de Estructuras	m ³	72.80	\$ 130,958	\$ 9,533,713
2.2	Excavación mecánica en material común (incluye cargue)	m ³	29.12	\$ 13,177	\$ 383,723
2.3	Transporte y disposición final de escombros en sitio autorizado (distancia de transporte 28 km)	m ³	153	\$ 19,934	\$ 3,047,510
VALOR OBRAS DE ADECUACIÓN Y DEMOLICIÓN					\$ 13,039,669
AIU 30%					\$ 3,911,901
VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS DE ADECUACIÓN Y DEMOLICIÓN					\$ 16,951,569
3	Compra de Viviendas				
3.1	Viviendas de la zona de estudio	m ²	268.00	\$ 450,000	\$ 120,600,000
3.2	Otros costos para adquisición de viviendas	GLB	1.0	\$ 120,600,000	\$ 120,600,000
VALOR REPRESENTATIVO ADQUISICIÓN DE VIVIENDAS					\$ 241,200,000
VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO REUBICACIÓN					\$ 258,151,569

Fuente: Geocing SAS.

Alternativa 2, Demolición parcial: ya que la totalidad del predio no se ve afectado por la mancha de inundación se plantea la demolición parcial del mismo, con el fin de conservar la parte estructural construida con muro portante no confinado. Dado que la totalidad del predio no se encuentra en riesgo, se propone una demolición parcial del mismo.

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

Tabla 136. Presupuesto demolición parcial

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDAS TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE NÁTAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015</p>				
PRESUPUESTO ALTERNATIVA DEMOLICIÓN PARCIAL					
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	36	\$ 2,076	\$ 74,723
2	EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL				
2.1	Demolición de Estructuras	m ³	72.80	\$ 130,958	\$ 9,533,713
2.2	Excavación mecánica en material común (incluye cargue)	m ³	29.12	\$ 13,177	\$ 383,723
2.3	Transporte y disposición final de escombros en sitio autorizado (distancia de transporte 28 km)	m ³	153	\$ 19,934	\$ 3,047,510
VALOR OBRAS DE ADECUACIÓN Y DEMOLICIÓN					\$ 13,039,669
AIU 30%					\$ 3,911,901
VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS DE ADECUACIÓN Y DEMOLICIÓN					\$ 16,951,569
4	Compra de Viviendas				
4.1	Viviendas de la zona de estudio	m ²	130.00	\$ 450,000	\$ 58,500,000
4.2	Otros costos para adquisición de viviendas	GLB	1.0	\$ 58,500,000	\$ 58,500,000
VALOR REPRESENTATIVO ADQUISICIÓN DE VIVIENDAS					\$ 117,000,000
VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO ALTERNATIVA DEMOLICIÓN PARCIAL					\$ 133,951,569

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 NÁTAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA

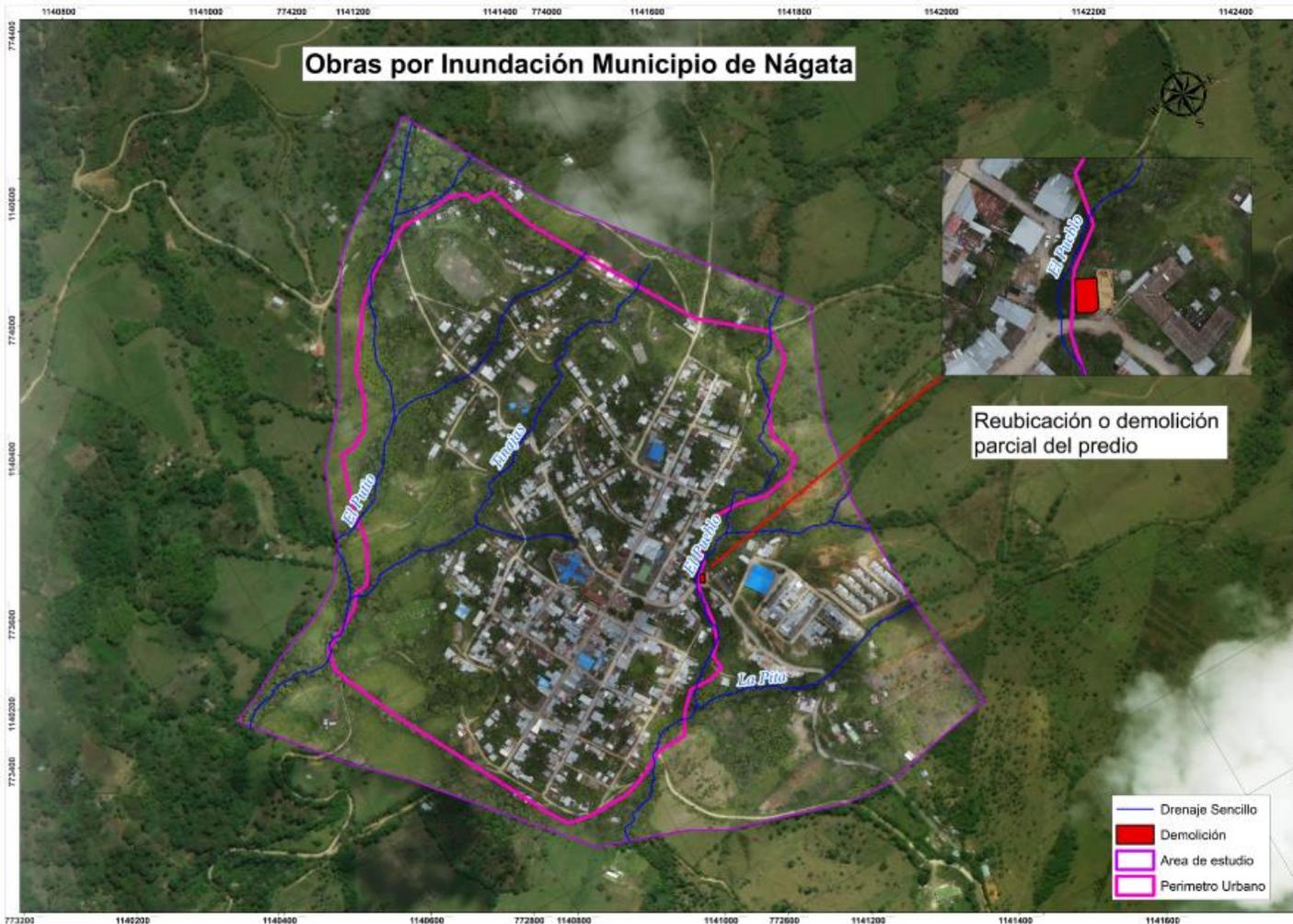


Ilustración 222 Implantación de medidas estructurales por Inundación
Fuente:Geocing SAS.

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

15.3 MITIGABILIDAD DEL RIESGO ALTO

15.3.1 *Mitigabilidad por Movimientos en masa*

Según los análisis de riesgo realizados para este estudio de acuerdo con la amenaza por movimientos en masa, junto con el análisis de riesgo por movimientos en masa, se identificó que el riesgo alto de los predios es mitigable ya que, para la implantación de medidas estructurales y no estructurales no se ve afectada físicamente ninguna vivienda.

