

FORMULACIÓN  
**POMCA**  
RÍO TURBO Y CURRULAO



Plan de Ordenación y Manejo  
de la Cuenca Hidrográfica



MINAMBIENTE



MINHACIENDA



**TODOS POR UN  
NUEVO PAÍS**  
PAZ EQUIDAD EDUCACIÓN

**FASE DE DIAGNÓSTICO**  
**CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE RIESGO**

**MARZO DE 2018**

UT POMCA RÍO TURBO -CURRULAO  
NIT. 900.933.783-7

DIRECCIÓN DE CORRESPONDENCIA: CARRERA 46 No. 45-34 CC BELLO METRO (BELLO-ANTIOQUIA)



**REGISTRO DE APROBACIÓN:**

<b>Elaboró</b>	<b>Revisó</b>	<b>Aprobó</b>	<b>Fecha</b>
UT POMCA Río Turbo Currulao	CORPOURABA  Consortio POMCAS 2014	CORPOURABA  Consortio POMCAS 2014	Marzo de 2018



## TABLA DE CONTENIDO

7	CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL RIESGO .....	15
7.1	INTRODUCCIÓN .....	15
7.2	GENERALIDADES.....	16
7.3	MARCO NORMATIVO DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LA CUENCA.....	18
7.3.1	Objetivo.....	19
7.3.2	Aspectos normativos .....	19
7.3.3	Alcances de la gestión del riesgo en el plan de ordenamiento de la Cuenca Río Turbo-Currulao.....	21
7.4	DEFINICIONES BÁSICAS .....	24
7.5	CARACTERIZACIÓN HISTÓRICA DE AMENAZAS Y EVENTOS AMENAZANTES ..	30
7.5.1	Metodología .....	30
7.5.2	Reseña histórica eventos amenazantes .....	31
7.5.3	Registro y análisis de eventos históricos .....	34
7.5.4	Bases de datos consultadas.....	35
7.5.5	Calidad espacial de los datos compilados .....	36
7.5.6	Identificación de eventos históricos .....	38
7.6	CARACTERÍSTICAS DE LA AMENAZA EN LA CUENCA DEL RÍO TURBO-CURRULAO	71
7.6.1	Identificación, clasificación y caracterización de fenómenos amenazantes y evaluación de la amenaza por movimientos en masa .....	74
7.6.2	Identificación, clasificación y caracterización de fenómenos amenazantes y evaluación de la amenaza por inundación.....	156
7.6.3	Identificación, clasificación y caracterización de fenómenos amenazantes y evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales .....	178
7.6.4	Identificación, clasificación y caracterización de fenómenos amenazantes y evaluación de la amenaza por incendios forestales .....	214
7.6.5	Eventos a considerar: Diapirismo de lodo, Marejadas, Desertización, Vendavales y Erosión costera .....	247
7.7	ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE VULNERABILIDAD.....	249
7.7.1	Análisis de elementos expuestos .....	250
7.7.2	Índice de pérdida o daño (IP) .....	261
7.7.3	Análisis de fragilidad (IF) .....	268
7.7.4	Falta de Resiliencia (IR).....	283
7.7.5	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD.....	285
7.8	ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE RIESGO.....	293
7.9	RECOMENDACIONES E IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES DE INFORMACIÓN	303



7.9.1	Zonas de amenaza por movimientos en masa.....	305
7.9.2	Zonas de amenaza por inundaciones .....	306
7.9.3	Zonas de amenaza por avenidas torrenciales.....	306
7.9.4	Zonas de amenaza por incendios de coberturas vegetales.....	307
7.9.1	Generales de vulnerabilidad y riesgo .....	307
7.10	RECOMENDACIONES PARA LAS PROPUESTAS DE INTERVENCIONES PROSPECTIVAS Y PRESCRIPTIVAS .....	309



## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 .....	80
Ecuación 2. Índice de variabilidad .....	185
Ecuación 3. Valor de uso. ....	262
Ecuación 4. Ocupación. ....	262
Ecuación 5. Valor expuesto de cada uso. ....	264
Ecuación 6. Índice de pérdida.....	267
Ecuación 7. Índice de vulnerabilidad. ....	287

EN ETAPA DE PUBLICIDAD



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización general de la cuenca río Turbo-Currulao. ....	17
Figura 2. Formato para el catálogo. ....	31
Figura 3. Afectación de infraestructura por quebrada la Anguilla. ....	32
Figura 4. Inundación por desborramiento del caño el Veranillo en el barrio Jesus Mora y desbordamiento del caño el Brandy en el sector de las Garzas. ....	32
Figura 5. Sector de Puerto César Plátano donde el río Currulao rompió el dique de protección y destruyó 32 viviendas que estaban en la margen derecha del río. ....	33
Figura 6. Detalles que indican la altura que alcanzaron las aguas del río Currulao y afectaron viviendas, la Institución Educativa Puerto César y cultivos. ....	33
Figura 7. Esquema metodológico utilizado para realizar el inventario de eventos históricos en el POMCA Río Turbo-Currulao. ....	35
Figura 8. Caracterización de eventos histórico. ....	43
Figura 9. Ubicación de los registros históricos de avenidas torrenciales, periodo 1967–2016. ....	45
Figura 10. Ubicación de los registros históricos de inundaciones, periodo 1931–2016. ....	48
Figura 11. Ubicación de los registros históricos de marejadas, periodo 1973–2016. ..	50
Figura 12. Ubicación de los registros históricos de movimientos en masa, periodo 1971–2016. ....	52
Figura 13. Localización de movimientos en masa consultados de SIMMA .....	54
Figura 14. Ubicación de los registros históricos de la erosión costera, periodo 1973–2016. ....	59
Figura 15. Ubicación de los registros históricos de diapirismo de lodo en la cuenca. ..	62
Figura 16. actividades de recolección de información en campo (Fuente: propia con el uso de imágenes de Google Earth). ....	67
Figura 17. Estado de la vía Nuevo Antioquia – Playa Larga afectada por movimientos en masa (Fuente: propia). ....	68
Figura 18. Evidencian algunos procesos de movimientos en masa de magnitud importante Deslizamiento – Hacienda Currulao, estación EG-05 SECTOR ESCUELA HACIENDA CURRULAO (Fuente: propia). ....	69
Figura 19. Deslizamientos sector Alto de Mulatos – Caracolí. Margen Izquierda río Guadualito VIA A ALTO DE MULATOS – MARGEN IZQUIERDA RÍO GUADUALITO .....	69
Figura 20. Deslizamientos sector La Playona. (Fuente: propia) .....	70
Figura 21. Panorámica sector Manuel Cuello En el sector de Manuel Cuello se evidencia de manera generalizada gran cantidad de procesos de reptación en suelos residuales de Ngpi2 y deslizamientos. (Fuente: propia). ....	70
Figura 57. Esquema conceptual y metodológico seguido para la identificación, clasificación y caracterización de fenómenos amenazantes y evaluación de la amenaza en la cuenca. ....	72
Figura 23. Metodología para obtener susceptibilidad a movimientos en masa .....	76
Figura 24. Muestra de sitios estables e inestables .....	79
Figura 25. Modelo de Elevación Digital-DEM. Fuente: elaboración propia .....	81
Figura 26. Factores condicionantes derivados de las características geométricas de la ladera .....	82
Figura 27. Propensividad a inestabilidad por pendiente de la ladera .....	83
Figura 28. Propensividad a inestabilidad por pendiente senoidal de la ladera .....	84
Figura 29. Propensividad a inestabilidad por rugosidad .....	85
Figura 30. Propensividad a inestabilidad por curvatura del terreno .....	86



Figura 31. Propensividad a inestabilidad por curvatura del terreno con respecto al perfil .....	87
Figura 32. Propensividad a inestabilidad por curvatura del terreno respecto al plano horizontal .....	88
Figura 33. Propensividad a inestabilidad por insolación .....	89
Figura 34. Propensividad a inestabilidad por orientación de la ladera .....	90
Figura 35. Propensividad a inestabilidad por acumulación de la cuenca .....	92
Figura 36. Propensividad a inestabilidad por longitud de cuenca acumulada .....	93
Figura 37. Factores condicionantes derivados de las variables con relación de proximidad .....	95
Figura 38. Propensividad a inestabilidad por proximidad de la distancia a drenajes Fuente:Elaboración propia .....	96
Figura 39. Distancia euclidiana desde cada punto del terreno hasta la vía mas cercana .....	98
Figura 40. Densidad de fracturamiento. Fuente:Elaboración propia .....	99
Figura 41. Propensividad a inestabilidad por proximidad de la distancia a fallas y lineamientos fotogeológicos .....	100
Figura 42. Propensividad a inestabilidad por proximidad de la distancia a canteras .	101
Figura 43. Factores condicionantes derivados de las variables categóricas .....	103
Figura 44. Propensividad por origen o del tipo de unidad geológica .....	104
Figura 45. Propensividad por tipo de unidad geomorfología .....	105
Figura 46. Propensividad por tipo de cobertura .....	109
Figura 47. Propensividad por tipo de unidad UGS .....	110
Figura 48. Histogramas de distribución de las variables de entrada de la función discriminante .....	115
Figura 49. Susceptibilidad a movimientos en masa de la cuenca Río Turbo-Currulao	123
Figura 50. Estructura metodológica para la evaluación de amenaza por movimientos en masa .....	125
Figura 51. Esquema del modelo de talud infinito .....	127
Figura 52. Pendiente .....	133
Figura 53. Retención potencial .....	134
Figura 54. Altura de la lámina de agua para cada periodo de retorno (2, 20, 50 y 100 años) .....	138
Figura 55. Coeficiente de aceleración sísmica .....	140
Figura 56. Modelo geológico geotécnico .....	143
Figura 57. Cohesión de suelos .....	144
Figura 58. Ángulo de fricción .....	145
Figura 59. Peso unitario .....	146
Figura 60. Espesor .....	147
Figura 61. Amenaza por movimientos en masa .....	149
Figura 62. Validación de la amenaza por movimientos en masa .....	150
Figura 63. Panorámica sector Manuel Cuello (arriba) y Deslizamientos típicos en márgenes de cauces (abajo). Fuente: Elaboración propia .....	151
Figura 64. Taller de resultados de la caracterización de las condiciones de riesgos con el consejo de cuenca, municipio de Apartado. ....	152
Figura 65. Taller de resultados de la caracterización de las condiciones de riesgos con el consejo de cuenca, municipio de Turbo. ....	152
Figura 66. Socialización de resultados de la caracterización de las condiciones de riesgos con el consejo de cuenca, municipio de Necolí. ....	153



Figura 67. Diagrama de flujo para la evaluación de la susceptibilidad por inundaciones fluviales lentas. Fuente: Recuperado de (Fondo Adaptación, 2014). .....	157
Figura 68. Variables que determinan a la zonificación de la susceptibilidad a la amenaza por inundaciones .....	159
Figura 69. Susceptibilidad por subunidades geomorfológicas a inundaciones. ....	162
Figura 70. Susceptibilidad por unidades de terreno a inundaciones. ....	164
Figura 71. Susceptibilidad a inundaciones por eventos históricos en subunidades geomorfológicas .....	165
Figura 72. Susceptibilidad a inundaciones por eventos históricos en unidades de terreno. Fuente: Elaboración propia. ....	166
Figura 73. Susceptibilidades por inundaciones. ....	168
Figura 74. Delimitación de áreas susceptibles a inundarse. ....	169
Figura 75. Niveles de sedimentos aluviales sin consolidar en la margen derecha del río Guadalito. Estación SMAR-064. ....	170
Figura 76. Niveles de terrazas aluviales en la Quebrada Los Indios. Estación SMAR-076. ....	170
Figura 77. Delimitación del componente hidrológico en el tramo del río Currulao y algunos afluentes. ....	172
Figura 78. Variables para la modelación de la amenaza por inundaciones. Fuente: Elaboración propia. ....	173
Figura 79. Amenaza por inundación en la Cuenca del Río Turbo-Currulao. ....	176
Figura 80. Diagrama de flujo para la evaluación de la susceptibilidad por avenidas torrenciales.....	179
Figura 81. Variables que determinan a la zonificación de la susceptibilidad por avenidas torrenciales.....	184
Figura 82. Índices implícitos en el cálculo del Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales – IVET.....	184
Figura 83. Índice de variabilidad de caudal. Fuente: Elaboración propia.....	187
Figura 84. Categorías necesarias para calcular el índice morfométrico.....	188
Figura 85. Índice morfométrico. ....	189
Figura 86. Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales. ....	190
Figura 87. Susceptibilidad por unidades geomorfológicas a avenidas torrenciales....	193
Figura 88. Susceptibilidad de unidades del terreno a eventos torrenciales.....	195
Figura 89. Susceptibilidad a avenidas torrenciales por eventos históricos en subunidades geomorfológicas. ....	197
Figura 90. Susceptibilidad a avenidas torrenciales por eventos históricos en unidades de terreno.....	198
Figura 91. Susceptibilidad por avenidas torrenciales.....	199
Figura 92. Identificación de unidad de origen fluvial, se trata de un abanico aluvial. Estación SMAR-005 del recorrido geomorfológico. Depósito aluvial o aluvio-torrencial en la margen izquierda del río currulao. ....	200
Figura 93. Variables para la modelación de la amenaza por avenidas torrenciales ...	203
Figura 94. Amenaza por avenidas torrenciales según el Protocolo para la incorporación de riesgos en los POMCA (2014).....	205
Figura 95. Amenaza por avenidas torrenciales final.....	206
Figura 96. Cárcava y erosión de fondo de un drenaje en el sector Alto de Mulatos – Caracolí. Fente: Elaboración propia .....	208
Figura 97. Deslizamiento en la margen derecha del río Currulao, sector Playa Larga. Fuente: Elaboración propia. ....	208





Figura 98. Deslizamientos por socavación lateral en la margen izquierda del río Currulao vía a Playa Larga. Fuente: Elaboración propia. ....	208
Figura 99. Deslizamientos Margen Izquierda río Guadualito, sector Alto de Mulatos – Quebrada El Volcán. Fuente: Elaboración propia. ....	209
Figura 100. Panorámica sector Manuel Cuello. Fuente: Elaboración propia. ....	209
Figura 101. Socavación lateral margen derecha río Guadualito – Caracolí. Fuente: Elaboración propia. ....	210
Figura 102. Presencia de bloque de mediana dimensión y clastos en la planicie de inundación evidenciados en el recorrido de campo de geomorfología. Estación SMAR-024. ....	210
Figura 103. Clastos en contactos tangenciales entre sí en la planicie de inundación evidenciados en el recorrido de campo de geomorfología. Estación SMAR-024. ....	211
Figura 104. Río Tío López, en la vía Currulao – Nuevo Antioquia. ....	211
Figura 105. Variables que determinan a la zonificación de la susceptibilidad de la cobertura vegetal a sufrir incendios forestales. ....	216
Figura 106. Tipo de combustible predominante en la cuenca Río Turbo-Currulao. ...	220
Figura 107. Duración combustible. ....	223
Figura 108. Carga total combustible. ....	226
Figura 109. Mapa de susceptibilidad por incendios forestales. ....	228
Figura 110. Variables para la modelación de la amenaza por incendios forestales ...	229
Figura 111. Propensividad de acuerdo con la precipitación media anual. ....	230
Figura 112. Propensividad de acuerdo con la temperatura media anual. ....	232
Figura 113. Anomalías de la precipitación identificadas en las estaciones metereológicas de influencia en la cuenca. ....	234
Figura 114. Anaomalías para la temperatura media identificada en las estaciones metereológicas con influencia en la cuenca. ....	235
Figura 115. Propensividad de acuerdo con los porcentajes de pendiente de la cuenca. ....	237
Figura 116. Calificación de la accesibilidad en función a la amenaza a incendios forestales. ....	239
Figura 117. fenómenos de sequia ocurridos en los periodos 1997-1998, 2007-2008 y 2014-2015. ....	241
Figura 118. Calificación del factor histórico en función a la amenaza a incendios forestales. ....	242
Figura 119. Amenaza por incendios forestales. ....	244
Figura 120. Eventos a considerar, a partir de información secundaria, dentro del POMCA Río Turbo-Currulao. ....	248
Figura 121. Mapa conceptual detallado para el análisis de vulnerabilidad. ....	251
Figura 122. Elementos expuestos a sufrir afectación por la ocurrencia de eventos amenazantes dentro de la cuenca Río Turbo-Currulao. ....	255
Figura 123. Mapa conceptual para el análisis del modelo de exposición en los POMCAS. ....	256
Figura 124. Valor de construcción por metro cuadrado en las Zonas Homogéneas de los Centros Poblados de la Cuenca Río Turbo Currulao. ....	259
Figura 125. Espacialización de valor de uso para la cuenca Río Turbo-Currulao. ....	265
Figura 126. Espacialización de valor humano u ocupación. ....	266
Figura 127. Espacialización del índice de exposición. ....	268
Figura 128. Variables que influyen la fragilidad de función a la vulnerabilidad. ....	269
Figura 129. Fragilidad física por movimientos en masa. ....	270
Figura 130. Fragilidad física por inundaciones. ....	271



Figura 131. Fragilidad física por avenidas torrenciales. ....	272
Figura 132. Fragilidad física por incendios forestales. ....	273
Figura 133. Espacialización del índice de calidad de vida. ....	275
Figura 134. Índice de fragilidad cultural. ....	276
Figura 135. Espacialización del índice de GINI de tierras. ....	277
Figura 136. Porcentaje de no escolaridad poblacional. ....	278
Figura 137. Índice de fragilidad sociocultural. ....	279
Figura 138. Índice de fragilidad ecosistémica. ....	280
Figura 139. Espacialización del índice de fragilidad para la cuenca Río Turbo-Currulao. ....	282
Figura 140. Espacialización del índice de resiliencia para la cuenca Río Turbo-Currulao. ....	284
Figura 141. Esquema metodológico seguido para analizar la vulnerabilidad en la Cuenca Río Turbo – Currulao. ....	285
Figura 142. Mapa conceptual para el análisis de la vulnerabilidad en la cuenca Río Turbo-Currulao (tomado del documento de protocolo). ....	287
Figura 143. Espacialización del índice de vulnerabilidad general. ....	288
Figura 144. Vulnerabilidad por movimientos en masa. ....	289
Figura 145. Vulnerabilidad por Inundación. ....	290
Figura 146. Vulnerabilidad por incendios forestal. ....	291
Figura 147. Vulnerabilidad física por avenidas torrenciales. ....	292
Figura 148. Esquema metodológico seguido para analizar el riesgo en el POMCA Río Turbo – Currulao. ....	294
Figura 149. Porcentaje municipal de NBI-2012. ....	295
Figura 150. Porcentaje de pobreza extrema por municipio – 2014. ....	295
Figura 151. Riesgo por movimientos en masa. ....	298
Figura 152. Riesgo por inundaciones. ....	299
Figura 153. Riesgo por avenidas torrenciales. ....	300
Figura 154. Riesgos por incendios forestales. ....	301



## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Cantidad de eventos por fuente de información. ....	36
Gráfico 2. Calidad espacial de los datos por fuente de información. ....	37
Gráfico 3. Cantidad de eventos por zona Urbana y Rural. ....	37
Gráfico 4. Distribución histórica de eventos en la Cuenca Río Turbo-Currulao. ....	38
Gráfico 5. Cantidad de eventos por tipo. ....	40
Gráfico 6. Distribución porcentual de los eventos en el número de personas afectadas .....	41
Gráfico 7. Distribución porcentual de los eventos en el número de viviendas afectadas. .....	42
Gráfico 8. Registro histórico de avenidas torrenciales, periodo 1967–2016. ....	44
Gráfico 9. Registro histórico de incendios forestales, periodo 1997–2016. ....	46
Gráfico 10. Registro histórico de inundaciones, periodo 1931–2016. ....	47
Gráfico 11. Registro histórico de marejadas, periodo 1973–2016. ....	49
Gráfico 12. Registro histórico de movimientos en masa, periodo 1983–2016. ....	51
Gráfico 13. Procesos morfodinámicos por Municipios. ....	53
Gráfico 14. Tipo de procesos morfodinámicos identificados en el análisis geomorfológico para la Cuenca Río Turbo-Currulao. Fuente: Elaboración propia a partir de la corroboración en campo. ....	53
Gráfico 15. Eventos históricos por remoción en mas para la Cuenca Río Turbo-Currulao. .....	55
Gráfico 16. Tipos de Deslizamientos. ....	55
Gráfico 17. Registro histórico de vendavales en el área del POMCA Río Turbo-Currulao. .....	63



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distribución temporal de los eventos por períodos .....	39
Tabla 2. Cantidad de personas y viviendas afectadas por tipo de evento .....	40
Tabla 3. Descarga de sedimentos al mar Caribe de los principales cauces. ....	57
Tabla 4. Registro histórico de eventos asociados con erosión costera. ....	58
Tabla 5. Localización de procesos de erosión costera en la cuenca. ....	58
Tabla 6. Clasificación de la amenaza por erosión costera en la cuenca. ....	61
Tabla 7. Características del diapirismo de lodos en área de la cuenca. ....	61
Tabla 8. Características del vendaval en área del POMCA Río Turbo-Currulao. ....	63
Tabla 9. Localización de vendavales en el área del POMCA Río Turbo-Currulao. ....	64
Tabla 10. Características de desertificación (sequía) en la cuenca. ....	65
Tabla 11. Número de sequías promedio por décadas en la Región Caribe. ....	66
Tabla 12. Análisis de resultados por municipio – Movimientos en masa. ....	67
Tabla 13. Información utilizada para la modelación de susceptibilidad y amenaza en la cuenca .....	76
Tabla 14. Factores de propensividad a la generación de inestabilidad en la Cuenca del Río Turbo-Currulao .....	77
Tabla 15. Calificación y categorización de curvatura del terreno. ....	87
Tabla 16. Calificación y categorización de curvatura del terreno con respecto al perfil .....	88
Tabla 17. Calificación y categorización de la orientación de la ladera .....	91
Tabla 18. Calificación y categorización de la distancia a cuerpos de agua .....	97
Tabla 19. Calificación y categorización de la distancia a vías .....	97
Tabla 20. Calificación y categorización de la distancia a canteras .....	102
Tabla 21. Propensividad a inestabilidad según origen o del tipo de unidad geológica	103
Tabla 22. Propensividad a inestabilidad según tipo de subunidad geomorfológica. ....	106
Tabla 23. Propensividad a inestabilidad según tipo de cobertura vegetal. ....	107
Tabla 24. Propensividad a inestabilidad según tipo de unidad geológica superficial. ....	111
Tabla 25. Prueba de Kolmogorov-Smirnov de la muestra .....	116
Tabla 26. Análisis factorial y matriz de correlación .....	117
Tabla 27. Prueba T (estadísticas de grupo) .....	118
Tabla 28. Prueba ANOVA .....	118
Tabla 29. Descripción de los escenarios de factor de seguridad evaluados para la cuenca .....	128
Tabla 30. Corridas en casos adicionales .....	128
Tabla 31. Clasificación de la amenaza por movimientos en masa en 3 clases. ....	131
Tabla 32. Clasificación de la amenaza por movimientos en masa en 3 clases. ....	131
Tabla 33. Parámetros geomecánicos evaluados para cada unidad geológica superficial .....	141
Tabla 34. Análisis de resultados por municipio – Movimientos en masa. ....	153
Tabla 35. Información usada en la modelación de susceptibilidad y amenaza por inundación. ....	157
Tabla 36. Susceptibilidad por subunidades geomorfológicas a inundaciones .....	160
Tabla 37. Susceptibilidad por unidades de terreno a inundaciones .....	163
Tabla 38. Categorización de la recurrencia de los eventos de inundación .....	173
Tabla 39. Información utilizada para la modelación de susceptibilidad y amenaza por avenidas torrenciales en la Cuenca Río Turbo-Currulao. ....	179
Tabla 40. Relaciones para categorizar el índice morfométrico. ....	181
Tabla 41. Relaciones entre variables para el índice morfométrico. ....	182



Tabla 42. Cálculo del índice morfométrico para las subcuencas jerarquizadas.....	182
Tabla 43. Clasificación del Índice de Vulnerabilidad Frente a Eventos Torrenciales-IVET .....	183
Tabla 44. Caudales máximos evaluados para diversos periodos de retorno en subcuencas.....	185
Tabla 45. Clasificación del índice de vulnerabilidad (IV).....	186
Tabla 46. Resultados del índice de variabilidad para las subcuencas jerarquizadas. .	186
Tabla 47. Resultados del Índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales IVET para las subcuencas jerarquizadas.....	188
Tabla 48. Susceptibilidad de subunidades geomorfológicas a eventos torrenciales ..	191
Tabla 49. Susceptibilidad de unidades del terreno a eventos torrenciales.....	194
Tabla 50. Categorización de la recurrencia de los eventos de avenidas torrenciales .	196
Tabla 51. Registro historico de eventos por avenidas torrenciales – Cuenca Río Turbo-Currulao.....	200
Tabla 52. Categorización de la recurrencia de los eventos de avenidas torrenciales .	204
Tabla 53. Necesidades de estudios de detalle .....	213
Tabla 54. Tipo de combustible predominante .....	217
Tabla 55. Calificación de la duración de combustibles .....	221
Tabla 56. Tipo de cobertura y su carga de combustible.....	224
Tabla 57. Calificación de la precipitación media anual de la cuenca .....	230
Tabla 58. Calificación de la temperatura media anual de la cuenca .....	231
Tabla 59. Distribución de los porcentajes de pendientes de la cuenca.....	236
Tabla 60. Calificación de las pendientes de la cuenca .....	236
Tabla 61. Categorías de la amenaza por la accesibilidad. ....	238
Tabla 62. Reporte de incendios forestales .....	241
Tabla 63. Variaciones en la PPT bajo el Fenómeno del niño .....	243
Tabla 64. Información utilizada en el análisis de elementos expuestos y de la vulnerabilidad en la Cuenca Río Turbo-Currulao.....	251
Tabla 65. Atributos de las zonas homogéneas de centros poblados. ....	256
Tabla 66. Atributos zonas homogéneas zonas rurales (ZHR). ....	257
Tabla 67. Índice habitacional en las Zonas Homogéneas de los Centros Poblados, de la Cuenca Río Turbo Currulao. ....	258
Tabla 68. Índice de precios por Km <sup>2</sup> (IVE) en la Zona Homogénea del Centro Poblado de Currulao. ....	259
Tabla 69. Índice de precios por Km <sup>2</sup> (IVE) en la Zona Homogénea del Centro Poblado de Nueva Antioquía. ....	259
Tabla 70. Cultivos permanentes de los municipios de la cuenca. ....	260
Tabla 71. Valoración de los elementos expuestos, en pesos colombianos (Mapa de las coberturas Corine Land Cover). Fuente: Propia,.....	260
Tabla 72. Indicadores para el modelo de exposición para centros poblados. ....	262
Tabla 73. Precios estimados para los pastos en la cuenca Río Turbo-Currulao.....	263
Tabla 74. Precios estimados para los cultivos de plátano tradicional en la cuenca Río Turbo-Currulao.....	263
Tabla 75. Indicadores para el modelo de exposición para zonas rurales. ....	264
Tabla 76. Fragilidad física .....	269
Tabla 77. Valores ICV y categorías para la evaluación de coberturas “tejido urbano” y “tejido urbano discontinuo”. ....	274
Tabla 78. Categorías para la evaluación de la “fragilidad cultural”. ....	274
Tabla 79. Indicador de la fragilidad de ecosistemas estratégicos. ....	281
Tabla 80. Indicador de fragilidad propuesto. ....	281



Tabla 81. Indicador de la Falta de resiliencia económica. ....	283
Tabla 82. Niveles de vulnerabilidad propuestos para POMCAS. ....	287
Tabla 83. Matriz propuesta para la Categorización de niveles de riesgo del IRt para la zona de estudio con amenaza determinística Referencia. ....	296

EN ETAPA DE PUBLICIDAD



## 7 CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL RIESGO

Para incorporar el componente de gestión del riesgo en la fase de diagnóstico es necesario realizar la caracterización y el conocimiento de las amenazas, el análisis de vulnerabilidad y de los escenarios de riesgos desarrollados. Esta caracterización se basa en la información técnica existente y percepción de los diferentes actores locales, regionales y nacionales, en el registro histórico de eventos proporcionados por las comunidades, entidades territoriales, instituciones técnicas públicas y privadas nacionales e internacionales y gremios, la aplicación de modelos y metodologías conocidas y aceptadas en el medio, coherentes y pertinentes a la escala de resolución de trabajo del POMCA, todo lo anterior se constituye en insumos para el análisis de riesgo, que debe ser incorporado, evaluado e integrado para construir un esquema de escenarios de riesgos que debe orientar a identificar las amenazas probables, los elementos expuestos que pueden ser afectados (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

### 7.1 INTRODUCCIÓN

El componente de gestión del riesgo hace parte integral del Diagnóstico correspondiente al Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica Turbo-Currulao, enfocándose primordialmente a identificar las posibilidades de afectación en la cuenca por la ocurrencia de eventos amenazantes.

Su elaboración se ajustó a las orientaciones contempladas en la Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas – POMCAS, el protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los POMCA y los alcances técnicos fijados para el contrato de consultoría correspondiente a la Cuenca Hidrográfica del Río Turbo-Currulao (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

El análisis pretende principalmente aportar insumos para abordar la identificación y evaluación de amenazas, analizar la vulnerabilidad e identificar los escenarios de riesgo en el área de estudio basados en la premisa de que el riesgo es el resultado de la concurrencia de una amenaza y de la vulnerabilidad de elementos amenazados (elementos expuestos). Por consiguiente, el análisis de riesgo apunta a estimar y evaluar las posibles consecuencias de fenómenos naturales en la población asentada en la cuenca Río Turbo-Currulao y en sus bases de vida. Se trata tanto de efectos o consecuencias a nivel social, como también económico y ambiental. La evaluación de la amenaza y el análisis de la vulnerabilidad forman parte del análisis de riesgo, entendiéndose como acciones inseparables.

Las siete secciones centrales del documento se ocupan del marco de referencia conceptual y normativo, metodología, registro histórico de eventos, caracterización de los fenómenos a considerar (erosión costera, diapiroismo de lodos, vendavales y sequía) en el POMCA Río Turbo-Currulao, la zonificación de amenazas a evaluar (inundación, movimientos en masa, incendios forestales y avenidas torrenciales) y los análisis de vulnerabilidad y riesgo.

El inventario de eventos históricos ocurridos en la cuenca Río Turbo-Currulao, se elaboró a partir de un catálogo de eventos que reúne el registro de ocurrencias en la cuenca asociadas a los fenómenos de movimientos en masa, inundación, avenidas torrenciales,



marejadas e incendios forestales. El proceso de recopilación se llevó a cabo con el apoyo de la comunidad de la cuenca, quienes aportaron sus conocimientos sobre el territorio.

El punto de partida para los estudios de análisis y evaluación de amenazas es la estimación de la susceptibilidad, la cual se entiende como la predisposición de un territorio a presentar determinados fenómenos amenazantes. De acuerdo a su naturaleza, los eventos amenazantes poseen una fuente y una forma de materialización en la cuenca.

El análisis de la vulnerabilidad se realizó teniendo en cuenta los índices de fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que posee la comunidad presente en la cuenca y la que puede ser afectada o de sufrir efectos adversos como producto de eventos físicos peligrosos. Mediante este análisis, se determinó el nivel de exposición y susceptibilidad de los elementos expuestos a ser afectados por eventos amenazantes que puedan generar daños y pérdidas.

En el análisis y evaluación del riesgo, se identificaron los escenarios de riesgo, y se concentró en utilizar el método de índices e indicadores, el cálculo del riesgo de características cualitativas se realizó a partir de la superposición de la capa de amenaza para el fenómeno evaluado (movimiento en masa, inundación, avenidas torrenciales e incendios forestales) y los niveles de vulnerabilidad dados por el índice de vulnerabilidad.

Con los datos presentados para los niveles de amenaza para el escenario seleccionado y los niveles de vulnerabilidad calculados a partir de los índices propuestos, se calculan los niveles de riesgo para el escenario seleccionado y se obtiene la amenaza probabilística.

La amenaza determinística, se calculó a partir de los datos de los niveles de amenaza para el escenario seleccionado y los niveles de vulnerabilidad, calculados a partir de los índices propuestos, con ayuda del SIG.

## 7.2 GENERALIDADES

La cuenca Río Turbo-Currulao hace parte del Área Hidrográfica Caribe, Zona Hidrográfica Caribe Litoral y Subzona Hidrográfica río Mulatos y Otros Directos al Caribe. Su código según la Zonificación y Codificación de cuencas hidrográficas del IDEAM, es 1202-01 (IDEAM, 2013).

Geográficamente, la cuenca se enmarca en las coordenadas: 7°53'17,65" y 8°24'11,07" de latitud norte y 76°26'58,99" y 76°45'29,16" de longitud oeste. Ver Figura 1 Localización general de la cuenca Río Turbo-Currulao. La cuenca tiene una extensión total de 89.748,67 ha, se encuentra en jurisdicción de los municipios de Apartadó con un 8,77%, Turbo con 75,05% y Necoclí con 16,18%, todos pertenecientes al departamento de Antioquia. Abarca 104 veredas y 15 corregimientos, incluida también la cabecera municipal de Turbo. También es conocida como la cuenca del Caribe, en donde todos sus afluentes desembocan en el Golfo de Urabá. En el capítulo 2, "Caracterización básica de la cuenca" del tomo I del documento de diagnóstico. Se describe en detalle la localización de la cuenca.





FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

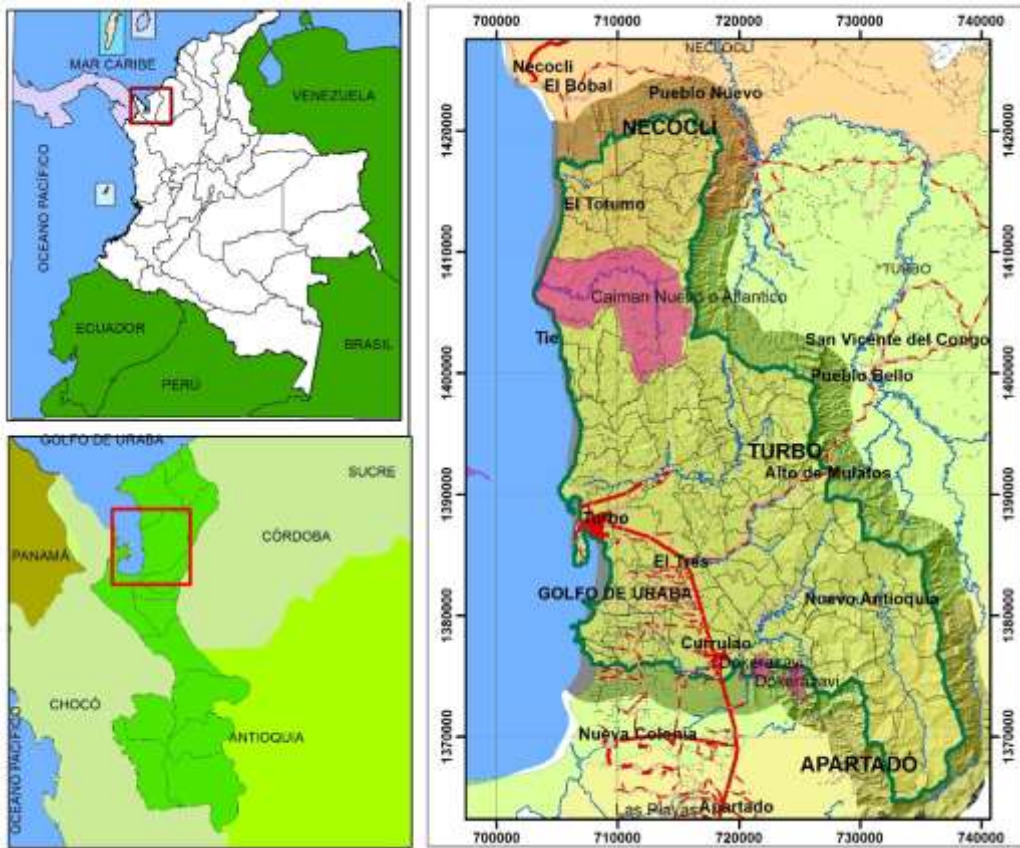


Figura 1. Localización general de la cuenca río Turbo-Currulao.  
Fuente: Elaboración propia

En materia de gestión del riesgos en los procesos de planificación y ordenamiento territorial facilita implantar medidas orientadas a la reducción del riesgo existente y evitar la generación de nuevos riesgos en el futuro.

La política pública sobre gestión del riesgo, establecida en Colombia a través de la Ley 1523 de 2012 (Colombia, 2012) y la Guía Técnica para la Formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014), incluye las siguientes definiciones sobre amenaza, vulnerabilidad, riesgo y gestión del riesgo de desastres:

[...] la amenaza se entiende como, peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas de vidas, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales.

En el POMCA como instrumento de planeación ambiental del territorio, el principal objetivo de una evaluación de amenazas es pronosticar el comportamiento de los eventos potencialmente dañinos, con un conocimiento de la probabilidad de ocurrencia



y sus diferentes magnitudes, que puedan afectar las condiciones físicas, bióticas, sociales y económicas de la cuenca.

[...] la vulnerabilidad se expresa en términos de susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente (IDEAM, 2012).

[...] El riesgo de desastres, se concibe como los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural, tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un periodo de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente, el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad.

[...] El riesgo ecológico, se entiende como la probabilidad de que los ecosistemas se vean afectados por efectos adversos inducidos principalmente por actividades antrópicas sin control y eventos naturales que no se pueden evitar (CORPOURABA, 2016).

[...] Ecosistemas estratégicos, son aquellos que representan algún grado de importancia para su conservación, preservación y recuperación de recursos naturales y además proporcionan bienes y servicios para la humanidad.

[...] Gestión del riesgo, se asume como un proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia del mismo, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastres, así como para la posterior recuperación...estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible.

En este orden de ideas, es importante adicionar que la gestión del riesgo aplicada al manejo integral del recurso hídrico, se asimila como "una política de desarrollo indispensable para asegurar la sostenibilidad, la seguridad territorial, los derechos e intereses colectivos, mejorar la "Calidad de vida" de las poblaciones y comunidades en riesgo y, por lo tanto, está intrínsecamente asociada con la planificación del desarrollo seguro, con la gestión ambiental sostenible, en todos los niveles de gobierno y la efectiva participación de la población".

### 7.3 MARCO NORMATIVO DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LA CUENCA

La gestión del riesgo en la cuenca Río Turbo-Currulao, se concentra en el conocimiento, la reducción y control de los factores de riesgo que permitan soportar la toma de decisiones, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

1. Conocimiento del riesgo (susceptibilidad, amenazas, vulnerabilidad y riesgo).
2. Planteamiento de alternativas relacionadas con la reducción de las condiciones de riesgos.



3. Definición de estrategias y programas tendientes a intervenir y reducir las condiciones de riesgo existentes.

### 7.3.1 Objetivo

Reducir los riesgos en el área de la cuenca, a través de la ordenación y manejo ambiental, evaluación de las amenazas, y análisis de vulnerabilidad, que garanticen una ocupación del territorio de forma segura, estableciendo los condicionamientos para el uso y ocupación del territorio, y evitar la generación de nuevos riesgos en el futuro.

#### 7.3.1.1 Objetivos específicos

- Desarrollar procesos de conocimiento que aporten a la reducción y recuperación en zonas de riesgo sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que pueden ser afectados por la ocurrencia de eventos peligrosos de origen natural.
- Generar herramientas que permitan coordinar y articular entidades públicas y privadas del SNGRD desde los aspectos ambientales para realizar acciones tendientes a la protección de la población, sus bienes y sus actividades ante la probabilidad de ocurrencia de eventos de origen natural.
- Identificar, caracterizar y especializar fenómenos que puedan convertirse en una amenaza para mantener el equilibrio entre el aprovechamiento social y económico del suelo, agua, flora y fauna y la conservación de la estructura físico – biótica de la cuenca, particularmente del recurso hídrico.
- Categorizar las zonas de amenazas y/o susceptibilidad de baja, media y alta, en atención a la necesidad de identificar las áreas que requieren intervención correctiva del riesgo existente, en los escenarios de riesgos priorizados y las áreas que requieren intervención prospectiva para anticiparse a nuevas configuraciones de riesgo.
- Analizar la relación de los fenómenos amenazantes con los efectos de la variabilidad climática por eventos extremos.
- Priorizar acciones dirigidas al conocimiento, la reducción del riesgo y la recuperación ambiental de los territorios afectados por la manifestación de los fenómenos amenazantes.

#### 7.3.2 Aspectos normativos

El marco normativo para la inclusión del riesgo y su gestión en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas – POMCAS, está dado por las siguientes leyes y decretos:

- **Ley 99 de 1993**

En cuanto a las funciones de las Corporaciones Autónomas Regionales,- CARs-, en el numeral 23 del artículo 31 de la Ley 99 de 1993, se establece que debe "Realizar



actividades de análisis, seguimiento, prevención y control de desastres, en coordinación con las demás autoridades competentes, y asistirles en los aspectos medioambientales en la prevención y atención de emergencias y desastres; adelantar con las administraciones municipales o distritales programas de adecuación de áreas urbanas en zonas de alto riesgo, tales como control de erosión, manejo de cauces y reforestación” (Congreso de Colombia, 1993).

- **Ley 388 de 1997**

El artículo 10 de esta ley define que: “En la elaboración y adopción de sus planes de ordenamiento territorial los municipios y distritos deberán tener en cuenta las siguientes determinantes, que constituyen normas de superior jerarquía, en sus propios ámbitos de competencia, de acuerdo con la Constitución y las leyes (...)” (Congreso de Colombia, 1997). En lo que respecta a los POMCAS se aplica el literal b del numeral 1, que indica:

“1. Las relacionadas con la conservación y protección del medio ambiente, los recursos naturales la prevención de amenazas y riesgos naturales, así: (...)”

(...) b) Las regulaciones sobre conservación, preservación, uso y manejo del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, en las zonas marinas y costeras; las disposiciones producidas por la Corporación Autónoma Regional o la autoridad ambiental de la respectiva jurisdicción, en cuanto a la reserva, alindamiento, administración o sustracción de los distritos de manejo integrado, los distritos de conservación de suelos, las reservas forestales y parques naturales de carácter regional; las normas y directrices para el manejo de las cuencas hidrográficas expedidas por la Corporación Autónoma Regional o la autoridad ambiental de la respectiva jurisdicción; y las directrices y normas expedidas por las autoridades ambientales para la conservación de las áreas de especial importancia ecosistémica (...)” (Congreso de Colombia, 1997).

- **Ley 1523 de 2012**

En su artículo 2, señala que: “la gestión del riesgo es responsabilidad de todas las autoridades y de los habitantes del territorio colombiano” (Congreso de Colombia, 2012) y que en cumplimiento de esta responsabilidad, las entidades públicas, privadas y comunitarias desarrollarán y ejecutarán los procesos de gestión del riesgo, entendiéndose: conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y manejo de desastres, en el marco de sus competencias, su ámbito de actuación y su jurisdicción, como componentes del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.

En su artículo 3, la Ley define unos principios que soportan la política de gestión del riesgo uno de ellos que tiene mucha relación con el ordenamiento ambiental del territorio es el Principio de Sostenibilidad Ambiental el cual plantea que “(...) El riesgo de desastre se deriva de procesos de uso y ocupación insostenible del territorio, por tanto, la explotación racional de los recursos naturales y la protección del medio ambiente constituyen características irreductibles de sostenibilidad ambiental y contribuyen a la gestión del riesgo de desastres (...)” (Congreso de Colombia, 2012).

En referencia con la institucionalidad en materia ambiental, le compete a las Corporaciones Autónomas, como integrantes del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo “además de las funciones establecidas por la Ley 99 de 1993 y la Ley 388 de 1997 o las leyes que las modifiquen apoyar a las entidades territoriales de su jurisdicción ambiental



en todos los estudios necesarios para el conocimiento y la reducción del riesgo y los integrarán a los planes de ordenamiento de cuencas, de gestión ambiental, de ordenamiento territorial y de desarrollo (Art. 31) (Congreso de Colombia, 2012); y en los POMCA deberán integrar... “el análisis del riesgo en el diagnóstico biofísico, económico y socio-ambiental y, considerar, el riesgo de desastres, como un condicionante para el uso y la ocupación del territorio, procurando de esta forma evitar la configuración de nuevas condiciones de riesgo (Artículo 39) (Congreso de Colombia, 2012).

- **Decreto 1640 de 2012**

Define dentro de las directrices para la ordenación de cuencas (artículo 19): “(...) la prevención y control de la degradación de los recursos hídricos y demás recursos naturales de la cuenca (...)” y “(...) el riesgo que pueda afectar las condiciones fisicobióticas y socioeconómicas en la cuenca, incluyendo condiciones de variabilidad climática y eventos hidrometeorológicos extremos (...)” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012).

Por otro lado, el artículo 23 de esta Ley define que: “(...) El Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica se constituye en norma de superior jerarquía y determinante ambiental para la elaboración y adopción de los planes de ordenamiento territorial, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 10 de la Ley 388 de 1997 (...)”; así mismo, establece que se convierte en “determinante ambiental al momento de formular, revisar y/o adoptar el respectivo Plan de Ordenamiento Territorial con relación a: la zonificación ambiental, el componente programático y el componente de gestión del riesgo” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012).

En línea con lo anterior, el párrafo 2 establece que: “para la determinación del riesgo, las zonas identificadas como de alta y muy alta amenaza y/o vulnerabilidad en el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca, serán detalladas por los entes territoriales de conformidad con sus competencias”, y en el párrafo 3 concluye que: “los estudios específicos del riesgo que se elaboren en el marco del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica, serán tenidos en cuenta por los entes territoriales en los procesos de formulación, revisión y/o adopción de los Planes de Ordenamiento Territorial” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012).

Por último, y en relación con el componente de gestión del riesgo, el artículo 36 indica que: “las autoridades ambientales competentes en la fase de formulación deberán incorporar la gestión del riesgo, para lo cual, priorizarán y programarán acciones para el conocimiento y reducción del riesgo y recuperación ambiental de territorios afectados” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012).

### **7.3.3 Alcances de la gestión del riesgo en el plan de ordenamiento de la Cuenca Río Turbo-Currulao**

Para la investigación del riesgo en la cuenca se abordó lo siguiente:

1. Identificación, caracterización y espacialización de fenómenos que puedan convertirse en una amenaza para mantener el funcionamiento de los elementos físico-bióticos-social de la cuenca, particularmente del recurso hídrico.



2. Identificación de la susceptibilidad de amenazas en la cuenca a ser afectada por movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales e incendios forestales, categorizando aquellas zonas de amenazas y/o susceptibilidad de baja, media y alta, en atención a la necesidad de identificar las áreas que requieren intervención correctiva del riesgo existente, en los escenarios de riesgos priorizados, y las áreas que requieren intervención prospectiva al nuevo riesgo.

La metodología aplicada hace referencia al estudio de gestión de riesgo en la Fase de Diagnóstico para conocer la susceptibilidad y amenaza del territorio de la cuenca a la ocurrencia de los eventos. Evaluar la amenaza en las zonas críticas identificada como de susceptibilidad media y alta, estudiar la vulnerabilidad de los elementos expuestos y analizar el riesgo producto de concurrencia de la amenaza y la vulnerabilidad para los diferentes escenarios de la amenaza evaluada (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

3. Determinación del análisis de vulnerabilidad representada en el grado de afectación representado en las pérdidas o posible daño que pueda ocasionar un determinado evento potencialmente peligroso, de origen natural, sobre elementos vulnerables que conforman los ecosistemas, superficies agrícolas, población, viviendas, infraestructura vital, equipamientos y al capital natural el grado de vulnerabilidad se puede obtener mediante una evaluación cualitativa y semicuantitativa. En el análisis de los fenómenos amenazantes, se contempló la relación con los efectos de la variabilidad climática, por eventos extremos.

4. Análisis de riesgos a partir de la identificación y análisis de la vulnerabilidades, que tiene como objetivo servir como base para definir y priorizar escenarios de riesgos y los planes y programas de reducción del riesgos en la cuenca hidrográfica, teniendo en cuenta la identificación, caracterización y clasificación de los elementos expuestos (infraestructura estratégicas, socio económicos y de los recursos naturales) que son vulnerables ante los diferentes eventos amenazantes analizados a una escala detallada en las áreas identificadas como de amenaza alta.

5. Priorización de acciones dirigidas al conocimiento, la reducción del riesgo y la recuperación ambiental de los territorios afectados, por la manifestación de los fenómenos amenazantes.

### 7.3.3.1 Alcances y limitaciones técnicas

- La evaluación de amenazas, vulnerabilidad y riesgos se realiza en el marco de lo establecido en el Protocolo para la incorporación de la gestión del Riesgo en los POMCA del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Hacienda y Fondo de Adaptación publicado en el año 2014 y es una actualización al POMCA realizado en 2007 que en el componente de riesgos tuvo alcance conceptual y no la elaboración de modelos cualitativos o cuantitativos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo.
- La estimación de susceptibilidad a movimientos en masa surge de la evaluación de factores de propensividad como geología, geomorfología, cobertura de suelo,



pendiente, insolación, rugosidad, curvatura, presencia de quebradas, vías, fallas geológicas, entre otros, dentro de un análisis multivariante discriminante para la asignación de coeficientes o pesos dentro de una función discriminante ajustada por una variable agrupación definida como sitios estables e inestables considerando la metodología planteada por Carrara (1991), Baeza (1996), Nuria (2001), Santacana (2003), Cardona (2013) y Perico (2018).

- El cálculo de amenaza por movimientos en masa se acota a la estimación de posibilidad de deslizamiento traslacional superficial mediante métodos determinísticos en función del comportamiento geomecánico de resistencia al corte de suelos en varios escenarios que combinan condiciones de lluvia y sismo.
- El cálculo de susceptibilidad y amenaza por avenidas torrenciales desarrolla el método sugerido por el Protocolo para la incorporación de la gestión del Riesgo en los POMCA y considera adicionalmente la condición de amenaza probabilística por movimientos en masa como aportante de materiales sólidos de arrastre para definir la categoría de amenaza en combinación con la caracterización morfométrica.
- La zonificación de susceptibilidad y amenaza por incendios forestales se ejecuta con la metodología del IDEAM sugerida por el Protocolo para la incorporación de la gestión del Riesgo en los POMCA, pero se ve limitada en la aplicación del denominado factor histórico al no contar con un insumo suficiente en términos de localización espacial y temporal de eventos, por lo cual se incorporó en escala de municipio.
- La zonificación de susceptibilidad y amenaza de inundación considera los fenómenos de inundaciones lentas evaluadas a partir de criterios geomorfológicos y recurrencia de eventos históricos e inundaciones rápidas por recurrencia de eventos en las quebradas. El fenómeno que se analiza es inundación por desbordamiento de cauces y no por encharcamiento o sobrepaso de la capacidad hidráulica de la red de drenaje urbana, por ello las quebradas que han sido canalizadas en los cascos urbanos se consideran como red de drenaje pluvial urbana y deben aplicar para un análisis de mayor detalle en integralidad con la consolidación urbana. No se emplea información de mayor detalle por no tener cobertura espacial suficiente a lo largo de todo el cauce que permita realizar modelación hidrológica e hidráulica del cauce de los ríos Guadualito, Turbo, Caiman Nuevo y Caiman Viejo.
- La estimación de vulnerabilidad y riesgo logra valorar las condiciones de fragilidad social y económica de la población, fragilidad ecosistémica, capacidad de respuesta institucional falta de resiliencia. La información disponible es cartografiable a escalas de municipios y veredas y no se cuenta con información detallada de valor de la tierra en la escala de cobertura del suelo para estimar con certidumbre costos de reposición, de manera que preferiblemente no se estimaron pérdidas económicas ni afectaciones posibles.
- La referencia de eventos históricos permite reconocer la recurrencia y afectaciones de los diferentes eventos amenazantes, pero no logra con mucho detalle ser un insumo para análisis espaciales y su incorporación con el rigor necesario en los modelos de cálculo de amenazas, toda vez que su referencia espacial es en su



mayoría a escalas municipales. No obstante, es información útil para fortalecer el contexto de cada una de los fenómenos amenazantes identificados en la cuenca.

- La estimación de vulnerabilidad y riesgo logra valorar las condiciones de fragilidad social y económica de la población, fragilidad ecosistémica, capacidad de respuesta institucional falta de resiliencia. La información disponible es cartografiable a escalas de veredas/corregimientos y barrios/comunas y no se cuenta con información detallada de valor de la tierra en la escala de cobertura del suelo para estimar con certidumbre costos de reposición, de manera que preferiblemente no se estimaron pérdidas económicas ni afectaciones posibles, de manera que se hace mayor énfasis en las variables socioeconómicas que permitan una calificación de la vulnerabilidad social e institucional en aprovechamiento de la información recopilada por el POMCA en los demás componentes.
- Considerando la aclaración del 27 de diciembre de 2017 por parte del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible acerca de la vulnerabilidad y riesgo, se observa que lo evaluado por esta consultoría conserva la línea técnica allí planteada y propone variables adicionales para que sea aplicable la inclusión de los incendios en la metodología. La valoración de vulnerabilidad y riesgo por incendios de coberturas vegetales tiene en cuenta las variables de vulnerabilidad de la metodología del IDEAM reconocida por el Protocolo, las ajusta e incluye otras para que sean parte de la evaluación de vulnerabilidad general pedida por los alcances técnicos. Así, en la inclusión de datos adicionales de resiliencia y la aplicación de encuestas de percepción del riesgo a los actores (oficinas de gestión de riesgo, bomberos, defensa civil, policía, entre otros), se logra estimar una vulnerabilidad general ampliada para la evaluación de riesgos que incluya incendios de coberturas vegetales como lo solicita el Protocolo y el alcance técnico contractual.
- La evaluación de vulnerabilidad se calcula y presenta como se solicita en el protocolo para la incorporación del riesgo en los POMCAs con estimación de fragilidad física por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales como variable de diferenciación único de vulnerabilidad para los distintos fenómenos. En el desarrollo del documento se presentan de manera separada las fragilidades y vulnerabilidades para cada evento amenazante, pero se estima la condición de riesgo con la vulnerabilidad general para no redundar variables dentro del modelo de riesgo. Los argumentos técnicos se desarrollan en el capítulo del modelo de riesgo justificando la conveniencia de no considerar la fragilidad física sugerida por el protocolo.