En la Ilustración 221 se logra ubicar la vivienda que presentan riesgo alto no mitigable.

15.3.2 *Mitigabilidad por Inundación*

De acuerdo con los resultados de los análisis de riesgo realizados para este estudio de acuerdo con la amenaza por Inundación, se identificó que los predios que se encuentran en riesgo alto, es mitigables ya que, para la implantación de medidas estructurales y no estructurales no se ve afectado físicamente ninguna vivienda.

En la Ilustración 224 se logra ubicar la vivienda que presentan riesgo alto no mitigable.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA

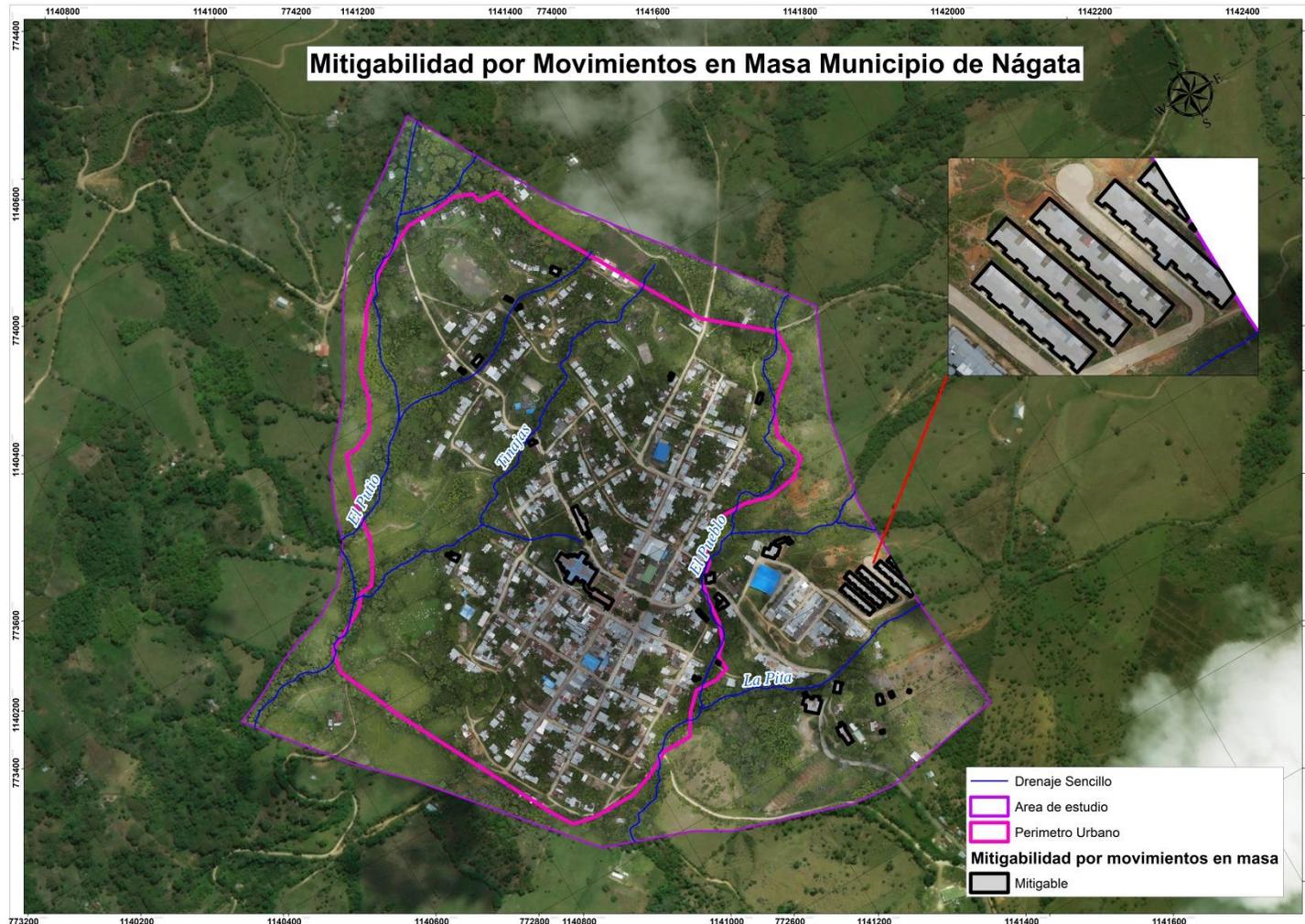


Ilustración 223 Mapa de mitigabilidad por Movimientos en masa
Fuente: Geocing SAS.