#### 7.4 DEFINICIONES BÁSICAS

El análisis y evaluación del riesgo es la consideración de las causas y fuentes del riesgo, sus consecuencias y la probabilidad de que las mismas puedan ocurrir. Según la Ley 1523 de 2012 en su artículo 4, numeral 4 se define análisis y evaluación del riesgo como: “el modelo mediante el cual se relaciona la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos sociales, económicos y ambientales. Se estima el valor de los daños y las pérdidas potenciales, y se compara con criterios de seguridad establecidos, con el propósito de definir tipos de intervención y alcance de la reducción del riesgo y preparación para la respuesta y recuperación”. A continuación, se conceptualizan términos involucrados dentro de la gestión del riesgo siguiendo la terminología sobre gestión de riesgo de desastres y fenómenos





amenazantes del comité nacional para el conocimiento del riesgo del SNGRD (Congreso de Colombia, 2012):

- a) **Adaptación:** comprende el ajuste de los sistemas naturales o humanos a los estímulos climáticos actuales o esperados o a sus efectos, con el fin de moderar perjuicios o explotar oportunidades beneficiosas. En el caso de los eventos hidrometeorológicos la adaptación al cambio climático corresponde a la gestión del riesgo de desastres en la medida en que está encaminada a la reducción de la vulnerabilidad o al mejoramiento de la resiliencia en respuesta a los cambios observados o esperados del clima y su variabilidad.
- b) **Amenaza:** peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales.
- c) **Análisis discriminante:** técnica estadística que permite identificar las características que diferencian (discriminan) a dos o más grupos y de esta manera crear una función capaz de distinguir con la mayor precisión posible a los miembros de uno u otro grupo.
- d) **Avenida torrencial:** creciente súbita que por las condiciones geomorfológicas de la cuenca está compuesta por un flujo de agua con alto contenido de materiales de arrastre, con un gran potencial destructivo debido a su alta velocidad. Son uno de los tipos más comunes de amenazas y son extremadamente peligrosas debido a su naturaleza rápida. Sus características son: corta duración, pequeña extensión de área de influencia, alto caudal pico y flujo rápido generalmente causantes de daños importantes a la propiedad. Ocurren a causa de tormentas de alta intensidad, en áreas de altas pendientes en las cuencas y cobertura vegetal pobre y se ven afectadas de manera importante cuando el índice de infiltración se reduce por tormentas previas. Se pueden subdividir de acuerdo con el material de arrastre de la corriente (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).
- e) **Evento:** cualquier acontecimiento que probablemente pueda ocurrir en una posición y momento determinados, que lo definen como un punto en el espacio-tiempo y que representa a la fuente en términos de las respectivas características, dimensiones y localización geográfica (Portilla M., 2001).
- f) **Exposición** (elementos expuestos): se refiere a la presencia de personas, medios de subsistencia, servicios ambientales y recursos económicos y sociales, bienes culturales e infraestructura que por su localización pueden ser afectados por la manifestación de una amenaza.
- g) **Factores condicionantes:** cualquier acontecimiento, circunstancia, suceso o situación previa que predispone o prepara las condiciones de la fuente ante la materialización de un evento. La caracterización de estos factores, así como la identificación de sus interacciones, permite la incorporación en la zonificación de la susceptibilidad y de esta manera en la evaluación de la respectiva amenaza para un área determinada (Glade & Crozier, 2005).



- h) Factores detonantes:** también llamados desencadenantes y corresponden a cualquier acontecimiento, circunstancia, suceso o caso posible que genere una perturbación de la fuente y conlleve a la materialización de un evento (Portilla M., 2012).
- i) Fuente:** lugar o sitio donde se puede generar un evento.
- j) Gestión del riesgo:** de acuerdo al artículo 4, numeral 11 de la Ley 1523 de 2012, “es el proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia del mismo, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación, entiéndase: rehabilitación y reconstrucción. Estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible”.
- k) Inundaciones:** las inundaciones son fenómenos hidrológicos resultado de la dinámica de una corriente. Se producen por lluvias persistentes y generalizadas ocasionando un aumento progresivo del nivel de las aguas que sobrepasa la capacidad de retención del suelo y supera la altura de las orillas naturales o artificiales, ocasionando un desbordamiento y dispersión de las aguas sobre las llanuras de inundación y zonas aledañas a los cursos de agua normalmente no sumergidas.
- Inundaciones lentas:** son las que ocurren en las zonas planas de los ríos y con valles aluviales extensos, los incrementos de nivel diario son de apenas del orden de centímetros, reportando afectaciones de grandes extensiones, pero usualmente pocas pérdidas de vidas humanas, el tiempo de afectación puede fácilmente llegar a ser del orden de meses (Modificado de (IDEAM, 2016)).
- Inundaciones rápidas:** son las que ocurren en las zonas confinadas de los cuerpos de agua tras la ocurrencia de crecientes súbitas de caudal generándose desbordamiento de los cauces, el cual ocurre y desaparece rápidamente.
- l) Inventario:** es una base de datos que contiene información de los eventos históricos en un área determinada, básicamente corresponde a registros identificados combinados con información de su descripción como resultado de la ocurrencia de un evento y se utiliza como insumo de información básica para el análisis de la susceptibilidad junto con los factores condicionantes y extrínsecos o detonantes de los eventos amenazantes identificados. Dentro de las limitaciones que presenta la elaboración de un inventario se encuentra el determinar si este es confiable, suficiente y completo ((Turcotte & Malamud, 2000); (Guzzetti, Reichenbach, Cardinali, & Galli, 2005)), ya que se encuentra sujeto a la calidad y cantidad de información que se recopile y se interprete durante el proceso de elaboración del mismo. En consecuencia, un inventario incompleto o poco confiable puede dar como resultado una evaluación errónea de la susceptibilidad, la amenaza o el riesgo.
- m) Movimiento en masa:** equivale a definiciones como procesos de remoción en masa, fenómenos de remoción en masa, deslizamientos o fallas de taludes y laderas.



La terminología y clasificación de movimientos en masa para este documento es conforme a la Guía para la evaluación de amenazas por movimientos en masa propuesta por el Proyecto Multinacional Andino (PMA), adoptada por Colombia (PMA: GCA, 2007), en la que movimientos en masa incluye todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad (Ávila y Perico, 2015).

**Caídas:** la caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable (PMA, 2007). Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). Una característica importante de las caídas es que el movimiento no es masivo ni del tipo flujo (PMA, 2007).

**Vuelcos:** se denomina así a un tipo de movimiento en masa en el cual hay una rotación generalmente hacia adelante de uno o varios bloques de roca o suelo, alrededor de un punto o pivote de giro en su parte inferior. Este movimiento ocurre por acción de la gravedad, por empujes de las unidades adyacentes o por la presión de fluidos en grietas (Varnes, 1978).

**Deslizamientos:** son un movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una o más superficies de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante (modificado de PMA, 2007). Los deslizamientos pueden ser rotacionales, traslacionales (planares o en cuña) o compuestos según la forma del movimiento y la cantidad de superficies de falla.

**Propagaciones laterales:** la propagación de un suelo cohesivo o masa de roca combinado con un hundimiento general de la masa de material fracturado sobre un material subyacente cohesivo más blando (Cruden & Varnes, 1996). La propagación o expansión lateral es un tipo de movimiento en masa cuyo desplazamiento ocurre predominantemente por deformación interna (expansión) del material (PMA, 2007).

**Flujos:** es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco (PMA, 2007). En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978). Los flujos son movimientos espacialmente continuos en los que las superficies de cizalla se encuentran muy próximas y generalmente no se conservan, la distribución de velocidades en la masa desplazada se parece a la que se presenta en un fluido viscoso. Por este motivo, la masa movida no conserva la forma en su movimiento descendente, adoptando a menudo, formas lobuladas cuando interesan a materiales cohesivos y desparramándose por la ladera o formando conos de deyección cuando afectan a materiales granulares (Corominas, 1998). Según el tipo de material involucrado, contenido de humedad, velocidad de movimiento y otros factores, se pueden clasificar en flujos de roca, flujos de suelo, flujos secos, flujos de detritos, flujos de lodos, flujos de tierra, crecientes de detritos,



avalanchas de detritos, avalanchas de rocas, reptamiento, soliflucción, entre otros.

- n) **Susceptibilidad:** es el grado de predisposición que tiene una fuente a que en él se genere un evento (Escobar, 2007). La susceptibilidad en los estudios de análisis y evaluación de amenazas, constituye la base inicial y el primer paso para el análisis y zonificación de amenazas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).
- o) **Incendios forestales:** fenómeno que se presenta cuando el fuego consume de forma incontrolada la cobertura vegetal (siendo esta el material combustible dentro del proceso de propagación y duración del fuego), cuya quema no estaba prevista (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, s.f.).
- p) **Intervención correctiva:** proceso cuyo objetivo es reducir el nivel de riesgo existente en la sociedad a través de acciones de mitigación, en el sentido de disminuir o reducir las condiciones de amenaza, cuando sea posible, y la vulnerabilidad de los elementos expuestos.
- q) **Intervención prospectiva:** proceso cuyo objetivo es garantizar que no surjan nuevas situaciones de riesgo a través de acciones de prevención, impidiendo que los elementos expuestos sean vulnerables o que lleguen a estar expuestos ante posibles eventos peligrosos. Su objetivo último es evitar nuevos riesgos y la necesidad de intervenciones correctivas en el futuro. La intervención prospectiva se realiza primordialmente a través de la planificación ambiental sostenible, el ordenamiento territorial, la planificación sectorial, la regulación y las especificaciones técnicas, los estudios de prefactibilidad y diseño adecuados, el control y seguimiento y en general todos aquellos mecanismos que contribuyan de manera anticipada a la localización, construcción y funcionamiento seguro de la infraestructura, los bienes y la población.
- r) **Mitigación del riesgo:** medidas de intervención prescriptiva o correctiva dirigidas a reducir o disminuir los daños y pérdidas que se puedan presentar a través de reglamentos de seguridad y proyectos de inversión pública o privada cuyo objetivo es reducir las condiciones de amenaza, cuando sea posible, y la vulnerabilidad existente (Ley 1523 de 2012).
- s) **Ordenamiento territorial:** el ordenamiento del territorio municipal y distrital comprende un conjunto de acciones político-administrativas y de planificación física concertadas, emprendidas por los municipios o distritos y áreas metropolitanas, en ejercicio de la función pública que les compete, dentro de los límites fijados por la Constitución y las leyes, en orden a disponer de instrumentos eficientes para orientar el desarrollo del territorio bajo su jurisdicción y regular la utilización, transformación y ocupación del espacio, de acuerdo con las estrategias de desarrollo socioeconómico y en armonía con el medio ambiente y las tradiciones históricas y culturales (Ley 388 de 1997).
- t) **Paleoinundaciones:** método que identifica zonas de amenaza por inundaciones mediante la disposición y tipología de las formas del terreno y los depósitos generados durante o tras un evento de inundación las cuales no disponen de información histórica registrada o datada. Con ello se pueden delimitar áreas geomorfológicamente activas dentro del cauce fluvial y sus márgenes, y por tanto



susceptibles a ser inundadas en el marco de la dinámica natural de la corriente fluvial, frecuencia cualitativa de inundación, e incluso inferir ordenes de magnitud de parámetros como la profundidad, velocidad de la corriente o carga solidada transportada.

- u) Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica (POMCA):** instrumento a través del cual se realiza la planeación del uso coordinado del suelo, de las aguas, de la flora y la fauna y el manejo de la cuenca entendido como la ejecución de obras y tratamientos, en la perspectiva de mantener el equilibrio entre el aprovechamiento social y económico de tales recursos y la conservación de la estructura físico biótica de la cuenca y particularmente del recurso hídrico (Decreto 1640 de 2012, Art. 18).
- v) Plan de gestión del riesgo de desastres:** es el instrumento que define los objetivos, programas, acciones, responsables y presupuestos, mediante las cuales se ejecutan los procesos de conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y de manejo de desastres, en el marco de la planificación del desarrollo.
- w) Proceso analítico jerárquico:** es el proceso que permite establecer la importancia que tiene cada uno de los factores tenidos en cuenta para la toma de una decisión, cuantificando esta jerarquía de una manera decreciente según la relevancia descrita. Por lo tanto la definición de los factores es el punto de partida que permite una visión global de las relaciones entre los mismos con respecto a la situación a evaluar, indiferente a el tipo de caracterización que represente cada una, lo que permite integrar diferentes temáticas.
- x) Reducción del riesgo:** es el proceso de la gestión del riesgo, está compuesto por la intervención dirigida a modificar o disminuir las condiciones de riesgo existentes, entendiéndose: mitigación del riesgo y a evitar nuevos riesgos en el territorio, entendiéndose: prevención del riesgo. Son medidas de mitigación y prevención que se adoptan con antelación para reducir la amenaza, la exposición y disminuir la vulnerabilidad de las personas, los medios de subsistencia, los bienes, la infraestructura y los recursos ambientales, para evitar o minimizar los daños y pérdidas en caso de producirse los eventos físicos peligrosos. La reducción del riesgo la componen la intervención correctiva del riesgo existente, la intervención prospectiva de nuevo riesgo y la protección financiera.
- y) Resiliencia:** la capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, lo que incluye la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas.
- z) Riesgo de desastres:** corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socionatural, tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente, el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad.



- aa) Vulnerabilidad:** fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo.

## 7.5 CARACTERIZACIÓN HISTÓRICA DE AMENAZAS Y EVENTOS AMENAZANTES

### 7.5.1 Metodología

Los criterios para la determinación de los escenarios de riesgo en el área dependen directamente del desarrollo e incidencia de los eventos amenazantes; de esta forma, para poder hacer el análisis correspondiente, cuantificando en la medida que la información lo permita, los daños y pérdidas potenciales, es necesario que cada uno de los fenómenos que afecta la zona (movimientos en masa, inundaciones, incendios forestales, avenidas torrenciales, así como erosión costera, marejadas, vendavales y diapirismo de lodo) este correctamente identificado, localizado, inventariado y caracterizado.

La recopilación de información se abordó de tres formas: Información de campo, información secundaria (eventos históricos e información especializada emitida por diversas fuentes nacionales, territoriales y locales) e información social brindada por los actores que participan en la gestión del riesgo. Luego de integrar, espacializar, depurar y organizar la información obtenida se realiza un análisis de afectaciones, víctimas y daños de los registros encontrados por cada fenómeno amenazante, se describen ciertos eventos que han sido muy relevantes en la cuenca ya sea por su magnitud o afectación y finalmente se realiza una descripción espacial-temporal de los eventos georreferenciados.

Adicionalmente, se elaboró un instrumento para la recopilación de información asociada a eventos, considerando las especificaciones consignadas en los alcances técnicos para la formulación del POMCA (Figura 2). El instrumento en mención comprende las siguientes variables:

- ID
- Fecha de Ocurrencia
- Tipo de evento
- Lugar Afectado
- Georreferenciación
- No. Personas afectadas
- No. Viviendas afectadas
- Magnitud
- Tipo de causa
- Observaciones de causa



REGISTRO HISTORICO DE EVENTOS POR AVENIDAS TORRENCIALES - POMCA TURBO CURRULARO											
ID	Fecha de Ocurrencia	Tipo de evento	Lugar Afectado		Georeferenciación		No. Personas	No. Viviendas	Magnitud	Tipo de causa	Observaciones de causa
			Región	Sitio	Longitud	Latitud					

Figura 2. Formato para el catálogo.  
Fuente: Recuperado de Fondo Adaptación (2014).

### 7.5.2 Reseña histórica eventos amenazantes

En términos generales se observa la existencia y ocurrencia de eventos en casi toda la extensión, desde deslizamientos, reptación, flujos y caídas de roca en las áreas de paisaje de montaña hasta avenidas torrenciales desde estas áreas hacia la parte media de la cuenca de los principales ríos e inundaciones en los mismos en la cuenca baja. Una porción de ellos relacionados entre sí o mezclados espacial y temporalmente (p.e. en temporadas de altas precipitaciones se generan crecientes torrenciales que arrastran sedimentos y general simultáneamente avenidas torrenciales e inundaciones, siendo algunos eventos registros sin distinción claro de su naturaleza), por ello se integraron las bases de datos de eventos históricos en territorio verificando superposiciones y duplicidades con criterios de ubicación temporal y espacial.

Los eventos de mayor recurrencia son las inundaciones seguido por los movimientos en masa, la mayoría tipo deslizamiento siendo algunos bastante representativos pues se han participado de fenómenos secuenciales al convertirse en flujos que van encontrando canalización en los drenajes y se combinan con crecientes de caudal en cuerpos de agua confinados y de relieve escarpado para finalmente desarrollar avenidas torrenciales que logran alcanzar extensiones importantes en las áreas de llanura, planicie o desconfinamiento de ríos. Otros movimientos en masa (deslizamientos distantes de cuerpos de agua, flujos no canalizados y caídas de rocas en la vía que conduce al municipio de San Pedro de Uraba afectan cortes viales dentro de la cuenca. Otros eventos de menor recurrencia pero con el mismo o mayor impacto son las avenidas torrenciales asociadas a crecientes súbitas de los ríos Currulao, Guadualito y Turbo.

El 27 de diciembre de 2010 las altas precipitaciones propiciaron el desbordamiento de las quebradas Anguilla y la Manuela provocando la inundación del barrio La Loma y un amplio sector del corregimiento El Totumo, municipio de Necolí..



Figura 3. Afectación de infraestructura por quebrada la Anguilla.  
Fuente: Corpouraba, 2011

También como consecuencia de las altas precipitaciones se incrementó el nivel máximo de almacenamiento de la represa que surge de agua al corregimiento El Totumo e inundó los barrios Francisco Madera, La Loma, Agua al Pecho y 12 de octubre.

En el municipio de Turbo El área urbana de municipio de Turbo se vio afectada por el desbordamiento de los caños Veranillo, Puerto Tranca y Arzobispo.



Figura 4. Inundación por desbordamiento del caño el Veranillo en el barrio Jesus Mora y desbordamiento del caño el Brandy en el sector de las Garzas.  
Fuente: Corpouraba, 2011

En la parte baja de la cuenca del río Currulao se localiza el sector productivo representado por cultivos de plátano y banano. Junto a esto, existe infraestructura de viviendas que conforman un núcleo poblacional llamado Puerto César, la Institución Educativa Puerto César, puentes, empacadoras y diques construidos de manera antitécnica. Todos estos elementos resultaron afectados por la lluvia y posterior desbordamiento del río Currulao el 15 de diciembre de 2010.





Figura 5. Sector de Puerto César Plátano donde el río Currulao rompió el dique de protección y destruyó 32 viviendas que estaban en la margen derecha del río.

Fuente: Corpouraba, 2011

Llama la atención el rompimiento del dique en el sector de Puerto Cesar Plátano (Figura 6) que ocasionó la destrucción de ocho viviendas, la destrucción de la malla protectora e inundación del colegio, la sedimentación y pérdida de varias hectáreas de cultivo.



Figura 6. Detalles que indican la altura que alcanzaron las aguas del río Currulao y afectaron viviendas, la Institución Educativa Puerto César y cultivos.

Fuente: Corpouraba, 2011.

Sin duda en la cuenca hay una manifestación recurrente de fenómenos naturales (e incluso socionaturales) que redundan en daños a la infraestructura, pérdidas económicas, perturbación a la sinergia funcional del territorio, afectaciones a la población e incluso pérdidas de vidas humanas.

Considerando lo sostenido por la Corporación Ambiental – CORPOURABA- en sus documentos relacionados con la gestión del riesgo, lo anterior evidencia las posibles



incompatibilidades en el uso del suelo y la desatención de la regulación de los ciclos naturales propios de los cuerpos de agua, lo cual explícitamente hace un llamado a revisar los procesos de planificación y ocupación del territorio que no han consolidado una forma de ocupar y apropiar el territorio buscando equilibrio ambiental y desarrollo sostenible. Esto debe buscarse teniendo en cuenta que es una cuenca en que la recurrencia marca una situación de amenazas permanentes (ver análisis de recurrencia de eventos más adelante, los eventos se presentan con importante frecuencia, algunos son incluso muy recientes registrados en 2016 y 2017), aun cuando estas se manifiestan con mayor intensidad en ciertas temporadas del año.

Las altas precipitaciones en la cuenca contribuyen directamente en la ocurrencia de inundaciones, avenidas torrenciales y movimientos en masa y son una de las variables más relevantes pues detonan dichos eventos. A pesar de la existencia de más variables condicionantes y detonantes de gran relevancia, las altas precipitaciones han logrado concentrar en una misma temporada la existencia simultánea de eventos de distinta naturaleza.

### 7.5.3 Registro y análisis de eventos históricos

Con el fin de realizar y analizar el inventario de eventos históricos ocurridos en la cuenca Río Turbo-Currulao, bajo la metodología de gestión del riesgo, se elaboró una base de datos con el fin de registrar aquellos eventos históricos que han tenido lugar en el área de estudio, asociados a los fenómenos de movimientos en masa, inundación, avenidas torrenciales, marejadas e incendios forestales (Figura 7) (Ver [Anexo 88](#)).

Para la recolección de información, se apeló a fuentes secundarias como los distintos sistemas de información encargados de registrar la ocurrencia de eventos amenazantes para posteriormente espacializarlos en una salida cartográfica mostrando la recurrencia de los mismos, siguiendo la convención que se presenta a continuación:

- **Rojo:** Eventos más recurrentes, es decir, más de un evento en los últimos quince años.
- **Naranja:** Un evento en los últimos quince años o los ocurridos en un periodo de tiempo comprendido entre los 15 a 50 años.
- **Amarillo:** Los eventos pasados, es decir, para los ocurridos por encima de los 50 años.

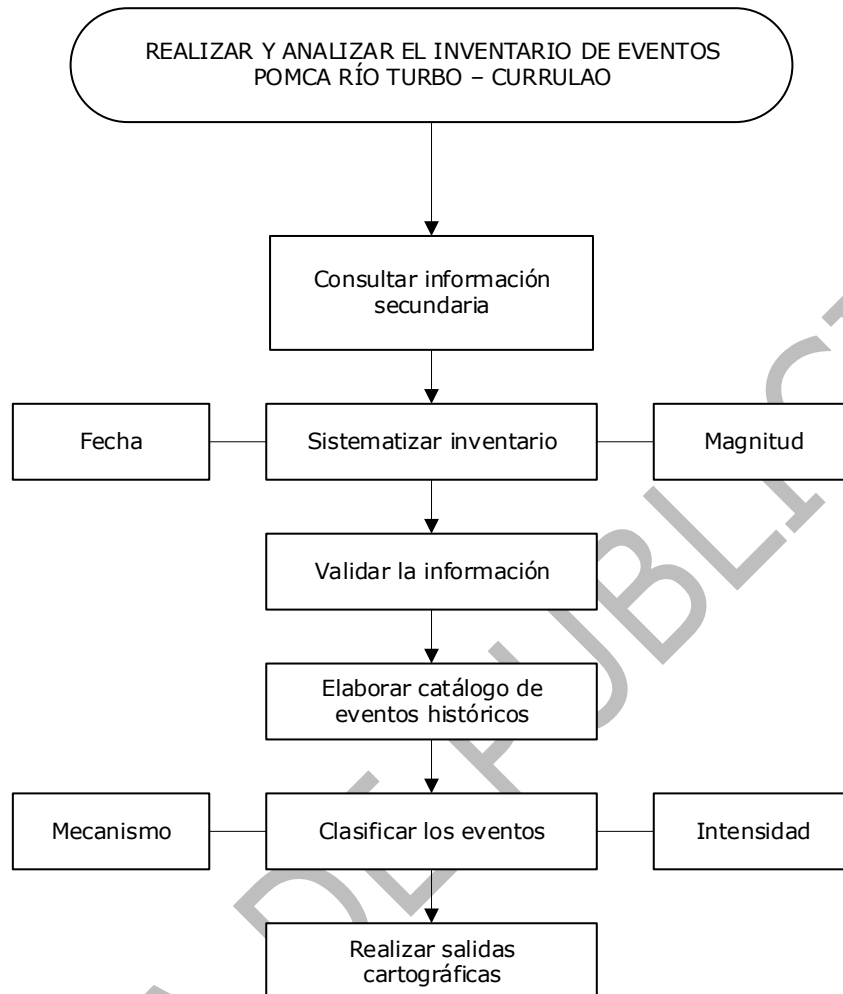


Figura 7. Esquema metodológico utilizado para realizar el inventario de eventos históricos en el POMCA Río Turbo-Currulao.

Fuente: Recuperado de Fondo Adaptación (2014).

#### 7.5.4 Bases de datos consultadas

En la elaboración del inventario (catálogo) de eventos históricos ocurridos en la cuenca, se consultó las bases de datos de:

- **DesInventar:** (Sistema de inventario de desastres), es un sistema de adquisición, consulta y despliegue de información sobre desastres de pequeños, medianos y grandes impactos, con base de datos preexistentes, fuentes hemerográficas y reportes de instituciones en nueve países de América Latina (DesInventar, 1994).
- **INVEMAR:** Corporación civil sin ánimo de lucro regida por las normas de derecho privado, adscrita al ministerio de medio ambiente y desarrollo sostenible, cuyo objeto misional se basa en la investigación básica y aplicada en temas relacionados al medio ambiente, los recursos naturales renovables y los



ecosistemas marinos y oceánicos de los mares adyacentes al territorio nacional (INVEMAR, 1993).

- **Otras entidades:** Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá – CORPOURABA, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, Alcaldía municipal de Apartadó, Alcaldía municipal de Turbo, Alcaldía municipal de Necoclí y Consejos municipales de gestión del riesgo de desastres.
- **Datos tomados en campo:** Durante el desarrollo de la fase de Diagnóstico se fotointerpretaron los procesos morfodinámicos identificados en fotos aéreas y ortofotos, los cuales se validaron en campo, adicionalmente en el desarrollo de las cartografías sociales con los actores de la cuenca se identificaron sitios de eventos históricos. La sumatoria de estos datos conformaron la base de datos tomada en campo.

El Gráfico 1 resume el número de eventos amenazantes aportados por cada fuente de información a la base de datos compilada para el POMCA Río Turbo – Currulao.