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



INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA

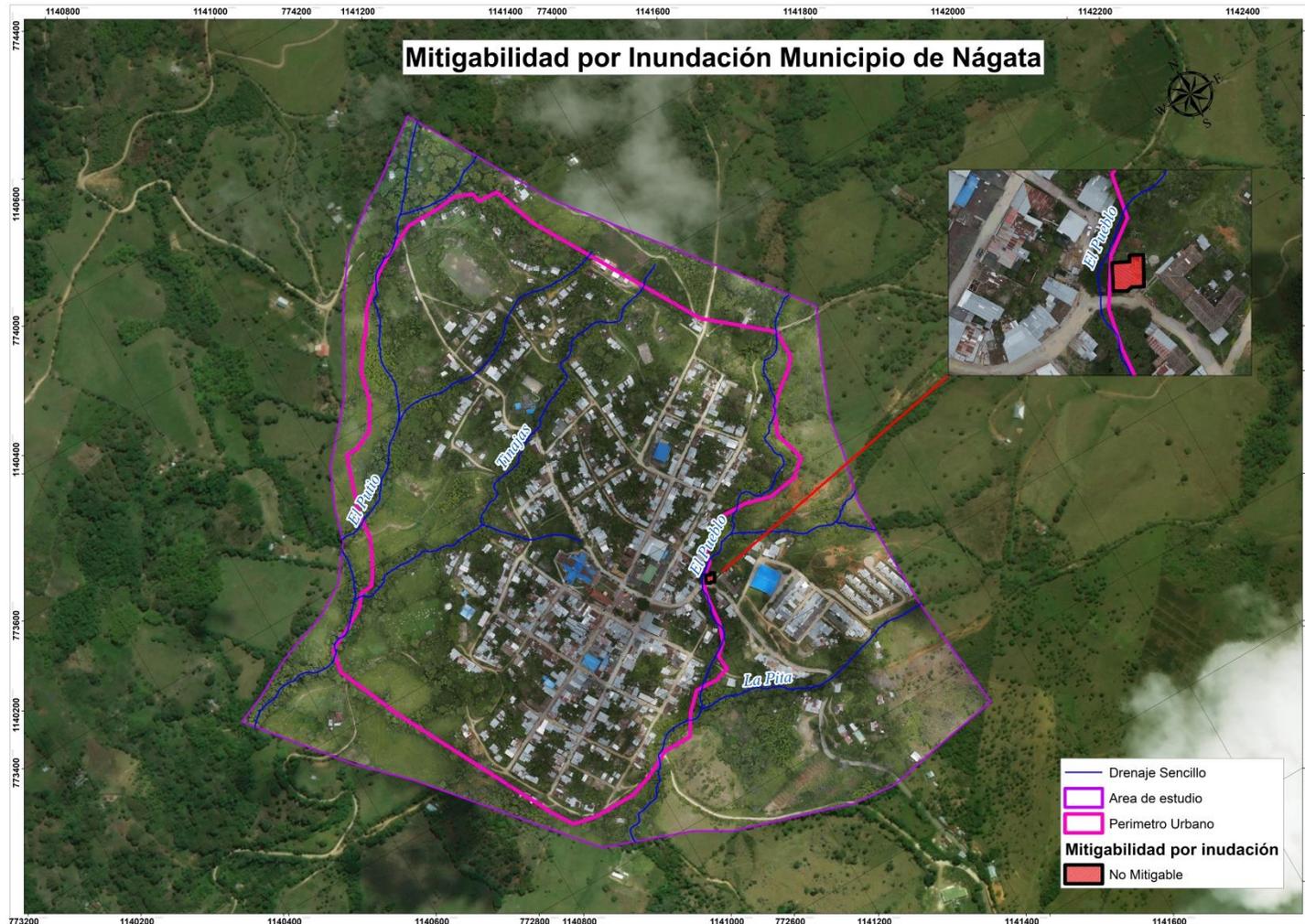


Ilustración 224 Mapa de mitigabilidad por Inundación
Fuente: Geocing SAS.

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

16 RONDA HÍDRICA Y ZONIFICACIÓN AMBIENTAL

16.1 RONDA HÍDRICA

De acuerdo con el artículo 206 (Rondas Hídricas) de la Ley 1450 de 2011 - Plan Sostenible, los Grandes Centros Urbanos y los Establecimientos Públicos Ambientales Nacional de Desarrollo 2010-2014 “Prosperidad para Todos”, establece que “Corresponde a las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo efectuar, en el área de su jurisdicción y en el marco de sus competencias, el acotamiento de la faja paralela a los cuerpos de agua (rondas hídricas) y el área de protección o conservación aferente”.

Po lo cual en el presente capítulo contiene los resultados de la Zonificación de Manejo Ambiental y ronda de protección de drenajes.

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.

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

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

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.

16.1.1 Elementos constituyentes de la ronda hídrica

Dentro del límite físico de la ronda hídrica se encuentran sus dos elementos constituyentes establecidos en el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011: i) “la faja paralela a los cuerpos de agua a que se refiere el literal d) del artículo 83 del Decreto Ley 2811 de 1974”, ii) “y el área de protección o conservación aferente” (Ilustración 225). 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.

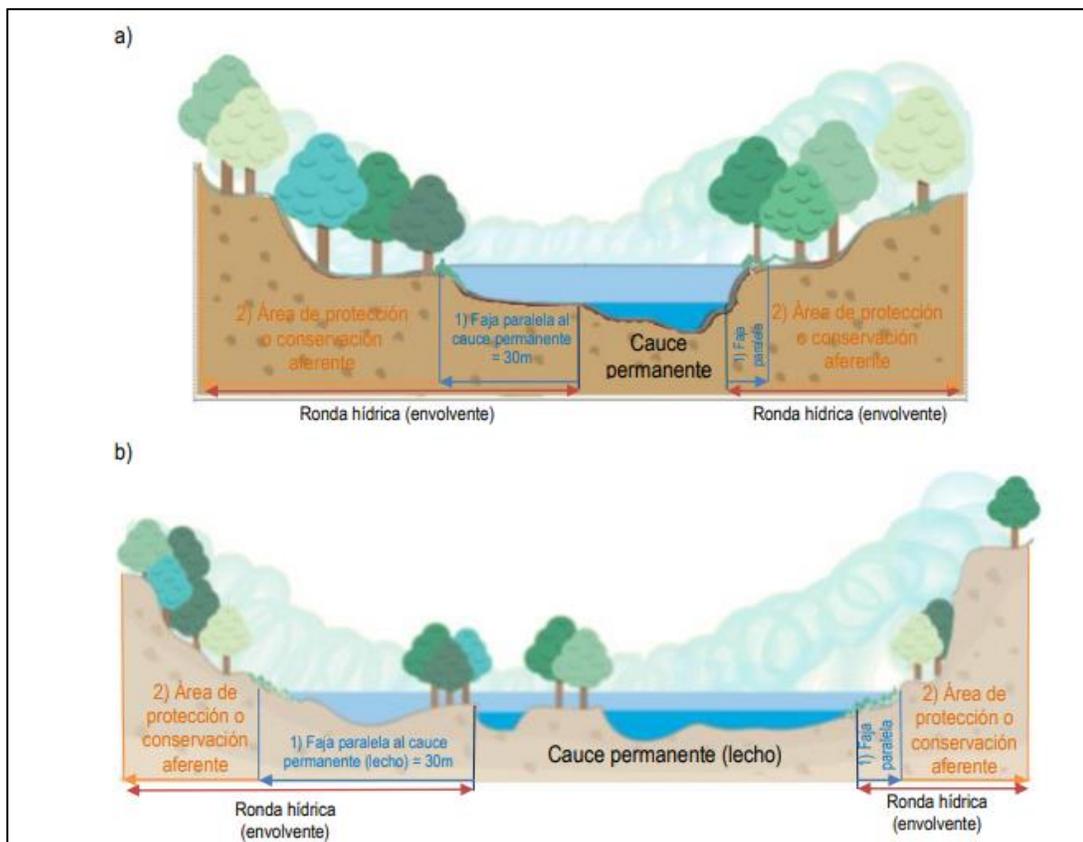


Ilustración 225 Identificación de los elementos constituyentes de la ronda hídrica (flecha roja) cuando el primero (flecha azul) es igual a 30 metros y el resto es hasta el límite de la envolvente de los tres componentes. Fuente: GUÍA TÉCNICA DE CRITERIOS PARA EL ACOTAMIENTO DE LAS RONDAS HÍDRICAS EN 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 NÁTAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA