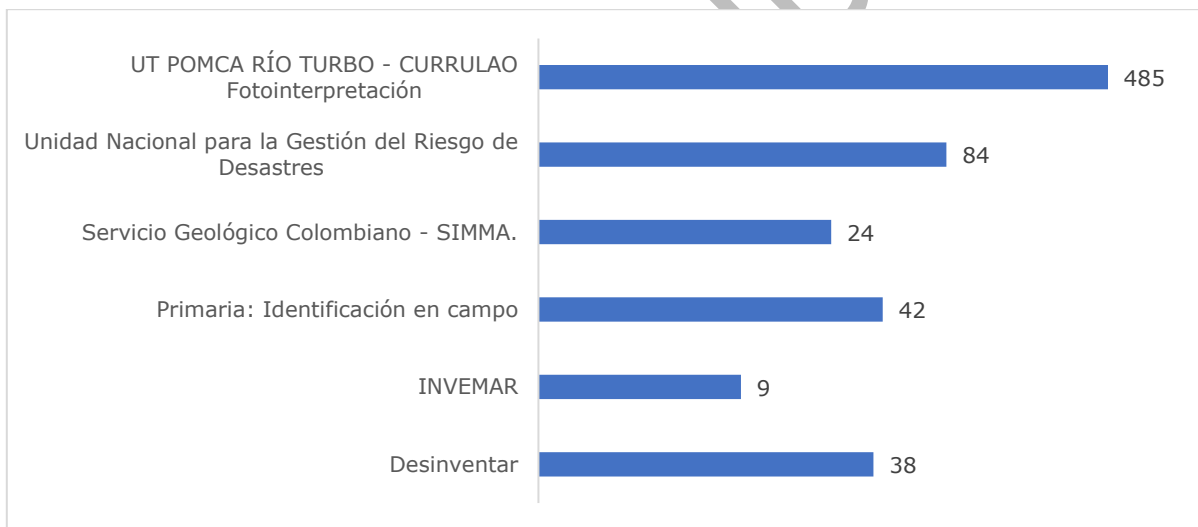


Gráfico 1. Cantidad de eventos por fuente de información.  
Fuente: Elaboración propia a partir de fuentes descritas.

### 7.5.5 Calidad espacial de los datos compilados

En el marco del componente metodológico abordado por la presente caracterización de las condiciones de riesgo, es fundamental contar con una base estadística sólida en cada uno de los componentes del POMCA, para garantizar la mayor fiabilidad, de modo que el análisis plasmado en el desarrollo capitular, logre capturar los aspectos clave de la realidad de la cuenca. Como parte de los insumos requeridos por los productos cartográficos, es necesario valorar la cantidad de datos georreferenciados, el Gráfico 2 presenta para cada una de las fuentes que integran la base de datos de eventos, la cantidad de entradas que cuentan (o no) con coordenadas:

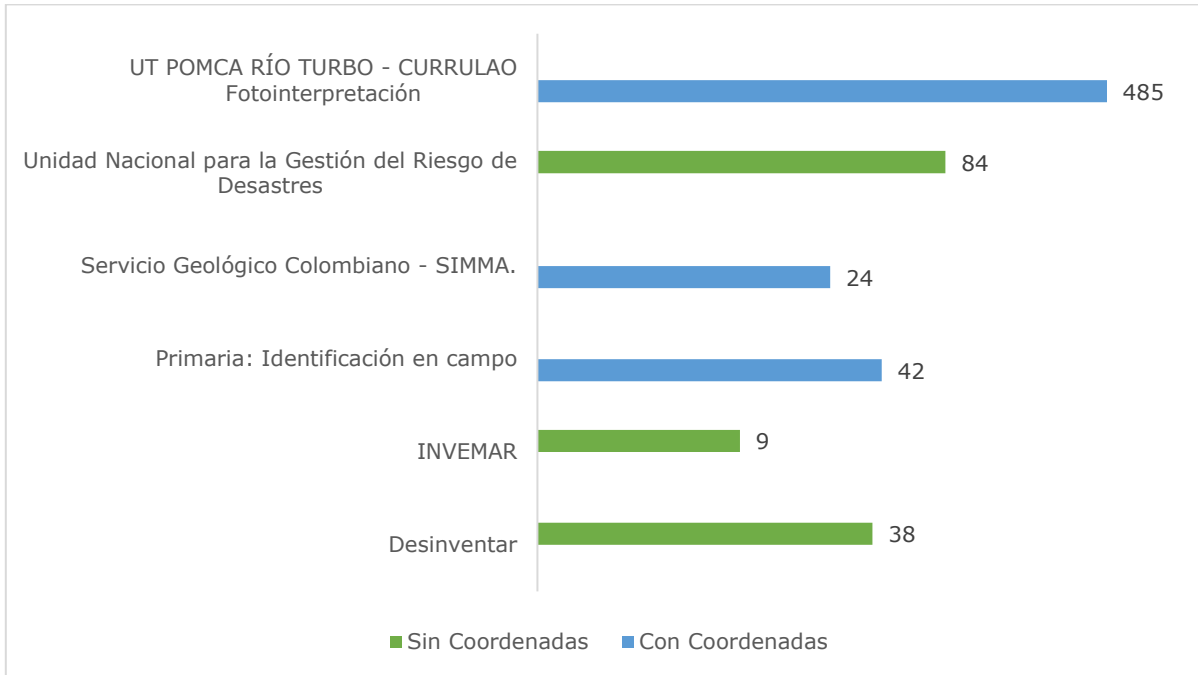


Gráfico 2. Calidad espacial de los datos por fuente de información.  
Fuente: Elaboración propia a partir de las fuentes en mención

Se observa para la Cuenca Río Turbo – Currulao, que el 80,79% de las entradas de la base de datos cuenta con estadísticas georreferenciadas a través de coordenadas, en especial gracias a la recopilación y revisión exhaustiva de eventos como los movimientos en masa acaecidos en la zona de estudio, algo que aporta mayor fiabilidad a los análisis desarrollados.

Continuando con el análisis de datos compilados para el análisis de las condiciones de riesgo en la zona de estudio, se resumen en el Gráfico 3 por tipo de evento, la cantidad de eventos amenazantes discriminados entre zonas urbanas y rurales

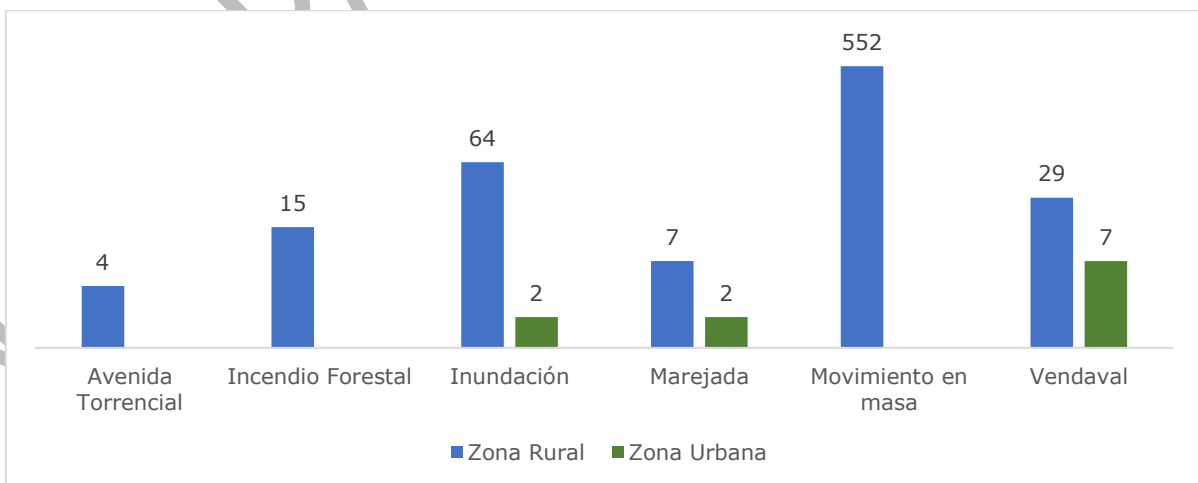


Gráfico 3. Cantidad de eventos por zona Urbana y Rural.  
Fuente: Elaboración propia.



En el análisis de la distribución de eventos entre zonas urbanas y rurales, es un resultado lógico y esperado encontrar que las últimas exhiban un mayor riesgo a causa de múltiples factores. Desde el punto de vista estadístico, es sencillo deducir que para una mayor cantidad de área, sea más elevada la probabilidad de ocurrencia de un evento. Desde el punto de vista histórico y las dinámicas de ocupación, La teoría económica clásica, como parte de los razonamientos que ayudaron a la fundamentación de la nueva geografía económica –NEG–, explica que los sistemas de ciudades se forman agrupando rápidamente factores productivos, lo que implica saturar los mejores terrenos en los primeros estadios del desarrollo de una región y dejar para una ocupación tardía (realizada por demandantes de tierra con una menor disposición a pagar por el factor), las tierras de menor calidad (Ricardo, 1891). Tal razonamiento puede explicar desde un punto de vista histórico, el por qué las zonas rurales presentan un mayor número de eventos amenazantes, a menudo con consecuencias más devastadoras para las comunidades.

### 7.5.6 Identificación de eventos históricos

La revisión histórica en torno a las amenazas y eventos amenazantes, que se han presentado y registrado en la cuenca Río Turbo-Currulao, a lo largo de este capítulo, se pretende identificar de manera cuantitativa los eventos amenazantes significativos, que tienen repercusión en la comunidad. Identificando la frecuencia de ocurrencia y magnitud. Los datos analizados, fueron obtenidos en la base de datos de DesInventar. El Gráfico 4 resume el número de eventos distribuidos en el período de tiempo 1973-2016.

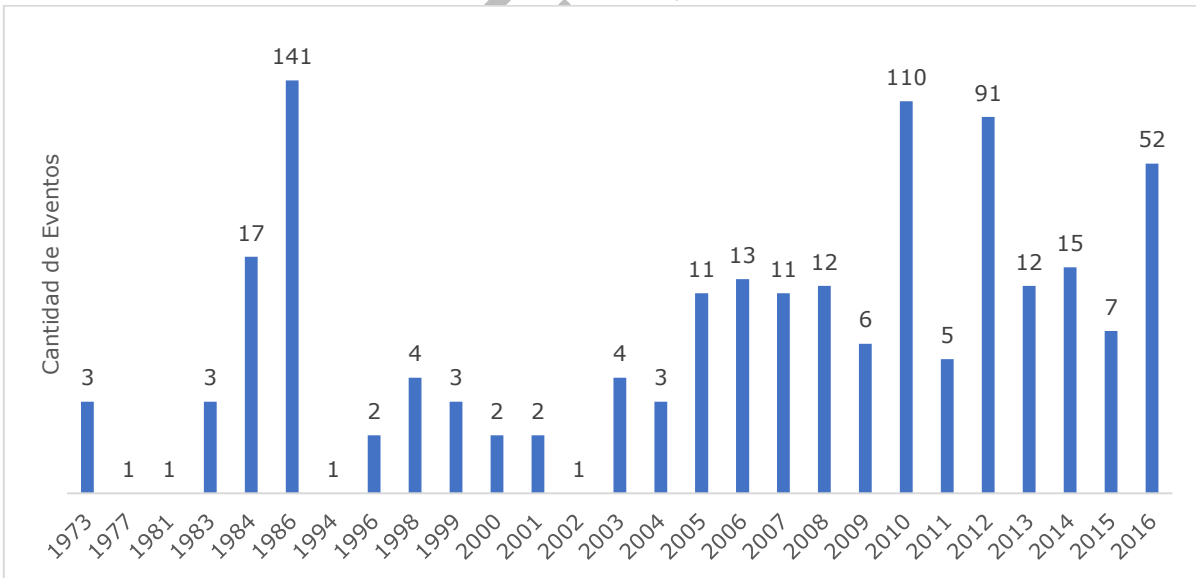


Gráfico 4. Distribución histórica de eventos en la Cuenca Río Turbo-Currulao  
Fuente: Elaboración propia

Para la cuenca en ordenación se observa en la última década una alta concentración de los registros de eventos amenazantes, cerca del 63% de los eventos asociados a datos históricos, pertenecen al período 2006-2016, posiblemente, esta mayor densidad de



eventos amenazantes por año, se deba a los avances institucionales en la captura de información para el país.

### 7.5.6.1 Análisis Multianual de eventos amenazantes

Como ya se discutió en el apartado de Identificación de eventos históricos, se presenta la Tabla 1, con el fin de dar a conocer desde una perspectiva multianual la distribución de los eventos amenazantes en el tiempo.

Tabla 1. Distribución temporal de los eventos por períodos

Período	Año	Eventos por año	Total Período	%
Más de 30 años	1973	3	166	31,14%
	1977	1		
	1981	1		
	1983	3		
	1984	17		
	1986	141		
Entre 16 a 30 años	1994	1	15	2,81%
	1996	2		
	1998	4		
	1999	3		
	2000	2		
	2001	2		
	2002	1		
Últimos 15 años	2003	4	352	66,04%
	2004	3		
	2005	11		
	2006	13		
	2007	11		
	2008	12		
	2009	6		
	2010	110		
	2011	5		
	2012	91		
	2013	12		
	2014	15		
	2015	7		
2016	52			

Fuente: Elaboración propia

Como resultado, se observa que a medida que transcurre el tiempo, se ve ampliada la participación de los eventos en la zona de estudio, además de los altos picos de 1986, 2010 y 2012, junto a los marcados *valles* en el resto de la línea de tiempo analizada, en especial, entre los años 1994-2002. La amplia volatilidad, se explica en parte, gracias a



la acentuada ola de movimientos en masa, fruto del fenómeno de la niña, que tuvo lugar en el año 2012, aportando esto el 66,04% de los eventos ocurridos dentro del período objeto de análisis.

### 7.5.6.2 Evaluación por grupos de eventos para la cuenca Río Turbo – Currulao

Dentro del análisis, *grosso modo* de eventos se presenta el Gráfico 5, donde se discrimina por tipo la cantidad total de eventos que han tenido lugar en el territorio de la cuenca durante el período, 1973-2016.

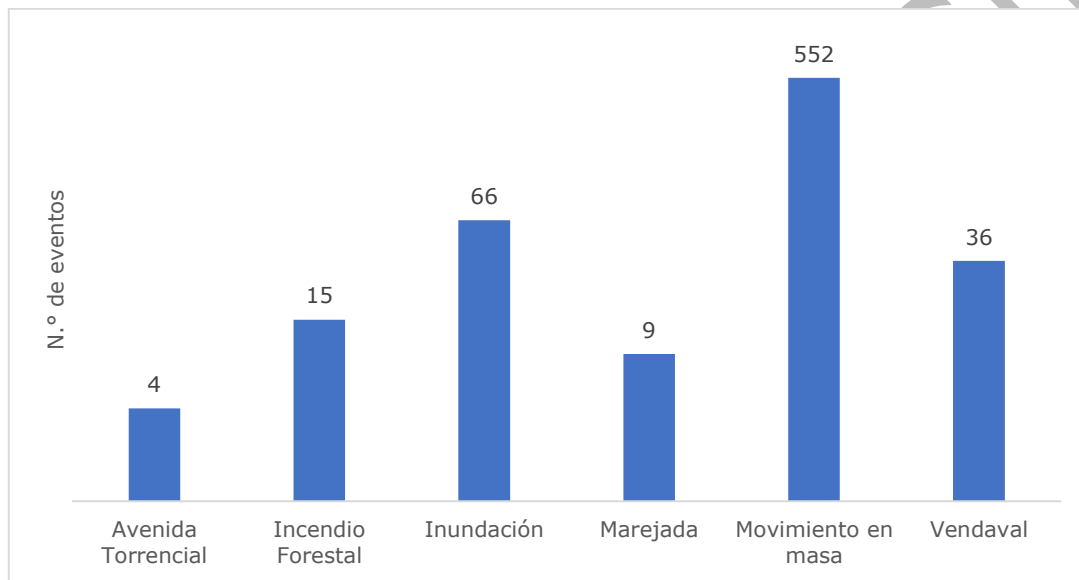


Gráfico 5. Cantidad de eventos por tipo.  
Fuente: Elaboración propia

Dentro de los resultados mostrados por el Gráfico 5, se encuentra que los movimientos en masa representan el 83,38% de los eventos amenazantes de la cuenca, seguido de los fenómenos de inundación con una participación del 9,97% y vendavales con un 5,44%, representando los fenómenos restantes, cerca del 4,22% de los eventos que han tenido lugar en la cuenca.

### 7.5.6.3 Análisis Estadístico de afectaciones en la cuenca

Los fenómenos objeto de análisis en la presente sección, traen consecuencias poco deseadas en los territorios que impactan. Para la cuenca Río Turbo-Currulao, se han recopilado a través de las fuentes de datos consultadas, los distintos impactos en términos de afectaciones y muertes. La Tabla 2, contiene el resumen de afectaciones a personas y viviendas en la cuenca:

Tabla 2. Cantidad de personas y viviendas afectadas por tipo de evento

Evento	Personas Afectadas	Viviendas Afectadas
Avenida Torrencial	13.865	47





Evento	Personas Afectadas	Viviendas Afectadas
<b>Inundación</b>	<b>61.595</b>	<b>6.112</b>
<b>Marejada</b>	<b>852</b>	<b>31</b>
<b>Movimiento en masa</b>	<b>0</b>	<b>139.173</b>
<b>Vendaval</b>	<b>17.806</b>	<b>4.212</b>

Fuente: Elaboración propia.

Para el período de análisis, la información recopilada arrojó como resultado, cero muertes en la zona de estudio. El evento inundación causa cerca del 65,44% de los daños a la integridad física de la población, seguido por los vendavales con un 18,92% de las afectaciones, finalmente, las avenidas torrenciales, las marejadas y movimientos en masa, causan conjuntamente el 15,63% de las afectaciones a personas (ver Gráfico 6).

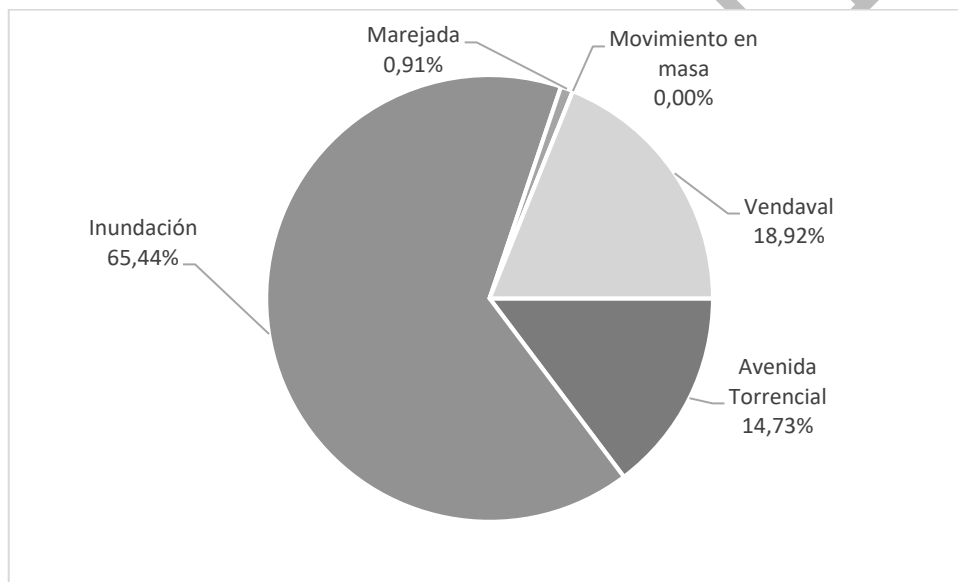


Gráfico 6. Distribución porcentual de los eventos en el número de personas afectadas  
Fuente: Elaboración propia.

Análogamente, se evalúan las afectaciones a viviendas en la zona de estudio, el Gráfico 7 representa por tipo de evento, los daños sufridos por las 149.575 viviendas afectadas durante el período de análisis:

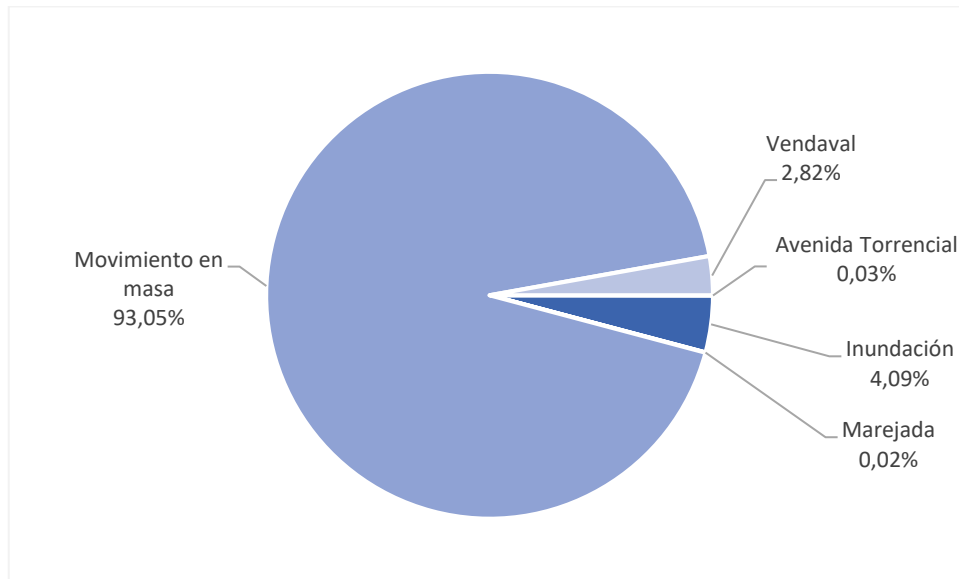


Gráfico 7. Distribución porcentual de los eventos en el número de viviendas afectadas.  
Fuente: Elaboración propia.

Predominantemente, se observa como los movimientos en masa configuran más del 90% de las afectaciones a viviendas, especialmente en el sistema montañoso, seguido de los fenómenos de inundación y los vendavales que afectan principalmente a las viviendas ubicadas en la región costera de la cuenca.

Luego de depurar y analizar la información recogida a través de las visitas de campo, bases de datos y los espacios participativos con la comunidad de la cuenca, se georreferencian aquellos que cuenten con un referente espacial específico ver Figura 8.

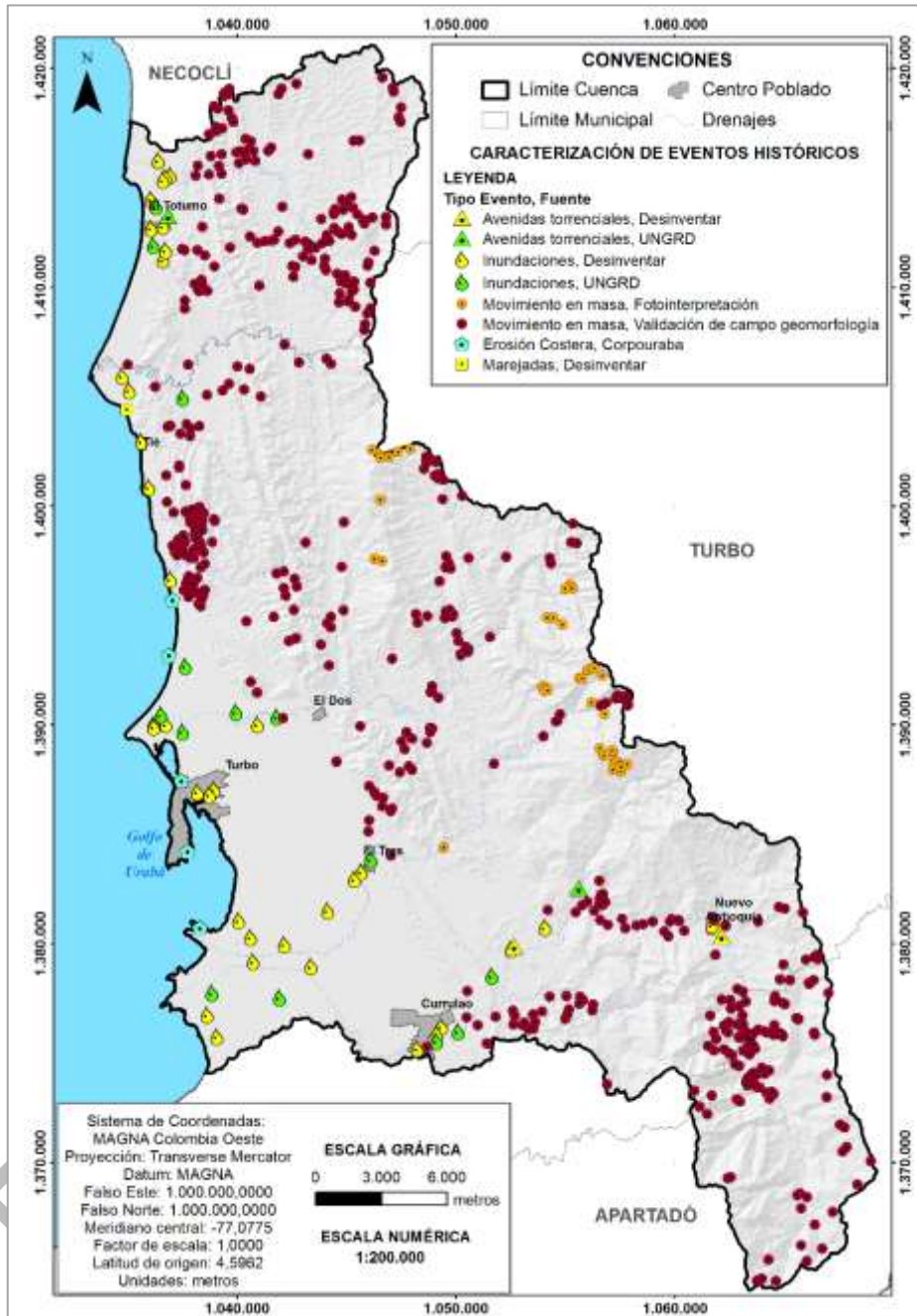


Figura 8. Carcterización de eventos histórico.  
Fuente: Elaboración propia

#### 7.5.6.4 Análisis de eventos históricos por Avenidas Torrenciales

Para el período 1967-2016 (ver Gráfico 8) se identificaron cuatro eventos correspondientes a avenidas torrenciales en la zona de estudio. Los registros indican que las avenidas torrenciales causaron para el período en mención la pérdida de 12



vidas, 1290 damnificados y 176 viviendas afectadas, siendo estos eventos atribuidos en su totalidad a las fuertes lluvias en temporadas invernales.

Los sitios de afectación son en su mayoría áreas rurales, por lo que también se identificaron daños en cultivos, vías de acceso y otros servicios primarios de la comunidad. Dentro de la Cuenca solo cuatro eventos de avenidas torrenciales presentan coordenadas como se observar en la Figura 9 (organizados con la temporalidad de 0 a 15 años de antigüedad, entre 15 y 50 y más de 50), teniendo en cuenta que la dinámica, extensión y desarrollo del Río Currulao, es la más propensa a la presentación de este tipo de fenómeno, comparado con el Río Turbo y otros afluentes.

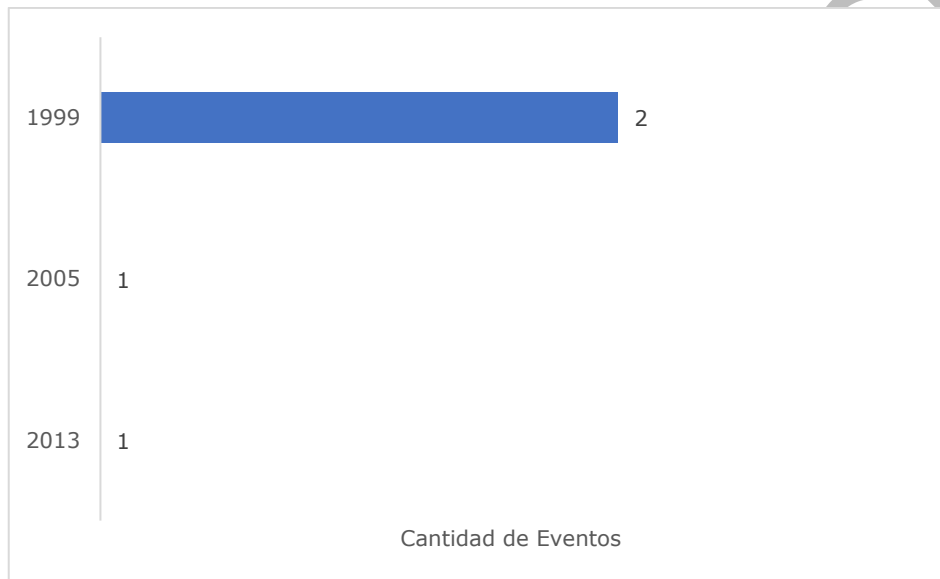


Gráfico 8. Registro histórico de avenidas torrenciales, periodo 1967–2016.  
Fuente: Recuperado de Desinvetar (2017).