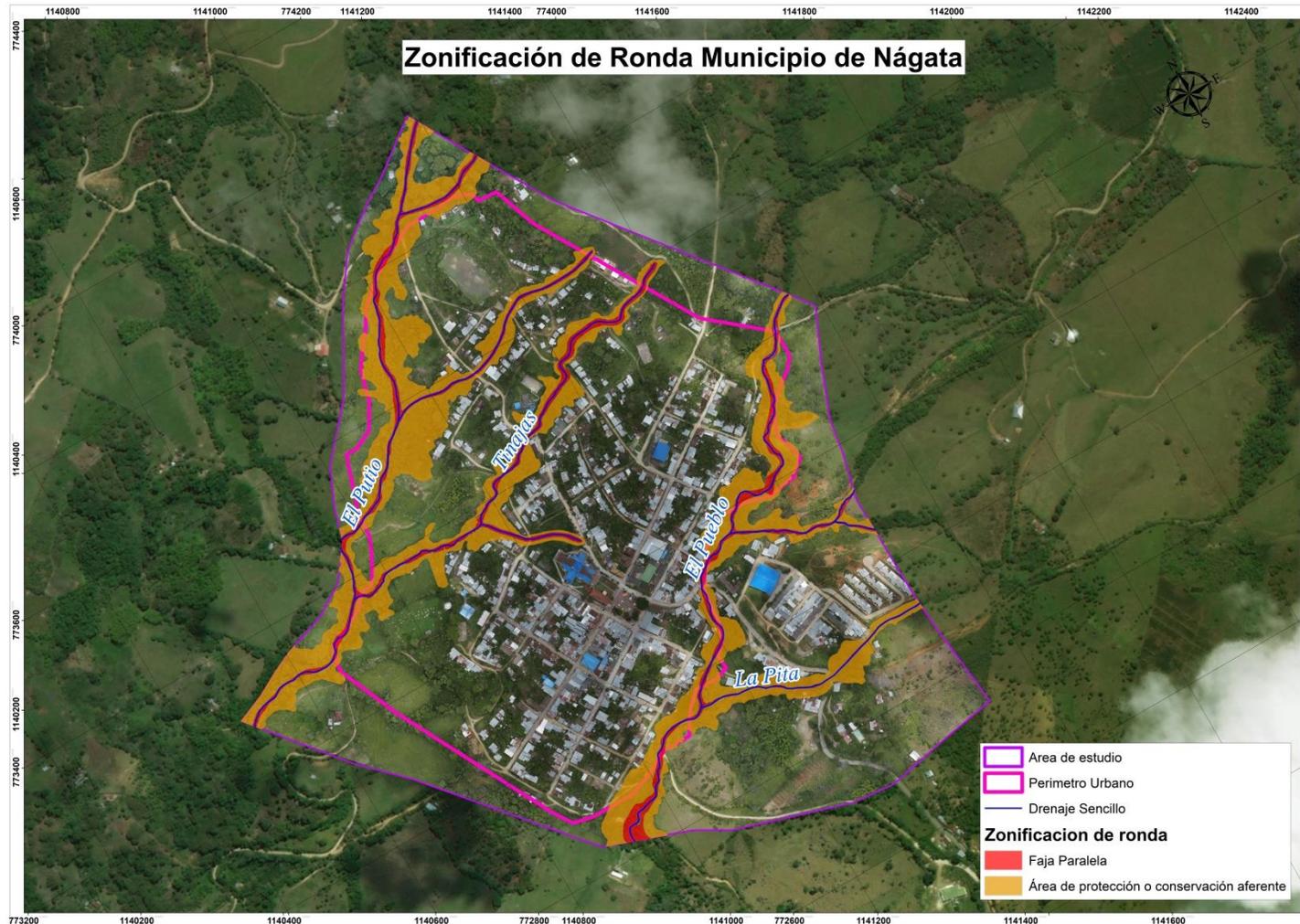


Ilustración 226 Delimitación de la ronda hídrica para los drenajes presentes en el municipio de Nátaga
Fuente: Geocing SAS.

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

16.1.2 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).

16.2 ZONIFICACIÓN AMBIENTAL

La zonificación de manejo ambiental se obtuvo a partir de la categorización de zonas amenaza (alta) y riesgo (alto mitigable y no mitigable), determinación de las rondas hídricas de protección con base en su cota máxima de inundación y protección de la

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

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.

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 227

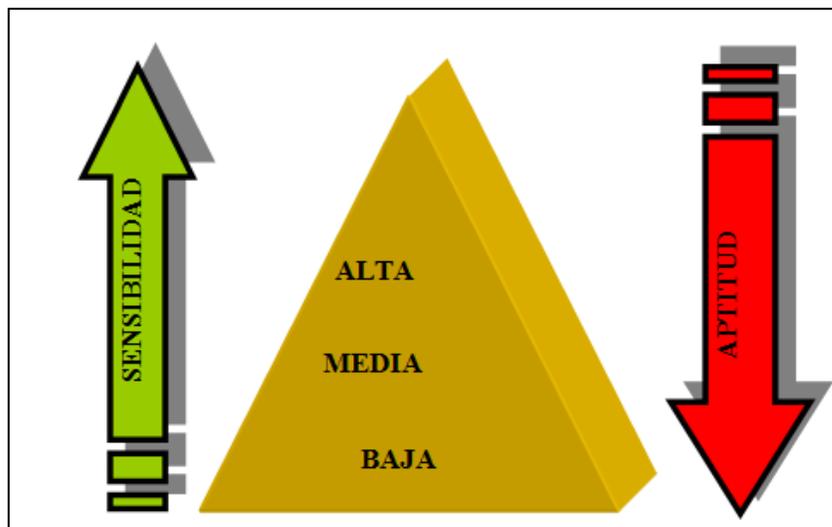


Ilustración 227. Relación Entre Sensibilidad y Aptitud Frente a proyectos
Fuente: Ley 1450 de 2011

A partir de lo anterior, fueron definidas las siguientes áreas de manejo ambiental:

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

16.2.1 *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 137 se identifican los diferentes sectores estudiados para la representación final del mapa de zonificación Ambiental.

Tabla 137. Relación de áreas de exclusión zona de estudio

Unidad	Sensibilidad	Descripción
Exclusión	Muy Alta	Rondas de protección de drenajes principales y sus tributarios.
		Rondas de protección de manantiales de carácter permanente o intermitente.
		Zonas de amenaza alta por Inundación, Avenida Torrencial y Movimientos en masa
		Zonas que forman parte de corredores ecológicos.

Fuente: Ley 1450 de 2011

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 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,

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

mezclados con rastrojo alto en zonas de laderas y que en la actualidad se encuentran altamente intervenidos por actividades antrópica.

Son áreas potencialmente inundables por las corrientes principales y sus tributarios cuya ronda de protección se determinó a partir de las cotas máximas de inundación para periodos de retorno de 100 años, cuyos resultados se relacionan en la siguiente tabla.

Tabla 2. Relación de ronda de protección de drenajes

Municipio	Drenaje	Período de retorno de 100 años	Zona de protección (m)	Protección desde la corona del talud (m)
Nátaga	Qda. El Pueblo	100	10	5
	Qda. El Putio	100	10	5
	Qda. Tinajas	25	10	5
	Qda. La Pita	25	5	5

Fuente: Geocing SAS.

- **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:

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).

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).