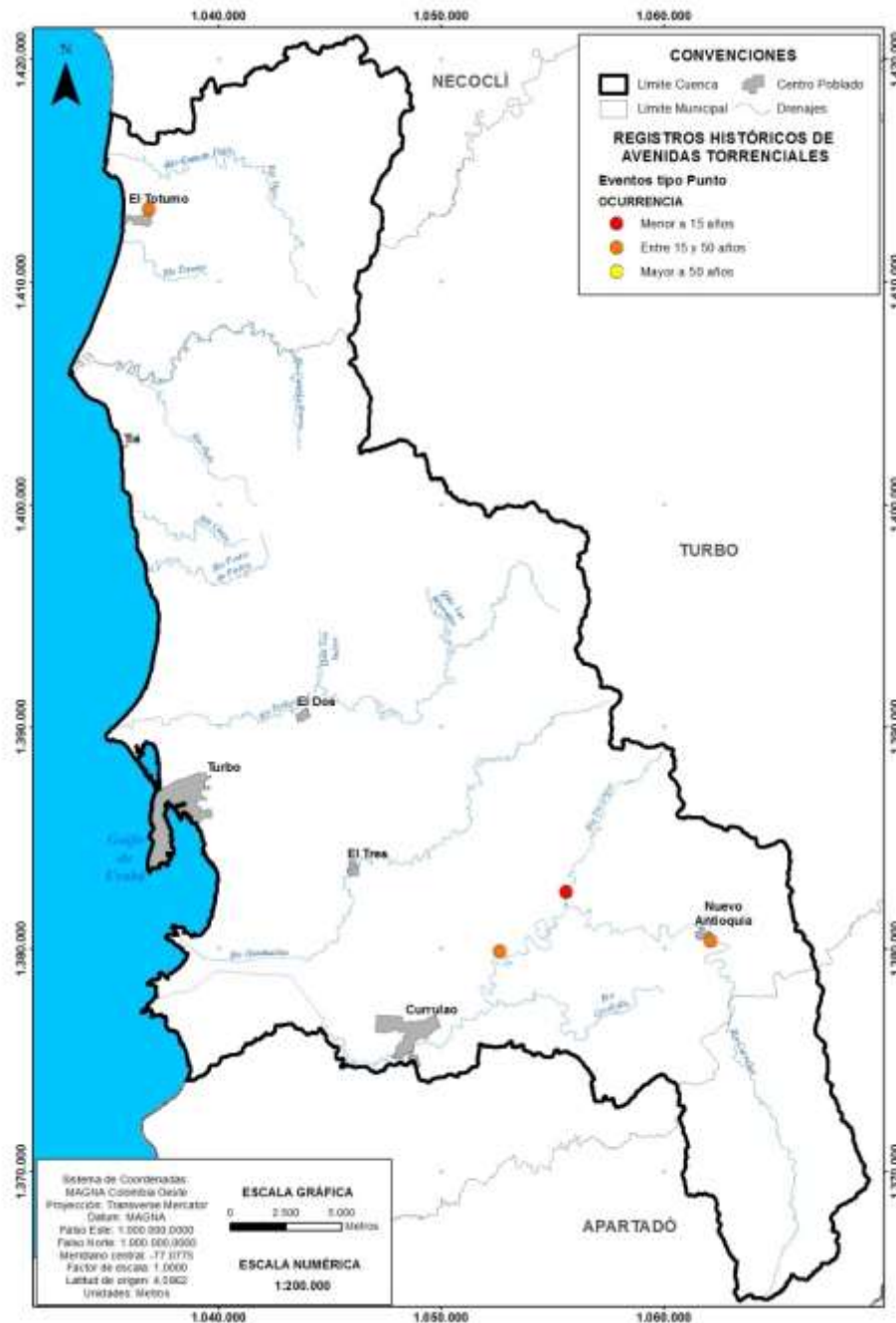


Figura 9. Ubicación de los registros históricos de avenidas torrenciales, periodo 1967–2016.  
Fuente: Elaboración propia.

### 7.5.6.5 Análisis de eventos históricos por Incendios Forestales

Durante el periodo 1997-2015, se identificaron 15 ocurrencias asociadas a incendios forestales (Gráfico 9). Los sitios de afectación son rurales en su totalidad comprometiendo 317 cultivos a lo largo del periodo . La causa de los eventos se reporta en todos los casos como desconocida.

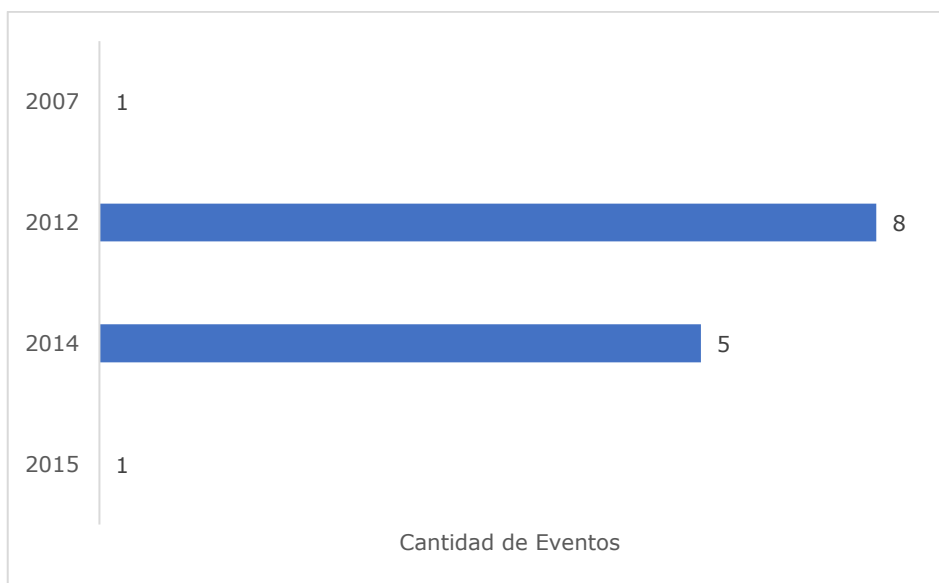


Gráfico 9. Registro histórico de incendios forestales, periodo 1997–2016.  
Fuente: Recuperado de (DesInventar, 2017).

Para el caso del municipio de Apartado los registros históricos, no reportan ninguna afectación a la infraestructura urbana o rural, como tampoco registran heridos, afectados o muertos por esta causa, gran parte de los eventos históricos, se han presentado muy cerca al casco urbano, es decir dentro del área del municipio de Apartado correspondiente a la cuenca no se encuentran registros de incendios forestales. Cabe aclarar que Los incendios forestales reportados no cuentan con coordenadas y por tanto, no es posible espacializarlos.

#### 7.5.6.6 Análisis de eventos históricos por Inundación

Se identificaron dos tipos de inundaciones: (1) desbordamiento de ríos o arroyos causados por la excesiva escorrentía como productos de fuertes precipitaciones, y (2) inundaciones originadas en el mar, o inundaciones costeras, causadas por olas ciclónicas exacerbadas por la escorrentía de las cuencas superiores.

Las inundaciones costeras, están relacionadas con las olas ciclónicas, las cuales constituyen un crecimiento anormal del nivel del mar asociado con huracanes y otras tormentas marítimas. Las olas ciclónicas son causadas por fuertes vientos costeros y/o por celdas de muy baja presión y tormentas oceánicas. El nivel de las aguas depende de parámetros como el viento, la presión atmosférica, las corrientes astronómicas existentes, la topografía de la costa, la batimetría, la proximidad de las tormentas a la costa, las olas y el mar de fondo. Por lo general, la destrucción creada por las olas ciclónicas es atribuible a:

- El impacto de las olas y de los objetos asociados con el paisaje ubicado frente a estas.
- Las fuerzas hidroestáticas, dinámicas y los efectos de las bombas de carga de agua. Los daños más significativos resultan a menudo del impacto directo de las



olas sobre las estructuras fijas. Los impactos indirectos causan inundaciones y socavamiento de infraestructuras tales como vías y edificaciones.

- La inundación de las zonas costeras bajas es causada por la influencia de las mareas y las olas de tormenta.

Las inundaciones representan el fenómeno amenazante con el nivel de frecuencia más elevado en la cuenca. Se identificaron un total de 140 ocurrencias de dicho evento, con registros esporádicos desde el año 1931 y continuos desde el año 1996 hasta 2016. Se observa que para algunos años se presentan varios eventos, los cuales tienden a coincidir con fuertes temporadas invernales que se ha experimentado el país (Gráfico 10).

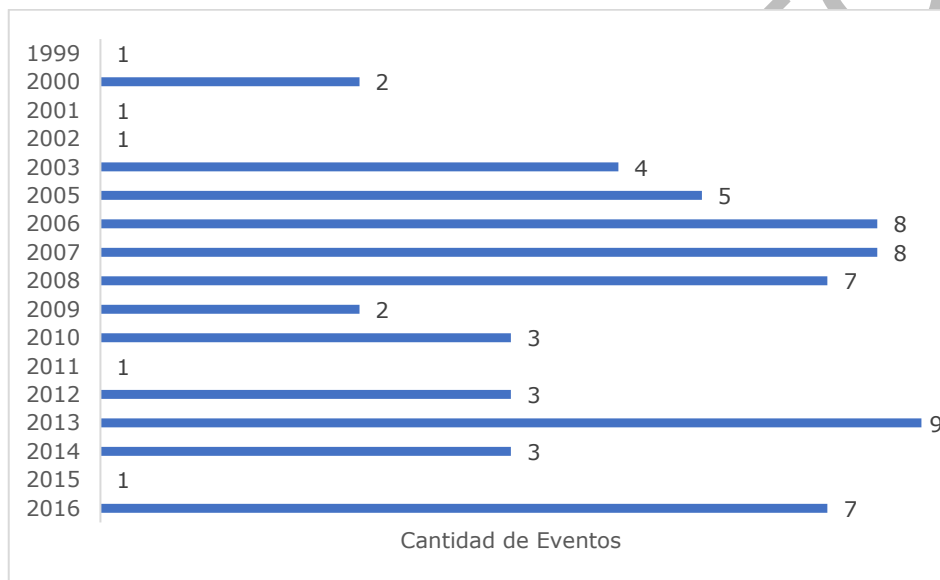


Gráfico 10. Registro histórico de inundaciones, periodo 1931-2016.  
Fuente: Recuperado de Desinvetar (2017).

La magnitud de estos eventos se ve reflejada en las afectaciones sobre la vida humana, la destrucción de activos y los bosques perdidos.

Su ocurrencia ha sido atribuida, principalmente a fuertes lluvias, olas invernales y desbordamientos de ríos como Río Grande, Mulatos y Turbo. Los sitios de afectación son en su mayoría áreas rurales, como se presenta en la Figura 10.

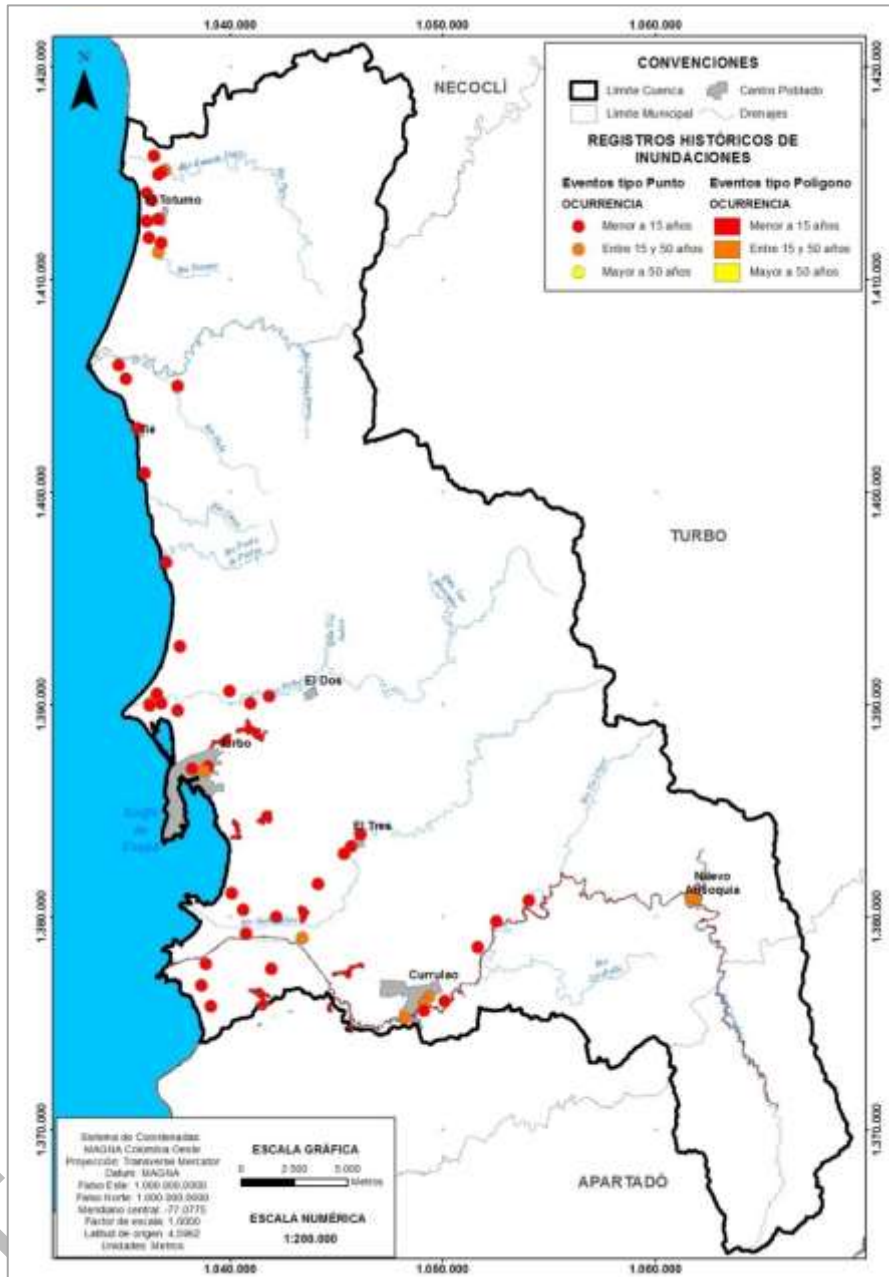


Figura 10. Ubicación de los registros históricos de inundaciones, periodo 1931–2016.  
Fuente: Elaboración propia.

### 7.5.6.7 Análisis de eventos históricos por Marejadas

Las marejadas, son movimientos marítimos ocasionados por el contacto de fuertes vientos con el mar, ocasionando altas olas repetitivas y de gran tamaño, que impactan contra la playa.

Se identificaron nueve (9) ocurrencias de dicho evento, las cuales están espaciadas entre los años 1973, 1977, 1981, 1986, 1996 (Gráfico 8) y la más reciente registrada





en 2006. Esta última fue asociada a las fuertes lluvias, pero los demás eventos fueron reportados con causa desconocida. Las afectaciones y magnitud de los eventos, se vio reflejada en 795 damnificados, 14 viviendas destruidas y 12 viviendas afectadas en el total de los eventos. En la Figura 11, se puede observar la ubicación espacial de dichos eventos.

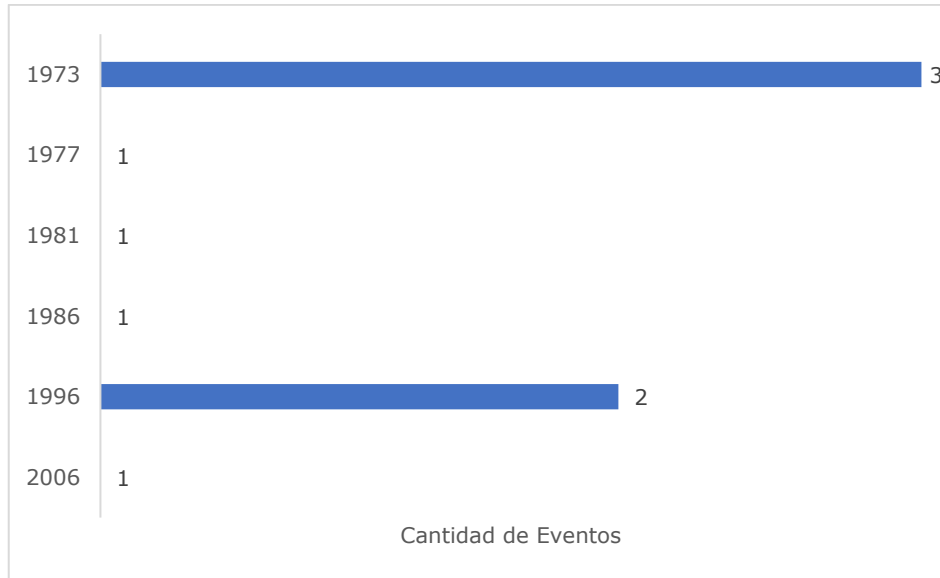


Gráfico 11. Registro histórico de marejadas, periodo 1973–2016.  
Fuente: Recuperado de DesInvetar (2017).

La Figura 11, representa la distribución espacial de los principales lugares donde se ha presentado este fenómeno.

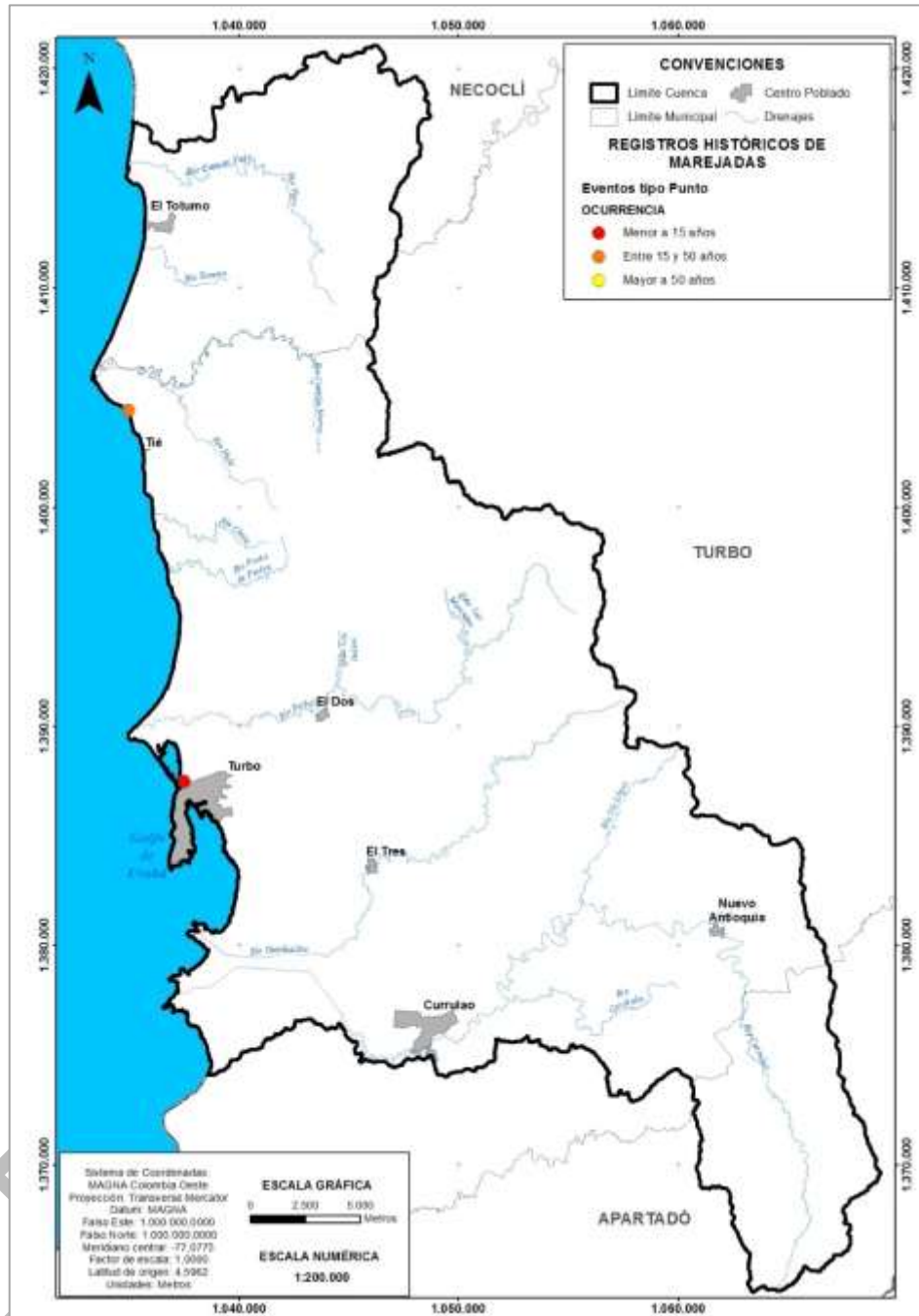


Figura 11. Ubicación de los registros históricos de marejadas, periodo 1973–2016.  
Fuente: Elaboración propia.

### 7.5.6.8 Análisis de eventos históricos especializados por Movimientos en masa

Para este evento se identificaron a través de las bases de datos de DesInventar y el SGC, 25 ocurrencias asociadas a eventos por movimientos en masa. El Gráfico 12 ilustra el



número de movimientos en masa que tuvieron lugar en la zona de estudio para el período 1983 – 2016. Cabe mencionar que este gráfico solo contiene los eventos que pudieron ser asociados a una fecha (año) específica. Entre los hallazgos, se ha encontrado que las fuertes lluvias y vendavales configuran los principales detonantes en la cuenca Río Turbo – Currulao. Su ubicación espacial, es presentada en la Figura 12.

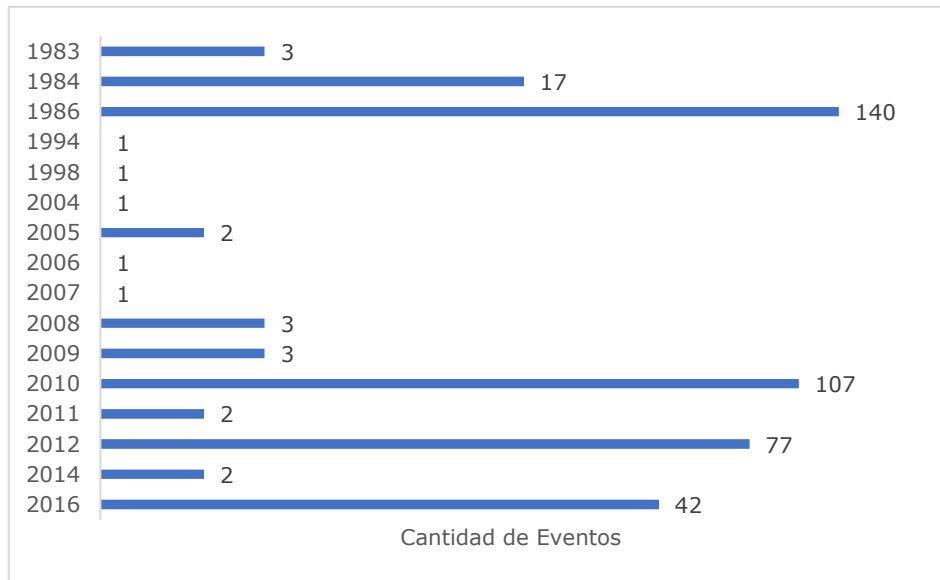


Gráfico 12. Registro histórico de movimientos en masa, periodo 1983–2016.  
Fuente: Recuperado de DesInventar (2017).

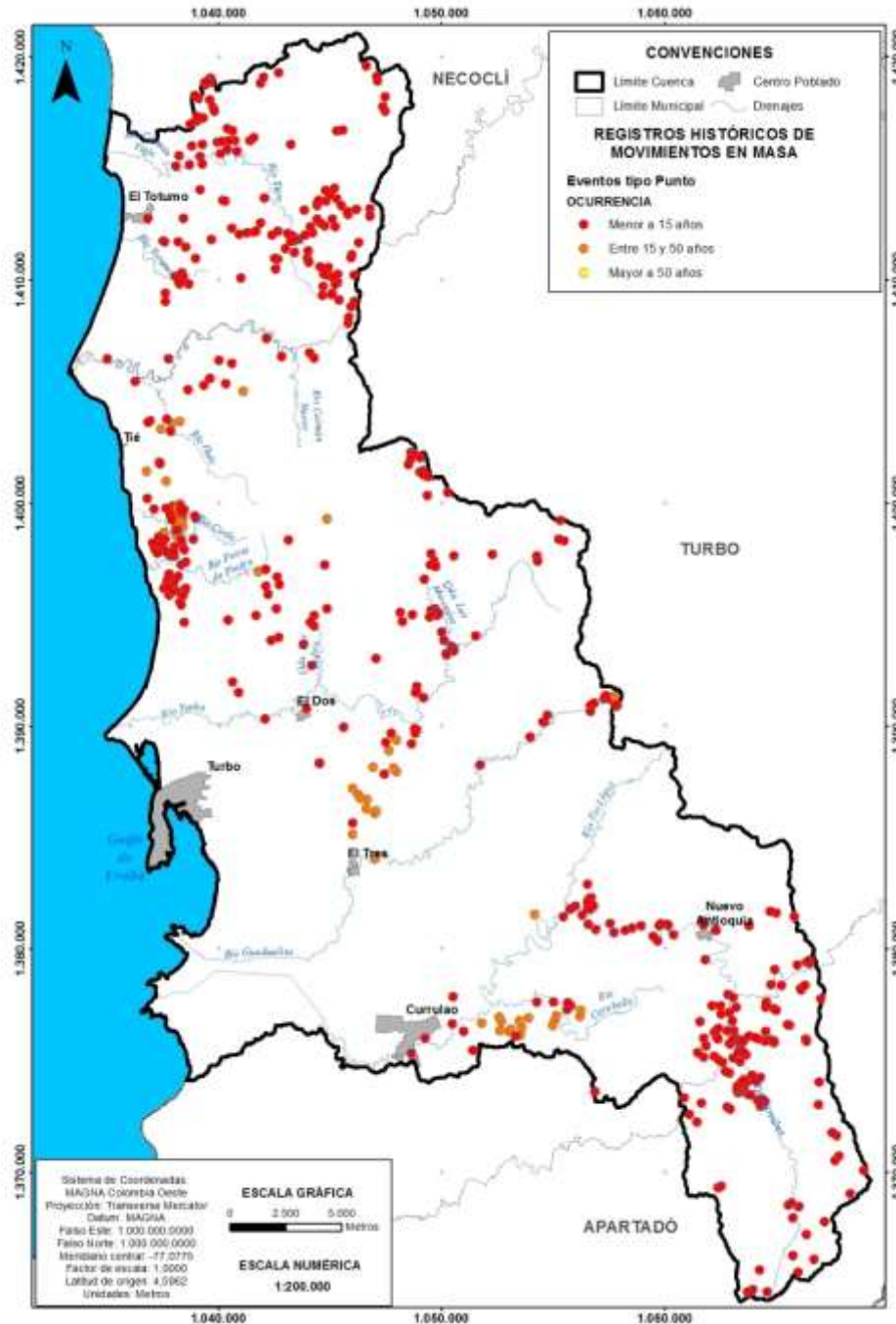


Figura 12. Ubicación de los registros históricos de movimientos en masa, periodo 1971-2016.  
Fuente: Elaboración propia.

- **Procesos morfodinámicos identificados**

En el Gráfico 13 se presenta a modo de resumen los procesos morfodinámicos identificados por geomorfología, distribuidos en los municipios que hacen parte de la cuenca. En el municipio de Turbo se presentan el mayor número de recurrencias y



registros de dichos procesos. En el Gráfico 14 se presenta los tipos de procesos identificados, siendo el movimiento en masa (tipo golpe de cuchara) el más recurrente. Ver [Anexo 88](#)

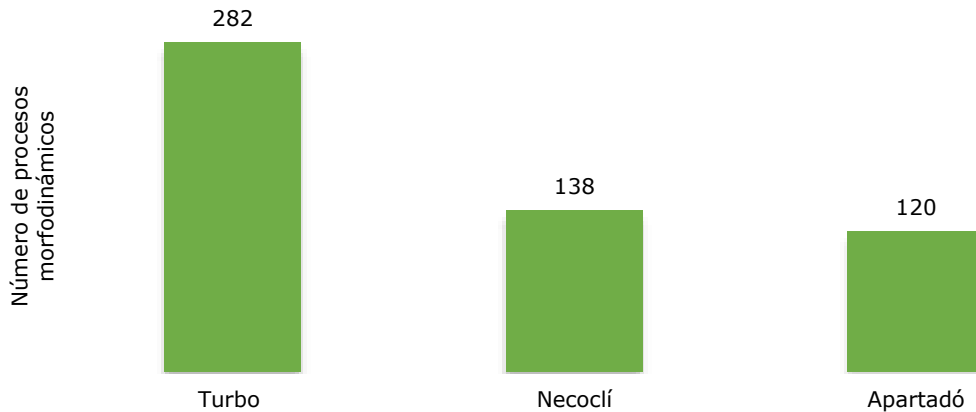


Gráfico 13. Procesos morfodinámicos por Municipios  
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de eventos históricos.

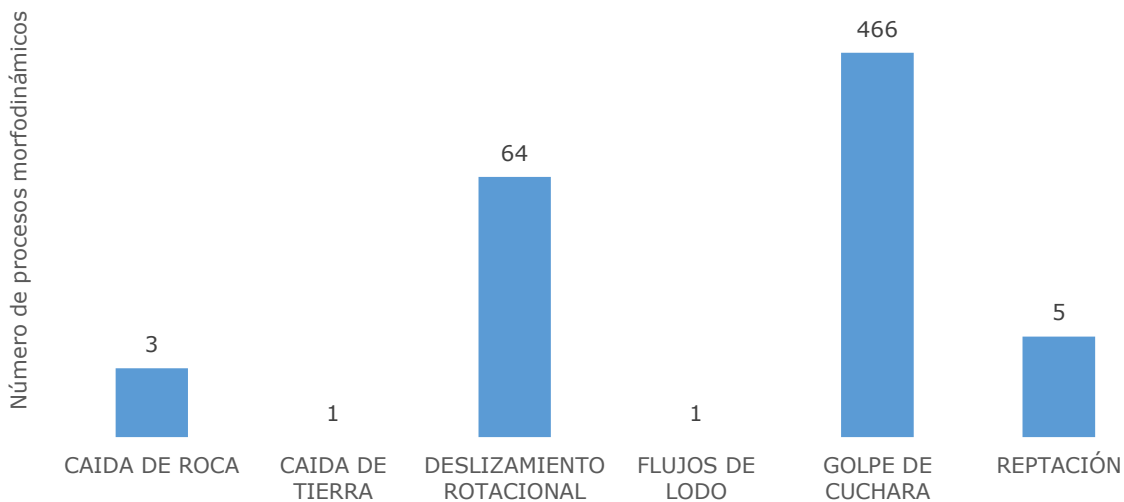


Gráfico 14. Tipo de procesos morfodinámicos identificados en el análisis geomorfológico para la Cuenca Río Turbo-Currulao. Fuente: Elaboración propia a partir de la corroboración en campo.

- **Eventos analizados de movimientos en masa**

Finalmente, como muestra representativa se analizaron 66 deslizamientos, consistentes en 3 procedentes de la página del Sistema de Información de Movimientos en Masa – SIMMA y 63 levantados directamente durante las visitas realizadas a campo.



Figura 13. Localización de movimientos en masa consultados de SIMMA  
Fuente: Servicio Geológico colombiano (2015).

### • Evaluación y análisis de la información recopilada

Los procesos morfodinámicos en la cuenca se identificaron por medio de sensores remotos, se utilizó principalmente fotografías aéreas pancromáticas y a color provenientes de misiones fotogramétricas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, y Fomosaicos a color de cámara digital, entregados por la plataforma de la gobernación de Antioquia, adicional a lo anterior se consultaron eventos en las páginas del SIMMA y DesInventar.

A pesar de la gran cantidad de fuentes consultadas, se evidenció la falta de información relacionada con la localización exacta de los sitios de ocurrencia de cada uno de los eventos de amenaza de origen natural (específicamente DesInventar). Cabe resaltar también las limitaciones respecto al almacenamiento, diligenciamiento y recopilación.

Durante el desarrollo de los trabajos de geomorfología en oficina, se identificaron 540 procesos morfodinámicos clasificados como golpe de cuchara, socavación lateral, deslizamiento rotacional, flujo de lodos, caídos de roca, reptación (pata de vaca) y deslizamiento en cuña, distribuidos en 282 procesos en el municipio de Turbo, 138 procesos en el municipio de Apartado y 120 procesos en el municipio de Necoclí (ver capítulo de geomorfología), de los cuales se revisaron algunos en las visitas de campo, como también, en campo se identificaron otros procesos nuevos (de ocurrencia reciente). En general, se logró revisar toda el área de la cuenca para la identificación de procesos de remoción en masa.

En la Gráfico 15 se presenta a modo de resumen los procesos de remoción en masa, levantados en campo e información de SIMMA por municipios. En el municipio de Turbo se presentan el mayor número de recurrencia y registros de eventos de movimientos en masa levantados.

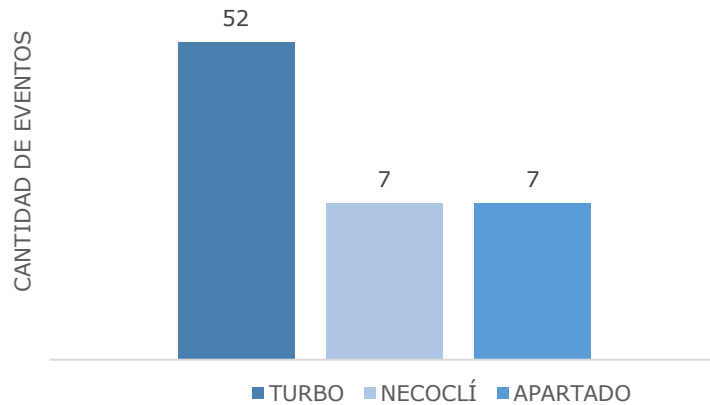


Gráfico 15. Eventos históricos por remoción en mas para la Cuenca Rio Turbo-Currulao.  
Fuente: Elaboración propia.

Del inventario de los 69 movimientos en masa levantados, como muestra representativa en la cuenca predomina los movimientos en masa o deslizamientos de tipo rotacional (Gráfico 16), sin embargo, es de aclarar que en general en el área de la cuenca predominan los procesos de reptación.

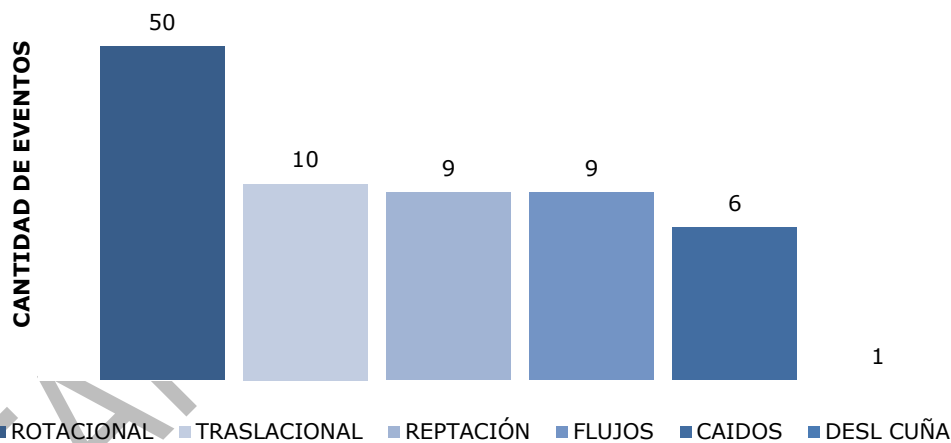


Gráfico 16. Tipos de Deslizamientos.  
Fuente: Elaboración propia.

- **Sobre las bases de datos consultadas**

Durante el proceso de consulta, la base de datos de DesInventar proporcionó una cantidad considerable de información por su estructura y nivel de detalle. Entre las principales dificultades, se encontró que los distintos instrumentos de registro carecían de variables clave para el desarrollo del presente componente, en especial los datos de georreferenciación requeridos para la espacialización de los fenómenos, proporcionando referencias de ubicación bastante imprecisas como lugares cercanos al evento.



Otros registros históricos, no contienen datos con respecto a números de personas afectadas, viviendas destruidas u otra infraestructura afectada, que pueda utilizarse para medir la magnitud del evento o su impacto en la comunidad afectada.

#### **7.5.6.9 Análisis de eventos históricos espacializados de Erosión costera**

Erosión costera: La erosión costera se define como la invasión de la tierra por el mar después de promediar un periodo suficientemente largo para eliminar el impacto del clima, las tormentas, y la dinámica local de sedimentos (Guzmán, 2008).

El abordaje de fenómeno de erosión y acreción costera en la cuenca Río Turbo-Currulao a partir de desarrollar la propuesta metodológica consistente en consultar fuentes secundarias, principalmente recabadas en el INVEMAR y CORPOURABA al ser las autoridades en el tema, tiene como punto de partida aclarar los aspectos conceptuales, seguido de identificar sus características, registro histórico de eventos, localización, determinar las condiciones de susceptibilidad, identificar los elementos expuestos y las necesidades de información.

Existen diversos tipos de eventos amenazantes en las zonas costeras, que producen una penetración atípica del mar hacia la zona continental, generando de forma periódica y a corto plazo una sobreelevación del nivel del mar. Este comportamiento puede atribuirse a diversos fenómenos, el primero de ellos está asociado a la ocurrencia de eventos sísmicos o volcánicos (tsunamis).

En segundo lugar, se encuentran aquellos que responden a cambios en las condiciones meteorológicas, como los ciclones tropicales, que generan marejadas ciclónicas (*storm surges*), la sobreelevación producida por rompiente de oleaje (*wave set up*) y la generada por arrastre del viento (*wind set up*).

Se puede mencionar también la sobreelevación producida durante la ocurrencia de episodios fuertes de los eventos ENOS (El Niño-Oscilación Sur), que se caracterizan por tener cuasi-periodicidades definidas y que son manifestaciones de la variabilidad climática.

La sobreelevación puede producirse por arrastre del viento (*wind set up*), favorecida por las costas de pendiente muy suave acompañadas por una amplia plataforma de fondo casi plano (Región Caribe). La acumulación se produce cuando la velocidad del movimiento generado por el viento en superficie es tal, que se rompe el equilibrio habitual de desagüe por la corriente de fondo.

El avance de la masa de agua se prolonga tierra adentro y solo comienza a amortiguarse cuando disminuye la velocidad del viento. Puede aparecer con velocidades del viento relativamente bajas.

Dada su localización geográfica, Colombia recibe la influencia directa de los procesos que se suscitan en el sistema acoplado océano-atmósfera del Pacífico tropical, asociados al Ciclo ENOS. Se ha podido establecer claramente que la intensidad de los fenómenos El Niño y La Niña está en función directa con la magnitud de las anomalías registradas en la temperatura superficial y subsuperficial del océano y con el área cubierta por las mismas.





En Colombia, sus efectos más destacados están relacionados con la alteración del patrón pluviométrico nacional, el cual se ve disminuido en gran parte de las regiones Caribe y Andina; los aumentos de la temperatura del aire en los valles interandinos conocidos como ondas de calor; los aumentos del nivel y la temperatura superficial del mar en el Litoral Pacífico colombiano; el incremento de las heladas durante las temporadas secas en los altiplanos de Cundinamarca, Boyacá y Nariño; el aumento de las horas de Brillo Solar y de la Radiación durante dichas épocas y algunas otras alteraciones de carácter local.

La influencia que tiene la ocurrencia del fenómeno de acuerdo con su intensidad, no es lineal y puede ser diferente de la magnitud del efecto climático y del impacto producido sobre las actividades humanas. El efecto climático depende de la época del año en que se presentan los fenómenos y el impacto socioeconómico está más relacionado con la vulnerabilidad de las diferentes regiones del país y de los sectores de la actividad nacional.

La susceptibilidad a la erosión costera radica en la presencia y las características de las playas, de la roca que conforma la plataforma continental, el rango de la marea, la manifestación a las olas, el cambio del nivel del mar y la precipitación, y, el estado actual de manglares (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

Las principales características que permiten identificar la presencia del fenómeno de erosión y acreción costera en el área de estudio, están asociadas a múltiples factores, entre ellos, el volcanismo de lodos que incide en la subsidencia costera, la descarga de sedimentos al mar (Ver Tabla 3) los avances y retrocesos de la línea costera en la desembocadura de los ríos Turbo, Currulao, Caimán Viejo, Caimán Nuevo y Totumo (INVEMAR y EAFIT , 2015).

Sobresalen las ganancias de terreno en la desembocadura de los ríos Caimán Viejo (tasa de 1.23 m/año) y Caimán Nuevo (tasa de 6.6 m/año). La playa La Martina es uno de los sectores con mayor acreción en Turbo con una tasa de avance de 0.62 m/año, en tanto que en el sector de Punta de las Vacas, se registran procesos tanto de acreción (3.49 m/ año al costado suroccidente) como de erosión costera (1.45 m/año al costado noroccidente) (CORPOURABA, 2016, pág. 152).

Tabla 3. Descarga de sedimentos al mar Caribe de los principales cauces.

CAUCE HÍDRICO	DESCARGA ANUAL DE SEDIMENTOS (Mt/año)
Río Currulao.	0.2373
Río Guadualito.	0.31
Río Turbo.	0.73

Fuente: Recuperado de Invemar (2007).

Similar situación se registra en el río Currulao, donde se presentan proceso de acreción con tasas anuales entre 16.1 y 16.4 m/año, pero también se evidencian condiciones de erosión del orden de 2.62 m/año. A esto se suman algunas acciones antrópicas que generan impactos en las zonas costeras alterando su dinámica natural (CORPOURABA, 2016, págs. 120-287).

- Ocupación y uso inadecuado del borde costero.
- Cambios en los flujos de agua



- Extracción de materiales.
- Deforestación.
- Instalación de obras de defensa costera, y
- Ampliación de la frontera agropecuaria.

#### • Registro histórico de eventos por erosión costera

Los procesos de erosión y acreción costera registrados en el área de estudio, permiten evidenciar que al menos durante los últimos cuarenta años, se han suscitado retrocesos en la línea de costa a lo largo de 5 Km. comprendidos entre la desembocadura del Río Turbo y la zona urbana de Turbo (Punta de las Vacas), sumando pérdidas de terrenos superiores a 2.5 Km<sup>2</sup> y con tasas de erosión del orden de 0.5 – 2 m/año (Ver Tabla 4). La Figura 14 muestra dicha situación.

Tabla 4. Registro histórico de eventos asociados con erosión costera.

EVENTO	SECTOR AFECTADO	FECHA DE OCURRENCIA (dd-mm-aaaa)
Marea	Punta de las Vacas	04-01-1973
Marea	Punta de las Vacas	21-05-1973
Marea	Punta de las Vacas	27-12-1973
Marea	Punta de las Vacas	28-01-1977
Marea	Punta de las Vacas	16-01-1981
Marea	Cabecera municipal	05-03-1986

Fuente: Recuperado de CORPOURABA (2016).

#### • Localización de procesos de erosión costera

Los procesos de erosión y acreción costera en el área de estudio se concentran principalmente en la desembocadura de los ríos Turbo, Currulao, Caimán Viejo y Caimán Nuevo, además también se suscitan en los sectores de Punta de las Vacas, Playa la Martina y en el Corregimiento de El Totumo (Tabla 5), Figura 14.

Cabe resaltar que la zona entre Caimán Viejo y Tié, se estima un rango de 50 – 80% de afectación por erosión costera, similares a los registrados en el sector de Punta de las Vacas. En el caso del Río Totumo, la erosión costera se localiza en el flanco sur, con registros de 21 m de retroceso (CORPOURABA, 2016, págs. 172-281).

Tabla 5. Localización de procesos de erosión costera en la cuenca.

FENÓMENO	MUNICIPIO	LOCALIZACIÓN APROXIMADA
EROSIÓN COSTERA	Turbo	Punta de las Vacas. Desde la espiga del río Turbo hacia el sur. Desembocadura del Río Currulao. Zona entre Caimán Viejo y Tié.
	Necoclí	Corregimiento Zapata Sector de los acantilados Sector de los acantilados
ACRECIÓN COSTERA	Turbo	Desembocadura de los ríos Caimán Viejo y Caimán Nuevo Playa la Martina Punta de las Vacas
	Necoclí	Corregimiento de El Totumo

Fuente: Recuperado de INVEMAR y CORPOURABA (2007; 2016).



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

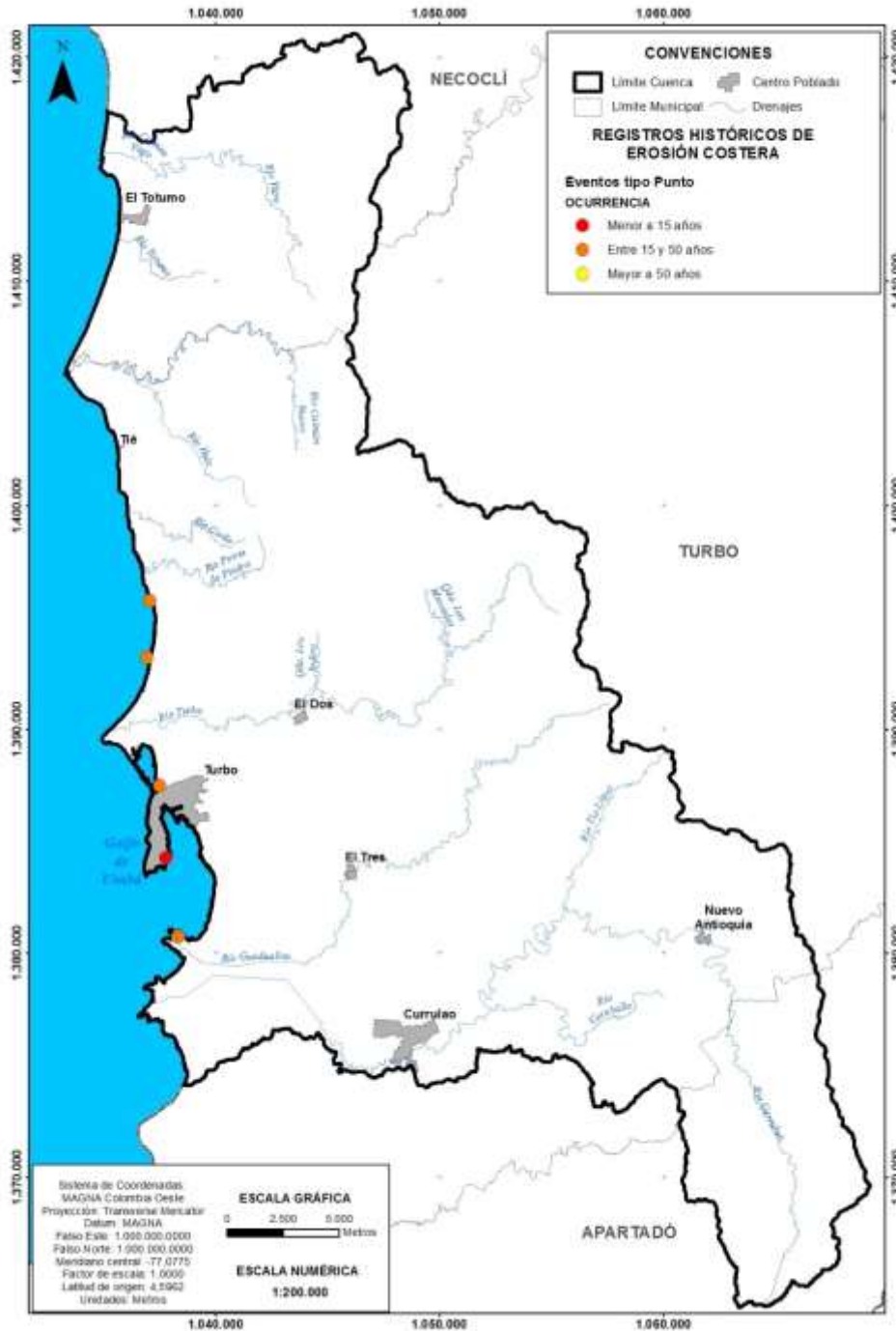


Figura 14. Ubicación de los registros históricos de la erosión costera, periodo 1973-2016.  
Fuente: Elaboración propia.

Las particularidades que se hallan en el área de estudio, tales como: la estructura geológica, tipo de playa, el régimen de mareas, la clase de olas, el nivel del mar, la precipitación y presencia de ecosistemas estratégicos (playas y manglares), entre otros, determinan la susceptibilidad a ser afectados por el fenómeno de erosión costera.



(INVEVAR; EAFIT, 2015) coinciden en afirmar que una de las características esenciales de susceptibilidad inherentes al área de estudio, desde la perspectiva geológica y geomorfológica, está configurada en el marco geotectónico de la Costa Caribe Colombiana, en donde se suscita la interacción de las placas tectónicas de nazca, suramericana y Caribe, allí tiene lugar un fenómeno geológico particular de subsidencia costera asociado al cinturón del Sinú, en donde se destaca el diapirismo de lodos en la evolución tectono-estratigráfica de la zona, controlando y generando, entre otros fenómenos, los levantamientos costeros. En relación con el tipo de rocas presentes en la costa correspondiente al área de estudio, se podrían clasificar como no cohesionadas, conformadas generalmente por rocas poco resistentes al embate de las olas en la base del acantilado y se caracterizan por ser frágiles, poco consolidadas altamente deleznales y afectadas por fracturas.

- **Características de la playa**

Las principales características de la playa, de acuerdo con la batimetría que se presenta en la zona de Turbo, su perfil corresponde a uno plano, con una profundidad de 3.5 m, entre 300 y 500 metros de línea de costa y conformada de materiales arenosos.

- **Régimen de las mareas**

Según (CORPOURABA; Universidad de Antioquia, 2013) es característico en el Caribe Colombiano que las mareas sean semi-diurnas y presenten irregularidad que hace que su amplitud, generalmente sea menor a 0.5 m y además no sea uniforme las dos veces durante el día. En el sector de Urabá, el régimen es micromareal, está sujeto a las oscilaciones mareales del área del Caribe y es de tipo mixto la cual puede elevarse hasta un metro, generándose los mares de leva, que pueden penetrar fácilmente 20 o 30 m sobre la costa.

- **Manifestación de las olas**

El tipo de olas que predomina en el área de estudio se conoce como oleaje de fondo, de acuerdo con las investigaciones realizadas por CORPOURABA y la Universidad de Antioquia (2013). Es importante destacar que los tramos de olas que llegan frente al sector de Punta de las Vacas, alcanzan una altura promedio de 50 a 60 cms. y una longitud de onda de 5 a 7 metros, aunque puede alcanzar más de un metro de altura y reducir su longitud de onda haciéndolas cada vez más frecuentes y por ende más destructivas: Turbo, es el lugar del Caribe Colombiano donde más se siente la acción del fuerte oleaje sobre la costa y el sitio donde más se ha perdido playas por acción de los mares de leva (CORPOURABA, 2009).

- **Precipitación y nivel del mar**

Según el INVEVAR, los niveles de precipitación promedio aplicables al área de estudio están en un rango comprendido entre los 1.500 a 2.000 mm/año y de acuerdo con los datos proyectados de 1990 al 2100, se estima un aumento del nivel del mar entre 0.09 y 0.88 m como consecuencia de la expansión térmica (calentamiento global) y la pérdida de masa de los glaciares asociados a este fenómeno.



- **Ecosistemas estratégicos**

Los ecosistemas estratégicos afectados por la erosión costera en el área de estudio, corresponden a manglares y playas, siendo éstos susceptibles de afectarse por una amenaza costera, al verse reducida su capacidad de auto-recuperación, además cabe decir que entre los factores de alta incidencia, se encuentran la deforestación producto de la tala selectiva, la expansión de la frontera agrícola y la ganadería extensiva (Tabla 6) (CORPOURABA, 2007, pág. 212).

Tabla 6. Clasificación de la amenaza por erosión costera en la cuenca.

TRAMO DE LA COSTA	FENÓMENO	CLASIFICACIÓN DE AMENAZA
Caimán Viejo – Tié. Punta de las Vacas.	Erosión costera.	ALTA
Playa el Totumo. Manglar de Currulao	Acrición costera.	ALTA

Fuente: Recuperado de CORPOURABA (2016).

#### 7.5.6.10 Análisis de eventos históricos espacializados por Diapirismo de lodos

El abordaje del fenómeno de diapirismo de lodo en la Cuenca Río Turbo-Currulao, a partir de la propuesta metodológica consistente en consultar fuentes secundarias, principalmente recabadas en el INVEMAR, el Servicio Geológico Colombiano y CORPOURABA, por ser las autoridades en el tema, tiene como punto de partida aclarar los aspectos conceptuales, seguido de identificar sus características, registro histórico de eventos, localización y las necesidades de información.

- **Características del diapirismo de lodos**

Las principales características que permiten identificar la presencia del fenómeno de diapirismo de lodos en el área de estudio, están asociadas a múltiples factores (Tabla 7), entre ellos, los abombamientos de arcilla, de poca extensión superficial, generalmente inferiores a 1 Km<sup>2</sup>, algunos tienen cráteres en su cúpula (volcanes de lodo), que de vez en cuando se vuelven activos (asociados a eventos sísmicos) y producen explosiones o incendios, aunque las amenazas producidas quedan restringidas al domo diapírico (INVEMAR, 2002; CORPOURABA, 2016).