Demás cauces: Para los demás cauces y corrientes *permanentes* o no *permanentes*, con caudales máximos para la creciente básica (Período de retorno de 100 años) inferiores a **10** metros cúbicos por segundo, para el área de estudio no se presentan Cauces. El aislamiento debe ser superior en todos los casos a más de **5 metros** de la línea correspondiente a la cota de inundación de la creciente básica (100 años). Se presenta a continuación la zona de protección para cada uno de los cauces del municipio de Nátaga.

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

Tabla 138 Área de protección para cauces secundarios

Municipio	Drenaje	Período de retorno de 100 años	Cauce promedio (m ³ /seg)	Zona de protección (m)
Nátaga	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.

16.2.2 **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

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

constituyen las zonas de asentamientos del municipio. Con base en lo anterior, se determinó para las diferentes zonas que constituyen el área de estudio una zona de protección de ladera mínima de diez **(10)** metros para la parte superior, que puede ser superior en laderas mayores a 15 m de altura y de acuerdo a los resultados de análisis de estabilidad, y de cinco **(5)** metros para la parte inferior.

- **Uso recomendado**

- Zonas de protección ambiental
- Zonas de recreación activa, pasiva y contemplativa (parques, losas deportivas, parques infantiles áreas arborizadas, paseos, alamedas o equipamiento para actividades culturales aire libre).
- Vías urbanas, obras de servicio publico

Todas las anteriores actividades antes de su ejecución deben tener la aprobación por parte de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena - CAM.

- **Aislamiento mínimo de laderas y taludes**

De acuerdo a los análisis realizados para determinar la estabilidad de laderas y taludes, se determinó que la superficie de falla se puede presentar a menos de 5 m de la corona del talud en condiciones estáticas o dinámicas, sin embargo, esta distancia lo es para el caso en que ocurra una superficie de falla con el menor factor de seguridad que se establezca para el talud. Esta se ha determinado para alturas que oscilan entre 5 m y 12 m, pero para alturas superiores puede aumentar dicho rango.

Para los suelos y rocas observados en las diferentes zonas que conforman el área de estudio, en los que predominan ángulos de fricción de 30°, excepto algunos sectores, y donde la cohesión es baja, se podría establecer que en promedio un ángulo relativamente estable para un talud o una ladera es de 60° con respecto a la horizontal. Esto no será válido para los sectores en los que la ladera esté conformada por suelos netamente arcillosos o limosos, en los que el ángulo de inclinación del talud tendrá que ser al menos de 45° o menos. Si consideramos un talud hipotético vertical y le calculamos las cuñas de falla a 60°, 45° y 30° (ángulo respecto a la horizontal), se tendrían los siguientes datos, Tabla 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 NÁTAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA</p>

Tabla 139 Cuñas probables de falla para un talud vertical a diferentes alturas

ÁNGULO VERTICAL	ALTURA TALUD (m)	DH CUÑA	OBSERVACIONES
30°	5	2.88	Aplica para taludes en suelos ligeramente consolidados y rocas blandas
	10	5.77	
	15	8.66	
	20	11.54	
45°	5	5	Aplica a taludes en rocas blandas arcillosas y suelos granulares con cierto contenido de finos
	10	10	
	15	15	
	20	20	
60°	5	8.66	Aplica a taludes con suelos arcillosos y limosos
	10	17.32	
	15	25.98	
	20	34.64	

Fuente: Geocing SAS.

Teniendo en cuenta que en el municipio se tienen laderas con alturas que varían entre los 10 y 15 m de altura, el recomendar una distancia mínima de seguridad de **10 m** se considera aceptable, dado que los suelos y rocas no son tan blandos. Para alturas mayores a 15 m, es conveniente la definición de esta distancia por análisis de estabilidad, la cual muy seguramente será mayor de 10 m.

Al realizar el análisis respectivo para la base del talud es conveniente tener en cuenta que el volumen desplazado, la altura del talud y la presencia de obras de contención, y en ellas su altura y tipo. El recomendar como mínimo una distancia de **5 m** de aislamiento entre el talud y una zona de ropas o de descanso, es conveniente, cuando no se tienen obras de protección; pero en ningún momento se debería tener zonas habitadas como habitaciones o zonas de trabajo a menos de dicha distancia. Sin embargo, esta zona debe aumentar en distancia al aumentar la altura del talud o del corte que se realice. 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 se puede 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
- Cumplimiento a 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 NÁTAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA</p>

Todas las anteriores actividades antes de su ejecución deben tener la aprobación por parte de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena - CAM.

16.2.3 *Área de Mediana restricción (AMR) Sensibilidad Media*

Esta área de mediana restricción está dada por las zonas clasificadas con amenaza media por inundación, avenida torrenciales y por movimientos en masa y área de cobertura vegetal de importancia ambiental. Se caracterizan por ser zonas de mediana sensibilidad ambiental, en las cuales es posible el desarrollo de proyectos, siguiendo algunas medidas de manejo ambiental y se encuentran representadas por el color amarillo en el Mapa de Zonificación Ambiental.

Dentro de estas zonas de mediana exclusión se recomienda diferentes usos entre los cuales pueden ser utilizados 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.

16.2.4 *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.

Estas zonas pueden ser susceptibles de intervención sin restricciones especiales, en donde se presenta compatibilidad con el desarrollo de proyectos urbanísticos, dado que los impactos potenciales se ven reducidos. Sin embargo, lo anterior obliga al cumplimiento de la Norma Sismo Resistente y a la normatividad vigente para el desarrollo de proyectos urbanísticos.

Con base en el análisis de la información de los mapas temáticos de las componentes 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

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

partir de la diferenciación de las áreas de exclusión se realizó el Mapa de Zonificación Ambiental del municipio de Nátaga 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 140.

Tabla 140. Áreas de zonificación ambiental para la zona de estudio.

COLOR	SÍMBOLO	ÁREA	DESCRIPCIÓN	USOS RECOMENDADOS
	AE	Área de exclusión	Rondas de protección de drenajes principales y sus tributarios. Zonas de amenaza alta por inundación, erosión o movimientos en masa, Zonas que forman parte de los corredores ecológicos, Cobertura forestal asociadas a rondas de protección.	Áreas de protección que pueden ser usadas para lo siguiente:- Pueden ser adecuadas y utilizadas para la recreación pasiva o contemplativa mediante la implementación de miradores o senderos ecológicos.- Obras de servicio público (interceptores de alcantarillado, sistemas de tratamiento PTAR).- Obras de control y mitigación del riesgo, parques lineales, áreas arborizadas. Todas las anteriores actividades antes de su ejecución deben tener la aprobación por parte de la CAM.
	AAR	Área de alta restricción	Zona de protección de ladera mínima de diez (10) metros para la parte superior, que puede ser superior en laderas mayores a 15 m de altura y de acuerdo a los resultados de los análisis y de cinco (5) metros para la parte inferior.	Zonas de protección ambiental. Zonas de recreación activa, pasiva y contemplativa (parques, losas deportivas, parques infantiles, áreas arborizadas, paseos, alamedas o equipamientos para actividades culturales). Vías urbanas, obras de servicio público. Todas las anteriores actividades antes de su ejecución deben tener la aprobación por parte de la CAM.
	AMR	Área de mediana restricción	Zona de amenaza media por inundación, avenidas torrenciales y por movimientos en masa. Área de cobertura vegetal de importancia ambiental	Áreas que pueden ser utilizadas para el desarrollo urbanístico condicionadas a lo siguiente: - Estudios geotécnicos, hidrológicos e hidráulicos detallados. Previa obra 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 represente importancia ambiental	Áreas susceptibles de intervención sin restricciones especiales, en donde en presente compatibilidad con el desarrollo de proyectos urbanísticos.

Fuente: Geocing SAS.

La Ilustración 228 representa la Zonificación Ambiental final del municipio de Nátaga, la cual 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 141 Resumen de área de la zonificación ambiental

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE (%)
AE	Área de exclusión	27.38	33.84%
AMR	Área de mediana restricción	21.01	25.98%
ASR	Área sin restricción	35.50	40.18%
		80.88	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 NÁTAGA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE NÁTAGA

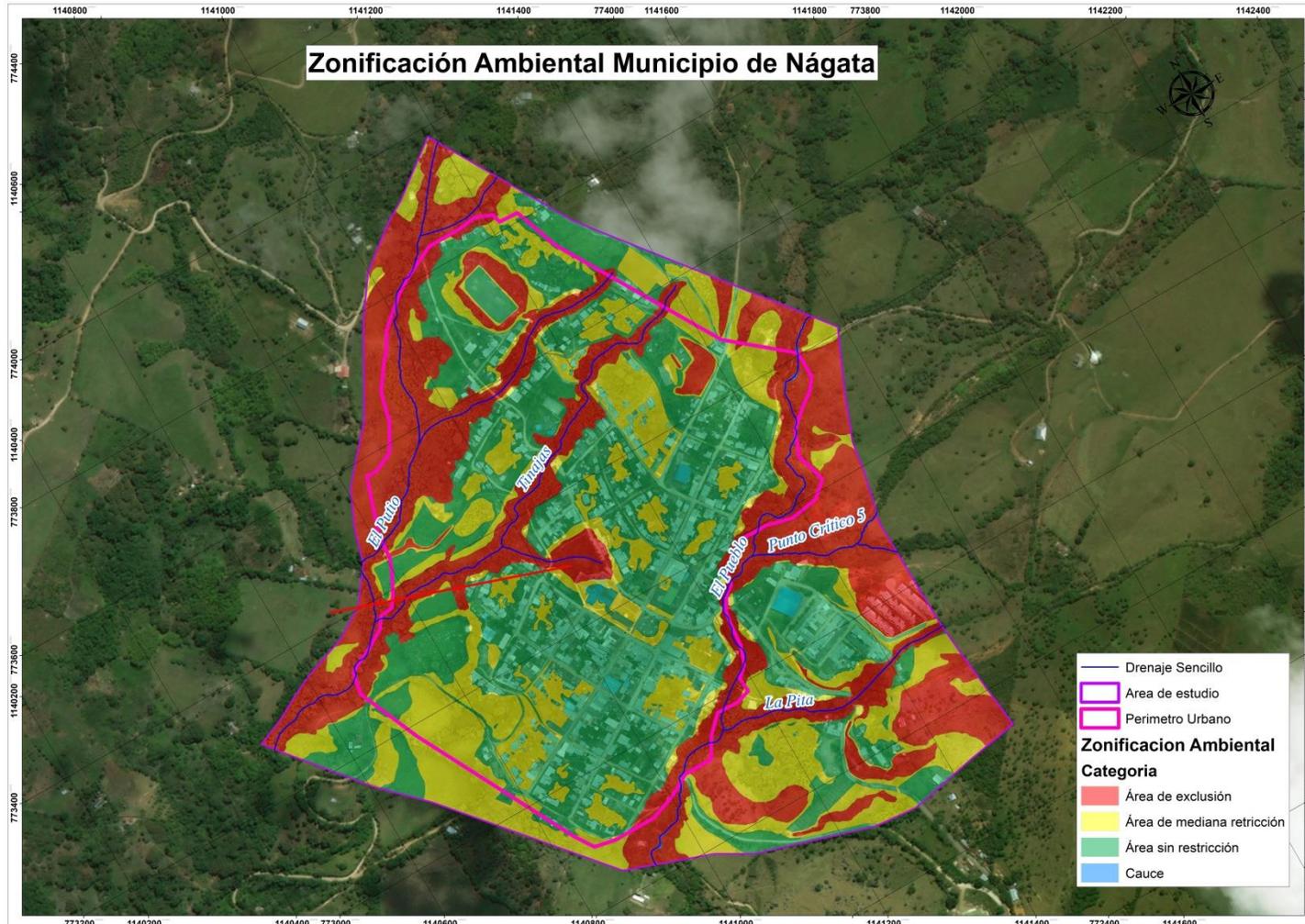


Ilustración 228. Mapa de zonificación Ambiental, Municipio de Nátaga.

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

17 CONCLUSIONES

17.1 AMENAZA

17.1.1 *Amenaza por movimientos en masa*

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 se encuentra en un área de amenaza categorizada como baja.

Las zonas de amenaza alta con mayor extensión están ubicadas hacia el este y oeste del casco urbano donde comienza la geomorfología colinada generada por el cambio litológico debido a la presencia de las rocas de la Formación Caballos, a esto se debe las pendientes moderadas a alta. Se observaron varios puntos críticos en el municipio.

- Punto Crítico 1- Iglesia

Es un deslizamiento rotacional, en la parte central del área de estudio, en un predio ubicado al costado norte de la iglesia en el cual se observa un hundimiento desde la vía al costado oriental de la iglesia la cual ha sido reparada varias veces. Este hundimiento se presenta en forma de “cuchara” o como una concavidad que se extiende hasta el predio, además de presentar lobulaciones a través de la superficie.

- Punto Crítico 2-Cancha de Fútbol

Se identifica una posible combinación de varios tipos de deslizamientos (Movimiento complejo), evidenciado por las grietas y los hundimientos y montículos en el terreno. Este proceso se presenta en la ladera oriental de la cancha de fútbol ubicada al noreste de Nátaga. En la ladera se observan hundimientos, pequeños escarpes no cartografiados e inclinación de la vegetación, por lo que se infiere que están actuando más de un movimiento (superficiales y un poco más profundos)

- Punto Crítico 3 Barrio Nuevo

Un sector crítico categorizado como zona de amenaza Alta se encuentra en el área correspondiente al “Barrio Nuevo”, en razón que, debido a la construcción de las casas se practicaron cortes sobre el Suelo residual de la formación Caballos, y no cuenta con un manejo adecuado de agua de infiltración y de escorrentía sobre estos taludes, lo cual ha generado que se desarrollen Inestabilidad que, de no ser controlados podrían afectar las viviendas. En la ilustración a continuación se puede observar una vista en planta, en la cual se evidencia como la erosión hídrica ha afectado la estabilidad superficial.