Tabla 7. Características del diapirismo de lodos en área de la cuenca.

PARÁMETROS	MUNICIPIOS	
	TURBO	NECOCLÍ
Características:	<ul style="list-style-type: none"><li>• Amontonamiento o abobamientos de arcilla de poca extensión superficial, inferior a 1Km<sup>2</sup>.</li><li>• Las amenazas producidas quedan restringidas al domo diapírico, es decir a una distancia inferior al kilómetro a la redonda.</li></ul>	

Fuente: Recuperado de INGEOMINAS, INVEMAR y CORPOURABA (INGEOMINAS, 2011; INVEMAR, 2002; CORPOURABA, 2016).

Los procesos de “Diapirismo de lodos” registrados en el área de estudio, permiten evidenciar que, durante los últimos treinta años, se ha suscitado al menos un evento



acaecido en la vereda Las Palmas de Turbo, el volcán de lodo, también obstaculizó temporalmente el flujo vehicular por la carretera (CORPOURABA, 2016).

- **Localización de procesos de diapiirismo de lodos**

Los procesos de diapiirismo de lodos en el área de estudio, se presentan en la Figura 15, cabe decir que las zonas de mayor proximidad donde se identifican actividades sobre el fenómeno en mención se ubican en los sectores de Alto de Mulatos, Manuel Cuello, San Felipe y Palmeras (CORPOURABA, 2016, págs. 121-122).

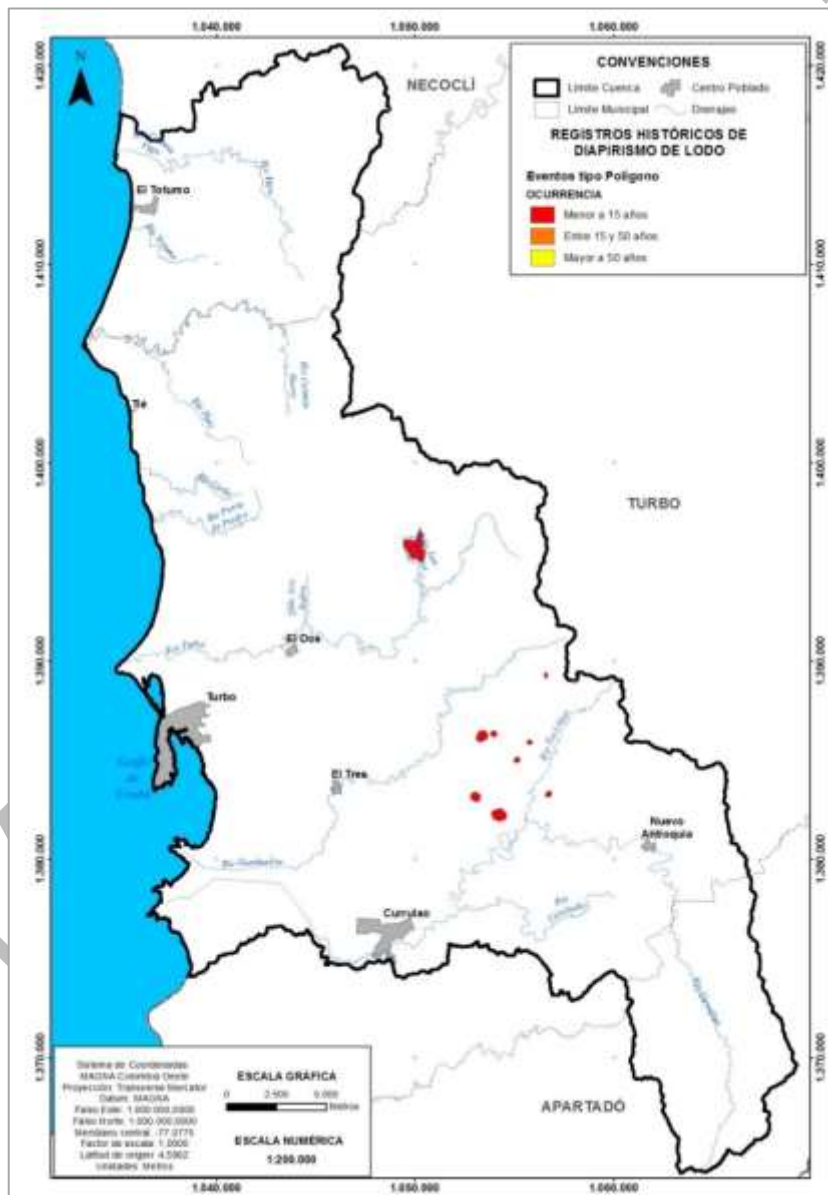


Figura 15. Ubicación de los registros históricos de diapiirismo de lodo en la cuenca.  
Fuente: Elaboración propia.



### 7.5.6.11 Análisis de evento histórico espacializados por Vendavales

El abordaje de fenómeno de vendavales en la Cuenca Río Turbo-Currulao a partir de desarrollar la propuesta metodológica consistente en consultar fuentes secundarias, principalmente recabadas en el IDEAM, la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y CORPOURABA, por ser las autoridades en el tema, tiene como punto de partida aclarar los aspectos conceptuales, seguido de identificar sus características, registro histórico de eventos, localización y las necesidades de información.

#### • Características del vendaval

Las principales características que permiten identificar la presencia del fenómeno de vendavales en el área de estudio, catalogado de recurrencia alta, están asociadas a múltiples factores, entre ellos, la velocidad y dirección del viento, en el Golfo de Urabá, los vientos pueden alcanzar registros superiores a los 25 Km/h, incluyendo periodos de 24 horas en los cuales la velocidad supera los 35 Km/h (Tabla 8).

Tabla 8. Características del vendaval en área del POMCA Río Turbo-Currulao.

PARÁMETROS	MUNICIPIOS	
	TURBO	NECOCLÍ
Características:	<ul style="list-style-type: none"> <li>Municipio de Turbo (El Tres y Currulao): 2,0 a 2,5 m/s.</li> <li>Las ráfagas de viento se asocian a la temporada de huracanes del Atlántico.</li> </ul>	
- Velocidad del viento en superficie.		
Frecuencia:	Alta	

Fuente: Recuperado de DesInventar (2017).

Los procesos de vendavales registrados en el área de estudio, permiten evidenciar que al menos durante los últimos diez y ocho años, se ha suscitado al menos 36 eventos en los municipios de Apartadó, Necoclí y Turbo (Gráfico 17), dejando afectadas acerca de diez y ocho mil personas y más de cuatro mil doscientas viviendas (DesInventar, 2017).



Gráfico 17. Registro histórico de vendavales en el área del POMCA Río Turbo-Currulao.



Fuente: Recuperado de DesInventar (2017).

El análisis histórico de los vendavales en el periodo comprendido entre los años 2001 – 2012, pudo evidenciar que con mayor frecuencia (8) se registran este tipo de eventos en el mes de septiembre, a partir de análisis de la velocidad del viento en superficie con base en los datos del IDEAM, para el área costera de los municipios de Necoclí y Turbo en la desembocadura del Río Atrato vientos de 5.0 – 6.0 m/s.

Aquí son importantes los argumentos de Vivas (2012) quien sostiene que las ráfagas de viento no son consecuencia del cambio climático, en realidad se asocian a la temporada de huracanes del Atlántico, que están producidas por ondas tropicales impulsadas por los vientos alisios.

• **Localización de vendavales**

Los procesos de vendavales en el área de estudio se han suscitado principalmente en las áreas costeras de los municipios de Turbo y Necoclí (Tabla 9), sobre todo en los corregimientos de El Tres, Currulao y el Totumo respectivamente (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres , 2017; Vivas, 2012).

Tabla 9. Localización de vendavales en el área del POMCA Río Turbo-Currulao.

PARÁMETROS	MUNICIPIOS	
	TURBO	NECOCLÍ
Localización:	Área costera: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zona urbana (barrios Brisas del Mar, Jesús Mora y San Martín).</li> <li>• Corregimientos: El Tres y Currulao.</li> </ul>	Área costera: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Corregimiento El Totumo.</li> </ul>

Fuente: Recuperado de Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (2017).

**7.5.6.12 Análisis de Eventos históricos espacializados por Desertificación**

La desertificación es un proceso de degradación del suelo, que se convierte en amenaza cuando aumenta la tasa de pérdida de cobertura amenazando los ecosistemas, debido a la respuesta al cambio climático y a las actividades humanas. La desertificación es la última etapa del proceso de degradación de la tierra debido a su mal manejo. La degradación se inicia con la reducción de la productividad y termina con la pérdida total del suelo; cuando esto sucede, la desertificación es prácticamente irreversible.

El abordaje de fenómeno de desertificación (sequía) en la cuenca del Río Turbo–Currulao a partir de desarrollar la propuesta metodológica consistente en consultar fuentes secundarias, principalmente recabadas en el IDEAM, por ser la autoridad en el tema, tiene como punto de partida aclarar los aspectos conceptuales, seguido de identificar sus características, registro histórico de eventos, localización y las necesidades de información.

El IDEAM como autoridad competente en materia de desertificación o desertización, es la responsable de proveer la información y la metodología la cual se debe utilizar en las





cuencas que puedan ser afectadas por estos eventos, además de plasmar en cuales se deben este fenómeno en los POMCA.

Este evento amenazante preseta reducción o pérdida de la productividad biológica o económica del sistema bioproductivo terrestre compuesto por el suelo, la vegetación, otros componentes de la biota y los procesos hidrológicos y ecológicos, especialmente en los ecosistemas de las zonas secas, debido a los sistemas de utilización de la tierra o por un proceso o una combinación de procesos, incluidos los resultantes de actividades humanas y factores climáticos.

Las áreas susceptibles a la desertificación son las zonas secas del país, siendo una de las coberturas vegetales características de estas zonas, el bosque seco tropical, que han tenido una rápida disminución por deforestación, minería, ganadería intensiva y extensiva, desarrollo urbano, extracción y comercio de fauna y flora, sistemas de producción inadecuados, uso inadecuado de fuentes de agua superficial y subterránea, quemas indiscriminadas y cultivos ilícitos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

#### 7.5.6.12.1 Características de la desertificación (sequía)

Las principales características que permiten identificar la presencia del fenómeno de desertificación (sequía) en el área de estudio (Ver Tabla 10), catalogada como ligera, es predominante, tanto en distribución espacial como en frecuencia, únicamente se presentan déficit hídricos moderados y extremos de carácter local (IDEAM, 2006, pág. 12).

En cuanto a la recurrencia de los eventos de desertificación, ocasionada exclusivamente por deficiencias de lluvia, durante las temporadas lluviosas del primero y segundo semestre, oscilan entre los 4 y los 8 años, en la mayor parte de las regiones del Caribe, siendo de mayor frecuencia en el primer semestre.

Tabla 10. Características de desertificación (sequía) en la cuenca.

PARÁMETROS	MUNICIPIOS	
	TURBO	NECOCLÍ
Características:	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sequía ligera, tanto en su distribución espacial como en frecuencia, únicamente se presentan déficit hídrico moderado.</li></ul>	
Recurrencia:	<ul style="list-style-type: none"><li>• Oscila entre los 4 y los 8 años, siendo algo más frecuente durante el primer semestre.</li></ul>	

Fuente: IDEAM (2006).

#### 7.5.6.12.2 Registro histórico de eventos de desertificación

Revisados los registros históricos de eventos, tanto en el sistema de información de la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, como en la base de datos de DesInventar, durante el periodo comprendido entre los años 1998 - 2016 (Ver Tabla 11), no se evidencian anotaciones que permitan inferir la ocurrencia de fenómenos de sequía en la zona del Río Turbo-Currulao, sin embargo se sabe que en la Región Caribe,



el número de sequías promedio para la década del año 1971 a 1980, fue de 2.4 (IDEAM, 2012; Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres , 2017; DesInventar, 2017).

Tabla 11. Número de sequías promedio por décadas en la Región Caribe.

PARÁMETRO	TEMPORADA DE LLUVIAS SEMESTRE I	TEMPORADA DE LLUVIAS SEMESTRE II
#Sp 1971 -1980	2.4	1.7
#Sp 1971 -1980	1.9	1.4
#Sp 1971 -1980	1.7	1.4
#Sp 1971 -1980	1.0	1.9

Fuente: Recuperado de IDEAM (2012).

#### 7.5.6.13 Recopilación de eventos históricos y activos en campo

Las actividades de recolección de información en campo fueron posibles gracias a los acercamientos directos con los habitantes de los municipios de Apartado, Turbo y Necoclí a través de Talleres de Diagnóstico Participativo, de recorridos por vías de acceso (Nueva Antioquia, Playa Larga, La Carbonera, Alto de Mulatos, La Playona, Manuel Cuello, Aguas Claras, Las Cañas, Pueblo Nuevo, Barro Arriba, Bellavista, Puerto Cesar, etc.) y en las márgenes de los Ríos Currulao, Tío López, Guadualito, Turbo, Caimán Viejo, Cirilo y algunas quebradas como La Arenosa, Los Indios, El Barro, entre otras (Figura 16).

Durante los recorridos efectuados en el campo, se tomaron las fotografías panorámicas y puntuales, junto con la medición de datos estructurales. Se efectuó la toma de puntos de coordenadas con GPS.



Figura 16. actividades de recolección de información en campo (Fuente: propia con el uso de imágenes de Google Earth).

La información recolectada se consignó respectivamente en los formatos 3 y 4. Ver [Anexo 43](#), adicionalmente se tomó un registro fotográfico de cada uno de los puntos visitados en el mes de septiembre de 2017, ver [Anexo 44](#).

En la Tabla 12, Se presentan los resultados de la recopilación de información a nivel municipal.

Tabla 12. Análisis de resultados por municipio – Movimientos en masa.

MUNICIPIO	Procesos Totales	Procesos caracterizados	Observaciones
TURBO	282	52	En los sectores de Tío López, Caracolí (Alto de Mulatos), La Trampa, La Carbonera, La Playona y Manuel Cuello se presenta gran cantidad de procesos de movimientos en masa de magnitudes importante, llegando a afectar la estructura de vías principales, y algunas obras de arte de las mismas.
NECOCLÍ	138	7	En los sectores de Aguas Claras, La Caña y Barro Arriba se observan laderas de pendientes medias a suaves en general estables, con algo de reptaciones pequeñas. En la margen derecha de la quebrada El Barro recientemente se presentó un deslizamiento que tapo el cauce de la quebrada. En el poblado del Totumo se han presentado afectaciones por deslizamiento de materiales del talud superior u oriental de la vía nacional.



MUNICIPIO	Procesos Totales	Procesos caracterizados	Observaciones
APARTADÓ	120	7	En el sector de Playa Larga sobre las dos márgenes del río Currulao se evidencian procesos de movimientos en masa de magnitudes importante.

Fuente: Elaboración propia.

En el sector de Playa Larga (suceptibilidad alta), sobre las márgenes del Río Currulao se evidencian varios procesos de movimientos en masa de magnitudes importantes, algunos activos (recientes) y otros antiguos relativamente estabilizados por si solos, con cobertura vegetal (Figura 17) En algunos, los materiales deslizados pueden llegar hasta el cauce del río.



Figura 17. Estado de la vía Nuevo Antioquia – Playa Larga afectada por movimientos en masa (Fuente: propia).

En el sector de Tío López (suceptibilidad alta), se evidencian algunos procesos de movimientos en masa de magnitud importante (Figura 18), afectando la estabilidad de algunos tramos de la vía a Nueva Antioquia y predios de cultivos y/o ganadería.



Figura 18. Evidencian algunos procesos de movimientos en masa de magnitud importante Deslizamiento – Hacienda Currulao, estación EG-05 SECTOR ESCUELA HACIENDA CURRULAO (Fuente: propia).

En el sector de Alto de Mulatos (suceptibilidad alta), sobre ambas márgenes del río Guadualito en suelos arcillosos plásticos se presenta gran cantidad de procesos de movimientos en masa de magnitudes importante (Figura 19), llegando a afectar la estructura de la vía principal en una longitud de más de 3 Km y varias obras de arte. Estos procesos han interrumpido el tránsito por la vía en varias ocasiones, en distintos sitios.



Figura 19. Deslizamientos sector Alto de Mulatos – Caracolí. Margen Izquierda río Guadualito VIA A ALTO DE MULATOS – MARGEN IZQUIERDA RÍO GUADUALITO

En el sector La Playona (suceptibilidad alta), se evidencia de manera generalizada gran número de cicatrices de deslizamientos en suelos residuales de Ngpi2 de forma alargada, con algunos procesos de magnitudes importantes, algunos antiguos ya



cubiertos por vegetación y otros activos y recientes, afectando predios dedicados a la ganadería (Figura 20).



Figura 20. Deslizamientos sector La Playona. (Fuente: propia)

En el sector de Manuel Cuello (suceptibilidad alta), al norte la vía se encuentra en mal estado presentado varios sitios inestables por socavación lateral de la quebrada Los Indios, afectando la banca de la vía, como también, carencia de obras de manejo de agua de escorrentía. Se evidencia de manera generalizada gran cantidad de procesos de reptación en suelos residuales de Ngpi2 (Figura 21).



Figura 21. Panorámica sector Manuel Cuello En el sector de Manuel Cuello se evidencia de manera generalizada gran cantidad de procesos de reptación en suelos residuales de Ngpi2 y deslizamientos. (Fuente: propia).



## 7.6 CARACTERÍSTICAS DE LA AMENAZA EN LA CUENCA DEL RÍO TURBO-CURRULAO

La evaluación de las amenazas, análisis de vulnerabilidad y análisis de riesgos como base para priorizar, y definir los escenarios de riesgos que se desarrollan en la fase de Diagnóstico están dirigidos a:

- Evaluar el tipo de eventos amenazantes que pueden configurarse en la cuenca hidrográfica, de acuerdo con sus características topográficas, geológicas, geomorfológicas, condiciones meteorológicas, hidrológicas, cobertura y uso del suelo.
- Delimitar las áreas susceptibles a la ocurrencia de eventos, zonificándolas de acuerdo con sus características y su condición actual.
- Identificar las áreas que pueden ser afectadas por la manifestación del evento.
- Establecer los elementos o factores que detonan los eventos y determinan la frecuencia de estos sobre el territorio. Lo anterior, de acuerdo con la naturaleza de los eventos y a la escala de trabajo.
- Identificar los eventos detonantes para las diferentes amenazas y determinar sus características de tal manera que se puedan generar mapas de amenaza.
- Realizar el análisis de vulnerabilidad a partir del mapa de afectación de los diferentes niveles de las coberturas y uso de tierra, donde se identificaran y caracterizaran los elementos expuestos, el posible daño y pérdidas.
- Realizar análisis de riesgos, utilizando la herramienta de escenarios, para estimar las pérdidas posibles en la cuenca hidrográfica en relación a la dinámica de las amenazas que pueden generar eventos para las zonas establecidas previamente como de amenaza alta.

Como estrategia metodológica se emplea el análisis espacial haciendo uso del álgebra de mapas con la ayuda de un Sistema de Información Geográfica (SIG), el SIG nos permite superponer o combinar y analizar diferentes variables temáticas con el fin de obtener un resultado específico de acuerdo a un diseño establecido, en este caso conocer las características de las amenazas, análisis de vulnerabilidad y análisis de riesgos en la Cuenca Río Turbo-Currulao.

El procedimiento para evaluar las características de la amenaza en la cuenca Río Turbo-Currulao, se indica en la síntesis metodológica (Figura 22). En este caso se concentró en integrar información del catálogo de eventos, registro de movimientos activos, a encuestas directas con las comunidades localizadas en la cuenca y la búsqueda de información en entidades territoriales; observaciones y mediciones de campo, análisis y revisión de información técnico - científica disponible (mapas, fotos aéreas, informes, etc), con el fin de conocer la probable ubicación y severidad de los fenómenos naturales peligrosos, así como la probabilidad de que ocurran en un tiempo y área específica, y en el caso de movimientos en masa determinar la amenaza con base en el Factor de Seguridad (Fondo Adaptación, 2014, págs. 38-51).

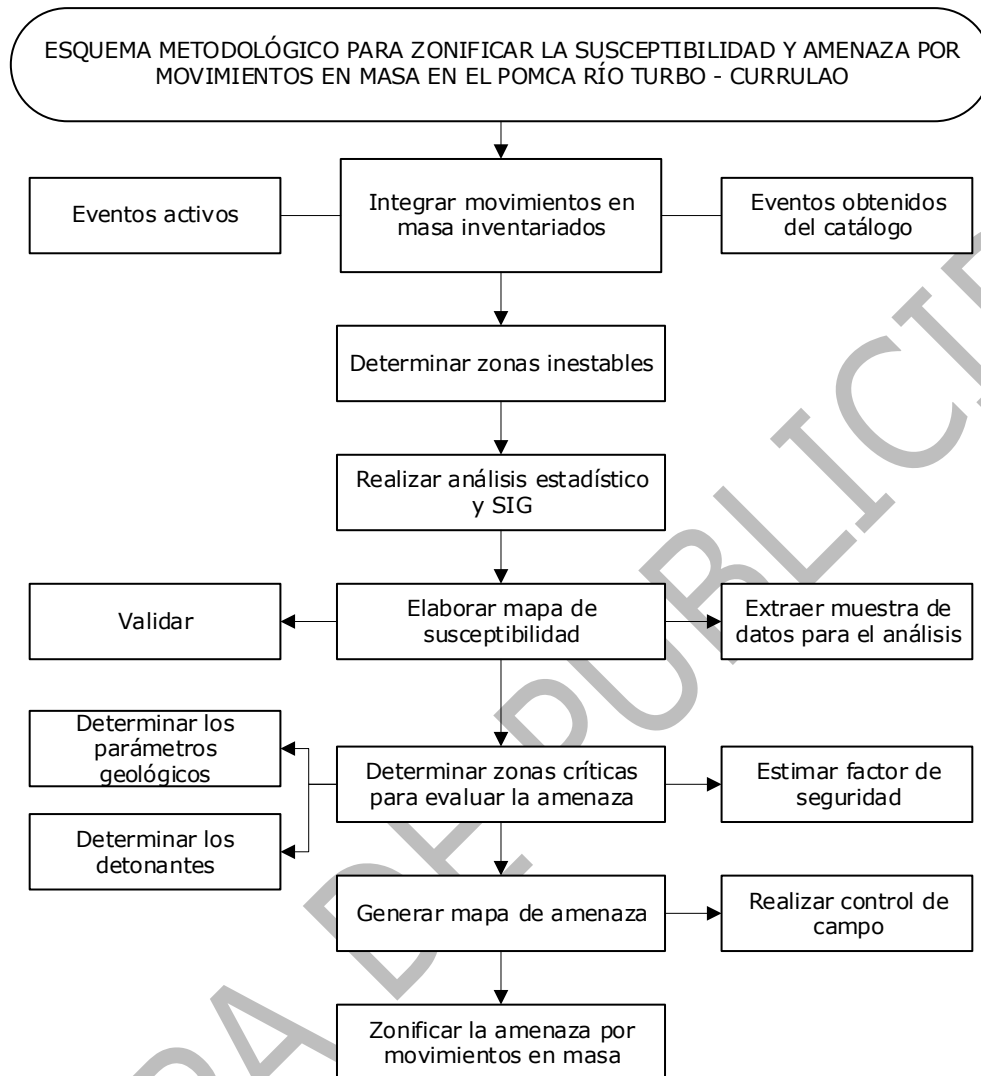


Figura 22. Esquema conceptual y metodológico seguido para la identificación, clasificación y caracterización de fenómenos amenazantes y evaluación de la amenaza en la cuenca.

Fuente: Recuperado de Fondo Adaptación (2014).

Los pasos tenidos en cuenta en la evaluación de amenaza son:

- Identificación de los fenómenos amenazantes que pueden configurarse en la cuenca, de acuerdo a las características geológicas, geomorfológicas, y bioclimáticas.
- Dependiendo del tipo de amenaza identificado, se procede a su evaluación de manera separada por cada tipo de amenaza.
- Delimitación de las áreas susceptibles donde se puede manifestar fenómenos amenazantes, de acuerdo a las características del territorio que definen una mayor o menor propensión a la ocurrencia de eventos.





- Delimitación de las áreas de amenaza de acuerdo con las categorías de alta, media y baja para las diferentes amenazas identificadas. En la caracterización de las amenazas alta, media y baja deben, se tuvo en cuenta la intensidad y magnitud del fenómeno o evento amenazante.
- Las metodologías de evaluación de amenazas y los insumos técnicos correspondientes para las amenazas identificadas guardan coherencia y pertinencia con la escala de evaluación.
- Identificación de los eventos detonantes de las amenazas.
- Los análisis de los eventos detonantes se realizaron bajo las consideraciones de variabilidad climática por eventos extremos.
- Identificación de los factores que influyen en la amenaza (variabilidad, destrucción ambiental, degradación de recursos naturales, infraestructuras como puentes, vías, etc.). En el caso de las amenazas hidrometeorológicas, existe una estrecha relación entre tiempo e inundaciones, puesto que el tiempo determina la cantidad y la intensidad de las precipitaciones. Las inundaciones y las avenidas torrenciales se ven determinadas, por un lado, por las características específicas de la cuenca y, por otro, por los factores climáticos regionales. Si hay cambios en estos factores climáticos, estos también generan cambios en la vegetación y, por ende, en el desagüe de ríos, lo que finalmente determina la magnitud de las inundaciones.
- Elaboración del mapa de amenazas a escala 1:25.000 para cada uno de los eventos identificados en los sitios definidos como de susceptibilidad crítica, en donde se realizará una valoración de la amenaza por niveles referida a la magnitud del evento y su recurrencia, el cual tiene como objetivo servir como base para definir y priorizar escenarios de riesgo, la planificación del uso del territorio y de los planes y programas de reducción de riesgos.

A continuación, se plantean requerimientos de información para poder realizar la evaluación de amenaza para los alcances del POMCA:

**Información geológica:** con la información de los informes y mapas geológicos generados para la cuenca Río Turbo-Currulao, se desarrollaron actividades de campo que permitieron elaborar el mapa de Unidades Geológicas Superficiales (UGS) pertinente para los estudios de amenazas. Estas formaciones superficiales incluyen rocas con diferentes grados de meteorización, suelos y depósitos no consolidados según su origen, se consideran como formaciones correlativas de los procesos morfodinámicos, debido a la acción de agentes exógenos y endógenos que modelan la superficie terrestre. Es uno de los productos básicos de la geología aplicada a la Ingeniería.

**Información geomorfológica:** a través del mapa de geomorfología multipropósito a escala 1:25.000, en donde se delimitaron las unidades y subunidades geomorfológicas.

- **Unidad geomorfológica:** geoforma individual genéticamente homogénea, generada por un proceso geomórfico constructivo o destructivo (acumulación o erosión), típico de un ambiente morfogenético dado.



- Subunidad geomorfológica: está determinada fundamentalmente por los contrastes morfológicos y morfométricos, que relacionan el tipo de material o la disposición estructural de los mismos, con la correspondiente topografía del terreno. Igualmente está definida por el contraste dado por las formaciones superficiales asociadas a procesos morfodinámicos actuales de meteorización, erosión, transporte y acumulación bien definidos o determinados.
- Mapas morfodinámicos para la zona montañosa de la cuenca, con el apoyo de las imágenes satelitales y/o fotografías aéreas de alta resolución donde se asocian los tipos de procesos con materiales y pendiente topográfica, como insumo para los mapas de susceptibilidad por movimientos en masa. En la elaboración del mapa morfodinámico se tuvo en cuenta la evaluación de la multitemporalidad de los procesos.