En el municipio de Nátaga se presentan dos movimientos en masa generados por factores externos que afectan infraestructura importante dentro del área de estudio y

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

son categorizados como Puntos Críticos de Inestabilidad; y a los cuales se les realizaron análisis para determinar las alternativas de obras de mitigación.

La distribución de categorías de amenaza por movimientos en masa, concluyendo que el 26.53% (26.53 Ha) del área de estudio se encuentra en amenaza alta, 19.48% del área equivalente a 15.90 Ha se encuentra en amenaza media y el 53.99% (44.07 Ha) presenta amenaza Baja.

17.1.2 Amenaza por inundación

Las categorías de amenaza media y alta se distribuyen en los primeros metros de ronda de las quebradas El Putio, Tinajas, El Pueblo, y los drenajes sin nombre asociados a los puntos críticos 5 y 7, esto debido a que son drenajes con cauces encañonados en los cuales la capacidad hidráulica es suficiente para los periodos de retorno de 100 y 500 años evitando el rebose lateral y afectación de los elementos expuesto aledaños.

Según la distribución de la amenaza por inundación se establece solo un predio se ve afectado, el cual se ubica aledaño a los primeros 4 metros de ronda de la quebrada El Pueblo como se logra identificar en la Ilustración 131, los restantes 964 predios se categorizan con amenaza baja por inundación.

Se logra identificar las áreas correspondientes a cada categorización de amenaza por inundación predomina baja con el 97,04 % del área total que corresponde a 78,91 ha, seguido por amenaza alta con el 2,22% del área total (1,81 Ha) que corresponde a cauce de los drenajes mencionados en este capítulo.

17.2 VULNERABILIDAD

17.2.1 Vulnerabilidad por movimientos en masa

Se categoriza con vulnerabilidad alta con un valor de 0,58, esto debido a que como se presenta en el capítulo 0, el 82,3% de los predios se encuentran categorizados en vulnerabilidad total baja y el 72,5% de la infraestructura vial del municipio presenta una vulnerabilidad total alta, esto debido a que el grueso de la población presenta una vulnerabilidad social y física media debido a las condiciones socioeconómicas de la comunidad, y el sistema estructura y longevidad de las construcciones; las vías presentan esta categorización debido al tipo, ya que predominan las vías de cuarto orden, sin pavimentar y de carril sencillo (Ver Tabla 142).

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

Tabla 142. Valor de la vulnerabilidad total por movimientos en masa

Zona de Estudio	IVT _Z	Categoría Vulnerabilidad
Nátaga	0,58	Bajo

Fuente: Geocing SAS.

17.2.2 Vulnerabilidad Por Inundación

A partir de los resultados correspondientes a la vulnerabilidad total de los elementos expuestos (Predios, puentes y vías), la cual indica que este se encuentra valorizado con vulnerabilidad baja, tal como se presentan en la Tabla 143, esto debido a que el 99,9% de los predios se encuentran en vulnerabilidad total baja y el 49,1% de las vías presentan vulnerabilidad media.

Tabla 143. Valor de la vulnerabilidad total por inundación

Zona de Estudio	IVT _Z	Categoría Vulnerabilidad
Nátaga	0,19	Baja

Fuente: Geocing SAS.

17.3 RIESGO

17.3.1 Riesgo por movimientos en masa

Se presentó una categorización de riesgo media como se presenta en la Tabla 144, esto debido a que la amenaza para el municipio en un periodo de retorno de 50 años es de 0,20 y la vulnerabilidad total es de 0,58.

Tabla 144. Valor del riesgo por movimientos en masa

Zona de Estudio	IR	Categoría Riesgo
Nátaga	0,20	Media

Fuente: Geocing SAS.

En la Tabla 145 y Tabla 146, se presenta la categorización correspondiente a predios y vías categorizados por riesgo identificando que existe un riesgo económico total de \$15.403'144.465, de los cuales \$ 14.611'859.470 corresponden a las pérdidas de predios y \$791'284.995 de vías. De los 965 predios ubicados en el municipio, 808 predios se encuentran categorizados en riesgo bajo, esto debido a que las zonas que presentan mayor afectación son hacia el occidente del barrio La Colina y al occidente del barrio Cristo Rey donde limita con el barrio San José, 122 en riesgo medio y 35 en riesgo alto. La malla vial corresponde a 11,83 Km de los cuales la mayor longitud se encuentra categorizada con riesgo medio con 6,7K m, seguido de 4,6 Km en riesgo bajo y 0,51 Km en riesgo alto.

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

Tabla 145. 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
Nátaga	\$14.611.859.470	808	122	35

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 146. Categoría de riesgo por Movimientos en Masa de las vías y sus pérdidas esperadas

Zona	Riesgo económico directo total	Riesgo vías (m)		
		Bajo	Medio	Alto
Nátaga	\$ 791.284.995	4.642,54	6.678,25	510,56

Fuente: Geocing SAS.

A pesar de que el municipio no presenta un riesgo alto, es necesario evaluar de manera detallada la situación correspondiente para los 35 predios y los 0,51 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 (\$ 7.811´401.149).

17.3.2 *Riesgo Por Inundación*

Se encuentra categorizado con riesgo bajo por inundación tal como se presenta en la Tabla 147, con un índice de 0,01, debido a que los resultados de vulnerabilidad total y amenaza del municipio también se encuentran en categoría baja.

Tabla 147. Valor del riesgo por Inundación

Zona de Estudio	IR	Categoría Riesgo
Nátaga	0,01	Bajo

Para los 965 predios y 11,83 metros viales ubicados se presenta un riesgo económico total de \$ 1.271´886.632, de los cuales el 86,9% (\$1.104.746.237) corresponden a pérdidas de construcciones tal como se presenta en la Tabla 146, de los cuales 964 predios se encuentran en categoría baja y 1 predio en categoría de riesgo medio. Adicionalmente el restante 13,14% (\$167´140.394) hace referencia a las pérdidas esperadas de los tramos viales distribuidos tal como se presenta en la Tabla 147, de los cuales el 112,8 Km se identificaron en categoría de riesgo bajo, el 0,02 Km se encuentran en riesgo medio y alto respectivamente.

Tabla 148. Categoría de riesgo por inundación de las construcciones y sus pérdidas esperadas.

Zona	Riesgo económico directo total	Riesgo construcciones (N°)		
		Bajo	Medio	Alto
Nátaga	\$ 1.104´746.237	964	1	0

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 149. Categoría de riesgo por inundación de las vías y sus pérdidas esperadas

Zona	Riesgo económico directo total	Riesgo vías (m)		
		Bajo	Medio	Alto
Nátaga	\$ 167´140.394	11.788,86	21,45	21,04

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

Ya que el municipio se encuentra categorizado con riesgo bajo, no se requieren implementar medidas de manera inmediata, pero es necesario evaluar de manera puntual los 0,02 Km viales que están categorizados con riesgo alto, para evitar las pérdidas asociadas a estos que corresponden a \$ 3'363.167 y medidas sobre el predio que presenta riesgo medio.

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

18 BIBLIOGRAFÍA

- Hydrologic Engineering Center. (2002). *HEC-RAS River Analysis System. Hydraulic Reference Manual*. Davis, California: US Army Corps of Engineers.
- 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.
- 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.
- Chow, V. T. (1959). *Open - Channel Hydraulics*. Tokyo: McGraw - Hill; Kogakusha.
- Chow, V. T. (1984). *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw Hill Book Company.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & W, M. L. (1988). *Hidrología Aplicada*. Bogotá DC: McGraw-Hill.
- Chow, V. T., R, M. D., & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. New York, USA: Mc Graw-Hill International Editions, Civil Engineering Series.
- Cifuentes, D. (2011). Modelación de vulnerabilidad física de estructuras de uno o dos pisos, asociada a deslizamientos. *Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Colombia*.

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

- 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.
- Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). *Landslides Types and Processes*. National Research Council.
- 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 - Índice de Pobreza Multidimensional - IPM- 2015: http://formularios.dane.gov.co/Anda_4_1/index.php/catalog/392
- Duque Escobar, G. (2003). *Manual de Geología para Ingenieros - Geomorfología*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- Durán, J., Elízaga, E., Garzón, G., Lamas, J., Lendínez, A., & Prieto, C. (1985). *Geología y prevención de daños por inundaciones*. Instituto Geológico Minero de España.
- Engineers, U. A. (1990). *HEC-HMS, Flood Hydrograph Package, User's Manual*. Hydrologic Engineering Center Generalized Computer Program. CPD-1A, Version: 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 analysis methodology for urban areas with integration of social research data. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 2843–2863.
- González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN.
- González G., A. J. (1990). *Conceptos sobre la Evaluación de Riesgo por Deslizamientos. VI Jornadas Geotécnicas*. Bogotá, Colombia: Sociedad Colombiana de Ingenieros.
- Gravelius, H. (1985). *Developments in Water Science*. Amsterdam: Elsevier B.V.

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

- 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.
- 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.
- Hungr, O., Evans, S. G., Bovis, M. J., & Hutchinson, J. N. (2001). A review of the classification of landslides of the flow type. *Environmental & Engineering Geoscience Vol VII No 3*, 221-238.
- Hydrology and Earth System Sciences. (2011). *Hydrological landscape classification: investigating the performance of HAND based landscape classifications in a central European meso-scale catchment*.
- IDEAM - Universidad Nacional de Colombia. (2011). *Zonificación de amenazas por inundación en las cuencas del Bajo Magdalena - Cauca - San Jorge, Sinú y Atrato: Propuesta metodológica y aplicación*. Medellín.
- IDEAM. (1997). *Las coberturas vegetales, uso y ocupación del espacio de Colombia. Escala 1:500.000*.
- IDEAM. (2010). *Leyenda Nacional de Cobertura de la Tierra-Metodología Corine Land Cover Adaptada para Colombia Escala 1:100.000*.
- IDEAM. (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia. Escala 1:100.000*. 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*.

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

- 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, & CANCELLETA. (2015). *Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100 Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones - Enfoque Nacional - Departamental: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático*. Bogotá, Colombia.
- IMA. (2015). *Ingeniería y Medio Ambiente. Metodología para el análisis de fenómenos de remoción en masa*. Bogotá.
- INVIAS. (2009). *Manual de Drenaje para Carreteras. Instituto Nacional de Vías*. Bogotá D. C.: Ministerio de Transporte, Subdirección de Apoyo Técnico.
- Jimeno, C. L., Fariñas de Alba, J. L., Gómez Prieto, R., Mataix González, C., Garcia Bermudez, P., Llopis Trillo, G., & Serrano Pedraza, P. (1999). *Manual de Estabilización y Revegetación de Taludes*. Madrid: Entorno Grafico, S.S.
- Jones, F., Embody, D., & Peterson, W. (1961). Landslides along the Columbia river valley, Northeastern Washington. . *U.S. Geol. Surv. Prof. Paper*, 367, 98.
- Jun, K.-S., Chung, E.-S., Kim, Y.-G., & Kim, Y. (2013). A fuzzy multi-criteria approach to flood risk vulnerability in South Korea by considering climate changes impacts. *Expert Systems with Application*, 40,1003-1013.
- Kelman, I., & Spence, R. (2004). An overview of flood actions on buildings. *Engineering Geology*, (73) 297-309.
- Kim, E. S., & Choi, H. I. (2011). Assessment of Vulnerability to extreme flash floods in Desgin Storms. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 8, 2907-2922.
- Kok, M., Huizinga, H., Vrouwenvelder, A., & Barendregt, A. (2005). Standaardmethode2004—Schade en Slachtoffers als gevolg van overstromingen. . *DWW-2005-005. RWS Dienst Weg- en Waterbouwkunde*.
- 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.

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

- Lee, H.-J., Mak Chee, M., & Chin Wen, C. (2006). Web Based Fuzzy Multicriteria Decision Making Tool. *International Journal of The Computer, the Internet and Managment*, 14 (2) 1-14.
- Lee, T. Y., Lee, S. Y., & Lee, H. M. (2001). A note on "Evaluating the rate of Aggregative risk in software development using fuzzy set theory. *In Sixth Asia-Pacific Decision Sciences (APDSI) Conf.*
- Leone. (1996). *Concept de Vulnerabilite applique a l'evaluation des risques generes par les phenomenes de mouvements de terrain*. Grenoble: These pour obtenir le titre de Docteur de L'Universite Joseph Fourier.
- Malczewski, J. (2006). A GIS-based approach to multiple criteria group decision-making. *International Journal of Geographical Information Systems*, 10(8):955-971.
- Martínez, D., & Castrillón, D. (2014). *Zonificación de amenazas por inundaciones en las zonas urbanas de expansión del municipio de Jamundí (Valle del Cauca)*. Santiago de Cali: Universidad del Valle.
- MINAMBIENTE, M. F. (2014). *Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas*.
- MinDesarrollo. (2000). Reglamento técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. RAS - 2000. Sección II. Título D. Sistemas de Recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales.
- 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*.

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

- Mulder, H. (1991). Assessment of landslide hazard. *Nederlandse Geografische Studies. PhD Thesis, University of Utrecht*, 150 pp.
- Nadal, N., Zapata, R., Pagán, I., López, R., & Agudelo, J. (2010). Building Damage due to Riverine and Coastal Floods. *J. Water Resour. Plann. Manage.*, 327-336.
- Nobre, A., Cuartas, L., Hodnett, M., Rennó, C., Rodrigues, G., Silveira, A., . . . Saleska, S. (2011). *Height Above the Nearest Drainage – a hydrologically relevant new terrain model*.
- O'Rourke, M., & El Hmadi, K. (1988). Analysis of continuous buried pipelines For seismic wave effects.". *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 16, 917-929.
- 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.
- 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.

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

- 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.
- 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*.
- 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.

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

- 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.
- 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*.

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

- 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.