Información hidrográfica: mapas temáticos de patrones y densidad de drenaje como insumo básico para los mapas de amenazas por movimientos en masas, inundaciones y avenidas torrenciales.

Mapas de índice de torrencialidad a nivel de los afluentes principales de las subcuencas, de acuerdo con la metodología propuesta por IDEAM para este indicador en la Evaluación regional del Agua - ERA.

Información de uso y cobertura de la tierra: mapa de uso y cobertura de la tierra a escala 1:25.000 empleando la metodología Corine Land Cover.

Información climatológica: utilizada en el análisis de factores detonantes de origen meteorológico, mapas de isoyetas y se realizara la evaluación de variables meteorológicas en la cuenca hidrográfica.

Otra información temática: la información sobre el nivel de amenaza sísmica y su distribución espacial se tomó de acuerdo con la información existente en el Servicio Geológico Colombiano y será referente como factor detonante de los movimientos en masa.

### **7.6.1 Identificación, clasificación y caracterización de fenómenos amenazantes y evaluación de la amenaza por movimientos en masa**

Un movimiento en masa es el proceso por medio del cual un volumen de material constituido por roca, suelo, escombros o una combinación de cualquiera de estos, se desplaza por una ladera o talud por acción de la gravedad. Suele ser conocido también como: fenómeno de remoción en masa, proceso de remoción en masa, derrumbe, deslizamiento, falla de talud, entre otros (Perico, 2016). Los movimientos en masa son parte de los procesos denudativos que modelan el relieve, su origen obedece a una gran diversidad de procesos geológicos, hidrometeorológicos, químicos y mecánicos que se dan en la corteza terrestre. Si por una parte el levantamiento tectónico forma montañas, la meteorización sumada a otros factores detonantes (sismo, lluvia, acción del hombre) actúa sobre las laderas para desestabilizarlas y cambiar el relieve a una condición de planicie (Portilla, 2012).



Para identificar y caracterizar los eventos amenazantes para este tipo de procesos se compilaron eventos de movimientos en masa a partir de varias fuentes, dentro de las que se incluyen la información de campo, eventos históricos y de información secundaria tomados de las bases de datos de CORPOURABÁ dentro de la cuenca hidrográfica del río Turbo- Currulao. El análisis de la susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa para la cuenca se realizó con base en la recopilación de la información necesaria para modelar cada fase de este estudio mediante observaciones de las diferentes variables identificadas. Estos datos fueron cargados espacialmente para evaluar de forma óptima su relación espacial y dinámica. Como tendencia general se observa que en esta cuenca hidrográfica en la zona de topografía elevada que conforma la parte este de la cuenca en los municipios de Turbo, Apartadó y Necocli ocurren eventos de movimientos en masa, de manera frecuente. Los principales tipos de procesos de movimientos en masa que se identificaron en la cuenca tienen que ver con flujos, deslizamientos rotacionales y eventuales caídas principalmente.

#### **7.6.1.1 Descripción metodológica para obtener la susceptibilidad a movimientos en masa**

La susceptibilidad se entiende como la predisposición del territorio a presentar movimientos en masa a partir de determinadas condiciones geológicas, geográficas, meteorológicas, atmosféricas, ambientales y antropogénicas. El primer paso en este proceso es la determinación de variables de predisposición, propensividad o condicionalidad como lo indica el método planteado por Nuria en el año 2001 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014) y mostrado en la Figura 23.

Para ello se establecen los siguientes factores de propensividad: pendiente de ladera, pendiente senoidal de la ladera, rugosidad, curvatura, curvatura longitudinal, curvatura transversal, orientación de la ladera, insolación, distancia a drenajes, distancia a vías, distancia a fallas y lineamientos, distancia a canteras, acumulación de cuenca, longitud de cuenca acumulada, pendiente media de cuenca vertiente, geología, geomorfología, UGS (Unidades Geológicas Superficiales) y Cobertura.

Posteriormente se lleva a cabo la categorización y calificación de cada una de las variables condicionantes de acuerdo con clasificaciones establecidas en metodologías oficiales, cuyos resultados se encuentran en detalle en la descripción de cada variable más adelante.

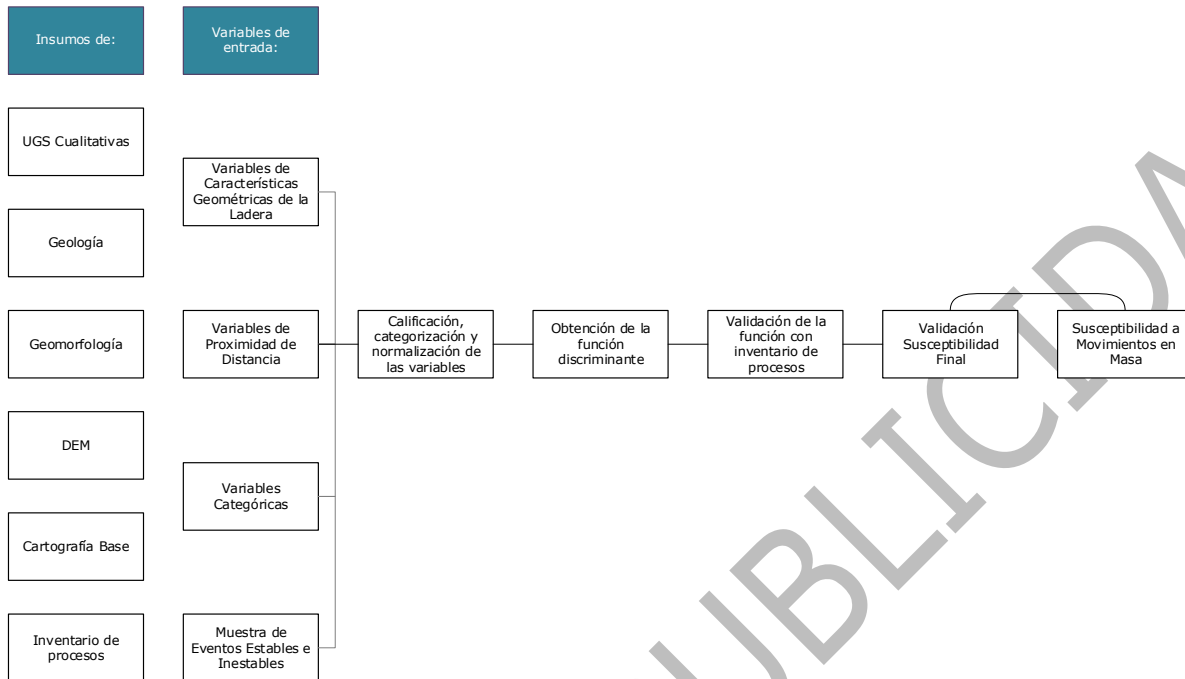


Figura 23. Metodología para obtener susceptibilidad a movimientos en masa  
Fuente: Elaboración propia

Para el análisis de susceptibilidad a movimientos en masa se realizó una evaluación de factores de propensividad dentro de un análisis multivariante discriminante para la asignación de coeficientes o pesos dentro de una función discriminante ajustada por una variable agrupación definida como sitios estables e inestables considerando la metodología planteada por Carrara (1991), Baeza (1996), Nuria (2001), Santacana (2003), Cardona (2013) y Perico (2017). A partir de lo anterior y una vez obtenido el mapa de susceptibilidad en el área la cuenca hidrográfica del río Turbo Currulao se procede a realizar el análisis de la zonificación de la mencionada susceptibilidad por movimientos en masa.

### 7.6.1.2 Información básica e insumos utilizados

A continuación, en la Tabla 13, se presenta una lista de información empleada en la caracterización de las variables del modelo de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa en la cuenca Río Turbo-Currulao.

La base cartográfica para la cuenca Río Turbo-Currulao en escala 1:25.000 es la cartografía IGAC, comprende curvas de nivel, redes de drenaje, cuerpos de agua, orografía, límites administrativos, zonas urbanas, rurales dispersas e infraestructura, la cual se encuentra referenciada en el sistema Magna Sirgas.

Tabla 13. Información utilizada para la modelación de susceptibilidad y amenaza en la cuenca

COMPONENTE	INSUMOS	ESCALA	FORMATO	FUENTE
General	Cartografía base	1:25000	GeoDataBase	IGAC



COMPONENTE	INSUMOS	ESCALA	FORMATO	FUENTE
Modelo digital de elevación (DEM)	DEM de la cuenca	Pixeles de 5*5 metros	En dato continuo	IGAC
Tesis Doctoral "Análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de SIG - Aplicación a la cuenca alta del Río Llobrega". Puntos SIMMA	NA	Pdf		(Santacana, 2001) Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.
Inventario	NA Georeferenciación eventos de inestabilidad	Detalle	xlsx	SGC, 2014
Geología	Mapa de la Cuenca Río Turbo-Currulao	1:25.000	GeoDataBase	Propia
Geomorfología	Mapa de la cuenca Río Turbo-Currulao	1:25.000	GeoDataBase	Propia
Cobertura y usos del suelo	Mapa de la cuenca Río Turbo-Currulao	1:25.000	GeoDataBase	Propia
Amenaza	Detonante sismo	1:25.000	GeoDataBase	Propia
Detonante lluvia	Datos Pluviométricos		Shapefile	SGC
Mapa nacional de amenaza relativa por movimientos en masa 1:500.000	1:500.000		pdf	SGC
Mapa de amenaza relativa por movimientos en masa 1:100.000	1:100.000		GeoDataBase	SGC

Fuente: Elaboración propia

### 7.6.1.3 Descripción de las variables de susceptibilidad a movimientos en masa

En la Tabla 14, se presentan los factores de propensividad a los movimientos en masa y sus variables asociadas.

Tabla 14. Factores de propensividad a la generación de inestabilidad en la Cuenca del Río Turbo-Currulao

NOMBRE/ DEFINICIÓN	TOPOLOGÍA/PRODUCTO
<b>Selección de la muestra de análisis (MM LM MOVT):</b>	
ZONAS INESTABLES. CATÁLOGO DE EVENTOS (geometría de punto)+INVENTARIO DE EVENTOS (geometría de polígono y/o punto)+Subunidades geomorfológicas asociadas a la inestabilidad (mapa geomorfológico- geometría de polígono).	PUNTO
<b>Factores condicionantes</b>	
<b>Características geométricas de la ladera (CGL)</b>	
Pendiente (PEND). Pendiente de la ladera.	RASTER
Pendiente Senoidal (PENDS)	RASTER
Rugosidad (RUGOS)	RASTER
Curvatura del terreno (CURVAR)	RASTER



<b>NOMBRE/ DEFINICIÓN</b>	<b>TOPOLOGÍA/PRODUCTO</b>
Curvatura longitudinal perfil (PERFIL)	RASTER
Curvatura transversal (PLANTA)	RASTER
Insolación (INSOL). Insolación o coeficiente de iluminación de la ladera.	RASTER
Orientación (ORIENT). Orientación o dirección de exposición de la ladera.	RASTER
Acumulación de la cuenca (ACUENCA). Área de cuenca acumulada.	RASTER
Longitud de la cuenca acumulada (LONG). Longitud máxima de cuenca acumulada.	RASTER
<b>Variabes con relación de proximidad (VRP)</b>	
Densidad de drenaje. (DISTDREN)	RASTER
Distancia a vías y carreteras (DISTVIAS).	RASTER
Distancia fallas lineamientos (DISTFALLIN)	RASTER
<b>Variabes categóricas</b>	
Geología (GEO)	POLÍGONOS
Geomorfología (GMF)	POLÍGONOS
Cobertura (COBERT). Densidad de vegetación y usos del suelo.	POLÍGONOS
Unidades Geológicas Superficiales (UGS)	POLÍGONOS

Fuente: Elaboración propia a partir de Santacana; Fondo Adaptación (2001; 2014)

La metodología empleada sugiere emplear una variable de agrupación (que corresponde en este caso con la muestra de áreas estables e inestables) y el abanico de variables condicionantes mencionadas. A continuación se describen las variables para la ponderación de los factores condicionantes:

#### **7.6.1.3.1 Selección de la muestra de análisis (MM\_LM\_MOVT):**

Está asociado con el inventario de movimientos en masa ubicados en la cuenca y es la información base para la ponderación de variables que participan en el modelamiento de la susceptibilidad clasificando los eventos en estables e inestables como se ve representado en la Figura 24. Los sitios inestables (variable Z\_INESTABLE) surgen del inventario de procesos desarrollado con fotointerpretación de procesos morfodinámicos, subunidades geomorfológicas de origen denudacional que representen un evento inestable (deslizamientos Dco, Dldi), trabajo de campo y catálogos históricos de eventos por movimientos en masa asociados a inestabilidad (Ver [Anexo 88](#)). Por su parte, los sitios estables corresponden con ubicación de puntos donde se asume que son áreas estables por no tener eventos históricos ni inventario de procesos por movimientos en masa.

Posteriormente estos sectores se depuraron para que cada uno de los píxeles relacionados con inestabilidad sean completamente independientes. Como se indicó previamente en la caracterización de eventos, al analizar la base de datos existente se procede a la depuración de las zonas inestables mediante el filtro y validación de la misma con considerando la pendiente de la ladera (eventos georreferenciados en zonas de pendientes inferiores a 13 grados o cercanos a la verticalidad), las zonas urbanas de afectación antrópica del terreno (eventos que por su naturaleza obedecen a factores antrópicos y no tienen una relación intrínseca con la geometría ni la escala del estudio) y la inexistencia de un referente espacial puntual.

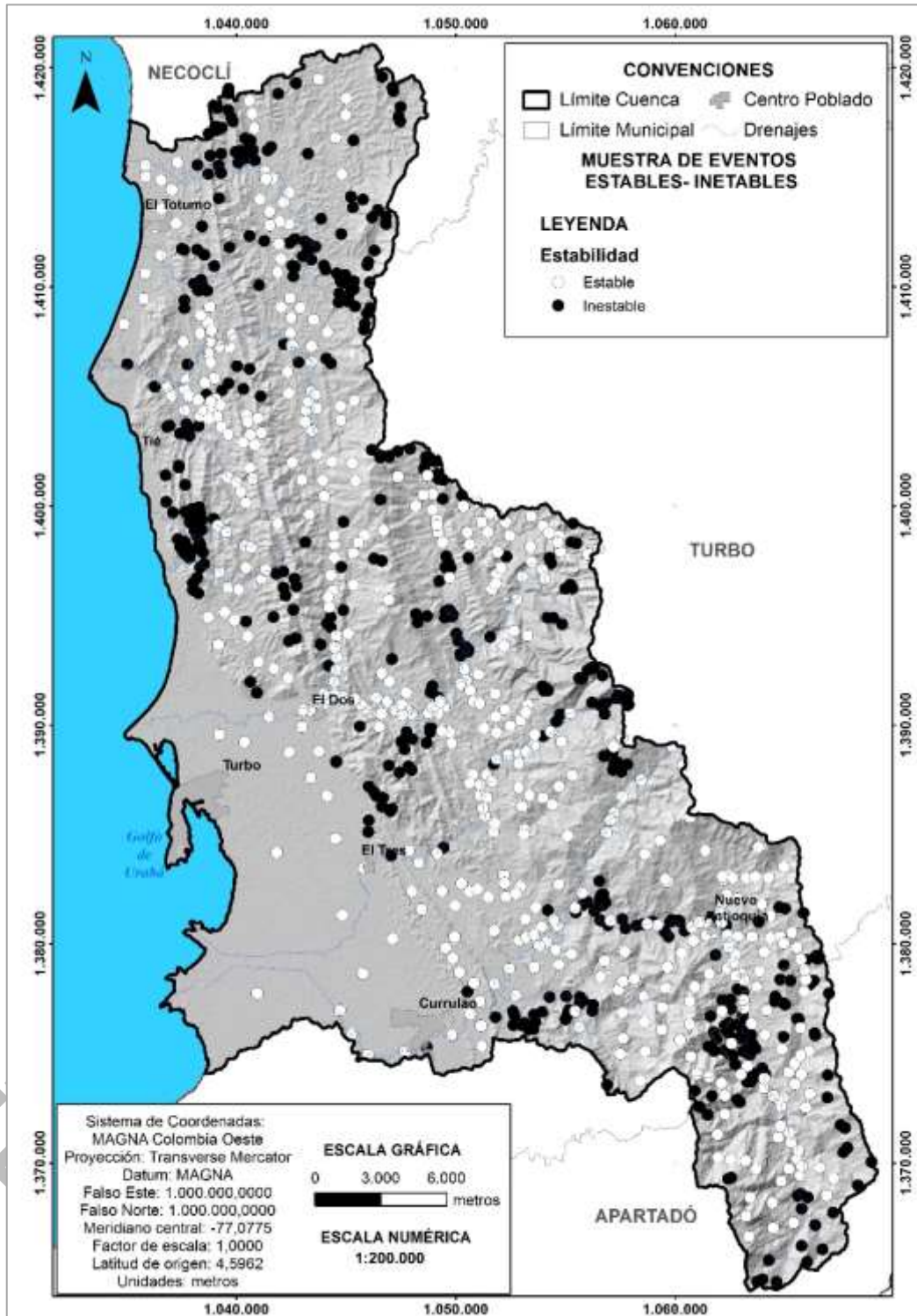


Figura 24. Muestra de sitios estables e inestables  
Fuente: Elaboración propia



La muestra de análisis se puede obtener extrayendo un porcentaje de la población total elegida de manera aleatoria y que sea representativa de la población total. Una fórmula muy extendida que orienta sobre el cálculo del tamaño de la muestra para datos globales es la Ecuación 1:

Una fórmula muy extendida que orienta sobre el cálculo del tamaño de la muestra para datos globales es la siguiente:

$$\text{Tamaño de la muestra } (n) = \frac{K^2pqN}{e^2(N - 1) + K^2pq}$$

Ecuación 1

Donde:

N: es el tamaño de la población, esto es 478 procesos inestables.

K: es una constante que depende del nivel de confianza que asignemos que indica la probabilidad de que los resultados de la investigación sean ciertos. Típicamente se usa un nivel de confianza del 95% que corresponde con un valor de k igual a 1,96.

e : es el error deseado si se compara la población con la muestra. Se usa generalmente un error de 5%.

p y q: son proporciones de individuos que poseen la misma característica de estudio. Son valores desconocidos por lo cual se asumen con valor de 0,5.

Al calcular el tamaño de la muestra se obtiene un valor que se considera menos representativo para el tamaño de la cuenca en comparación con el total si se tiene en cuenta que es preciso definir puntos estables y generar un factor de agrupación para aplicar el discriminante. Es definitivamente mejor usar toda la población y no una muestra pues, según Cardona (2013), es preferible obtener un modelo con mayor sensibilidad que clasifique correctamente la mayor cantidad de deslizamientos. Debido a que el análisis discriminante trabaja bien cuando las poblaciones (celdas estables e inestables) tienen un tamaño similar en la muestra (Baeza, 1994), se definieron sitios estables que corresponden con ubicación aleatoria de celdas donde se asume que son áreas estables por no tener eventos históricos ni inventario de procesos por movimientos en masa. Finalmente, la unión de zonas inestables y estables definidas, al ser completamente independientes entre sí como celdas relacionadas se toma completa como muestra de análisis para no descartar casos importantes dentro del modelo.

El análisis de la distribución espacial y el comportamiento de esta variable, para el área de la cuenca fueron descritos previamente.

- Formato: vector tipo punto.
- Fuente: base de datos de información de campo, procesos morfodinámicos, eventos históricos proporcionados por las bases de datos más la fotointerpretación de procesos morfodinámicos, geología y geomorfología, 2017.





### 7.6.1.3.2 Factores condicionantes

#### Modelo Digital de Elevación (DEM):

El modelo digital de elevación (DEM, por sus siglas en inglés) es una matriz tipo ráster en la que el valor de cada pixel corresponde a la altitud sobre el nivel del mar en metros del mismo (Figura 25). Este factor constituye el insumo de entrada para obtener las variables que componen las características geométricas de la ladera (CGL): PEND, PENS, ASPECT, INSOL, RUGOS, CURVAR, PERFIL, PLA, ACUENCA Y LONG, las cuales se describen en el siguiente numeral.

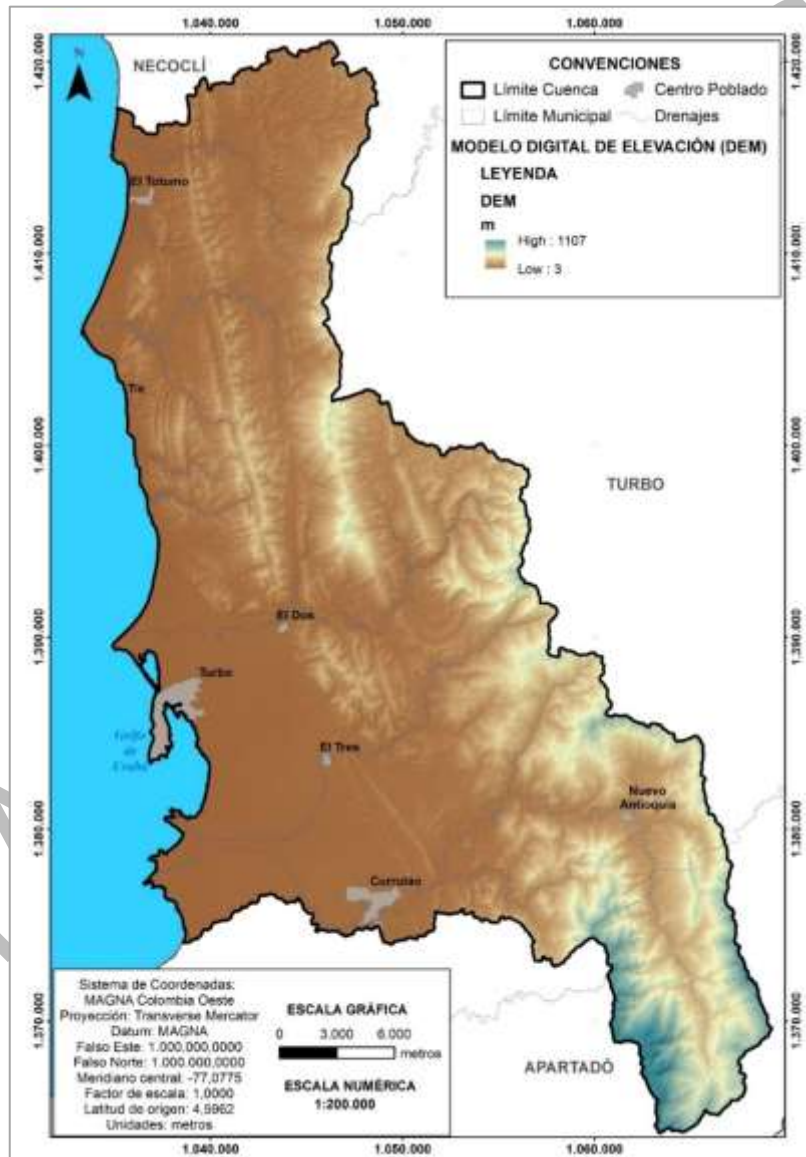


Figura 25. Modelo de Elevación Digital-DEM. Fuente: elaboración propia



### 7.6.1.3 Características geométricas de la ladera (CGL)

Las variables o factores condicionantes relacionadas con las características geométricas de la ladera, también llamadas variables derivadas del DEM, incluyen: pendiente de ladera, pendiente senoidal de ladera, rugosidad, curvatura del terreno, curvatura longitudinal, curvatura transversal, insolación, orientación ladera, acumulación de la cuenca y longitud de cuenca acumulada se encuentran representadas en la Figura 26 y se definen a continuación.

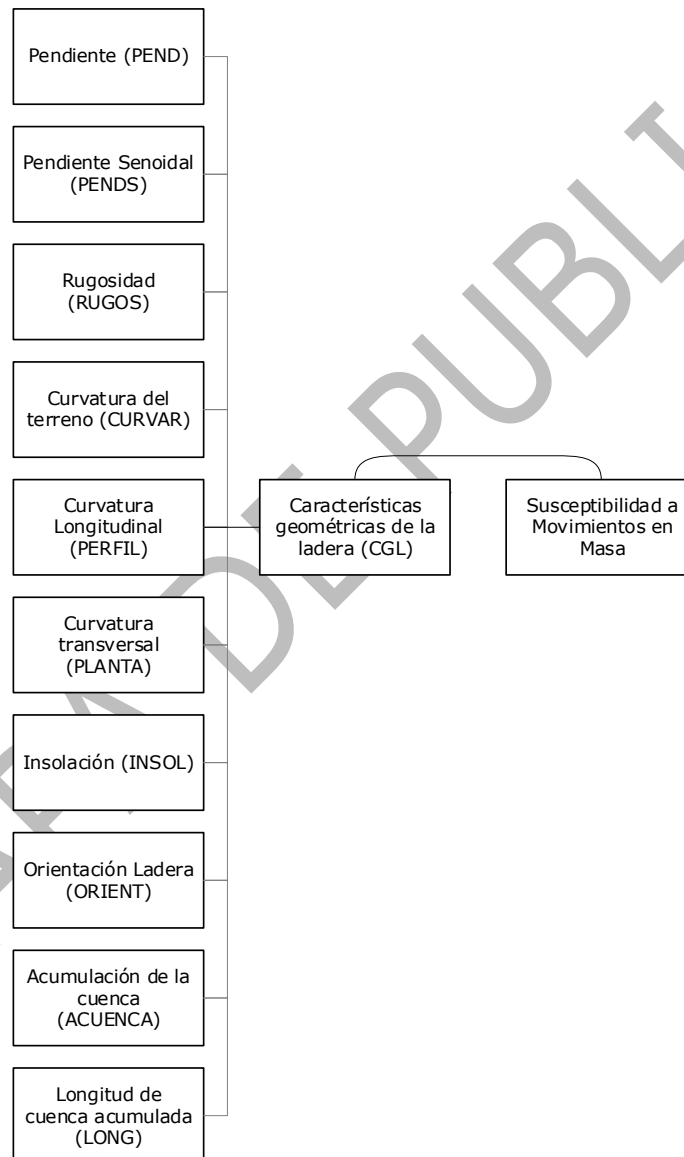


Figura 26. Factores condicionantes derivados de las características geométricas de la ladera  
Fuente: Elaboración propia



- Pendiente PEND: Pendiente de la ladera.

Hace referencia al ángulo existente entre la superficie del terreno y la horizontal, su importancia radica en la influencia del factor sobre la estabilidad del suelo como factor geométrico. Para esta variable se normalizaron sus valores entre 0 y 1 como variable continua, siendo 0 muy poco propenso y 1 muy propenso (Figura 27). Sin embargo, la variable no se agrupa por rangos a pesar que típicamente se haga y se solicite en los alcances técnicos del presente estudio; esto porque esta agrupación es solamente aplicable en métodos heurísticos geomorfológicos y no para métodos heurísticos semicuantitativos, estadísticos o determinísticos en los que mantenerse cualitativamente significa reducir resolución y calidad de las variables empleadas.

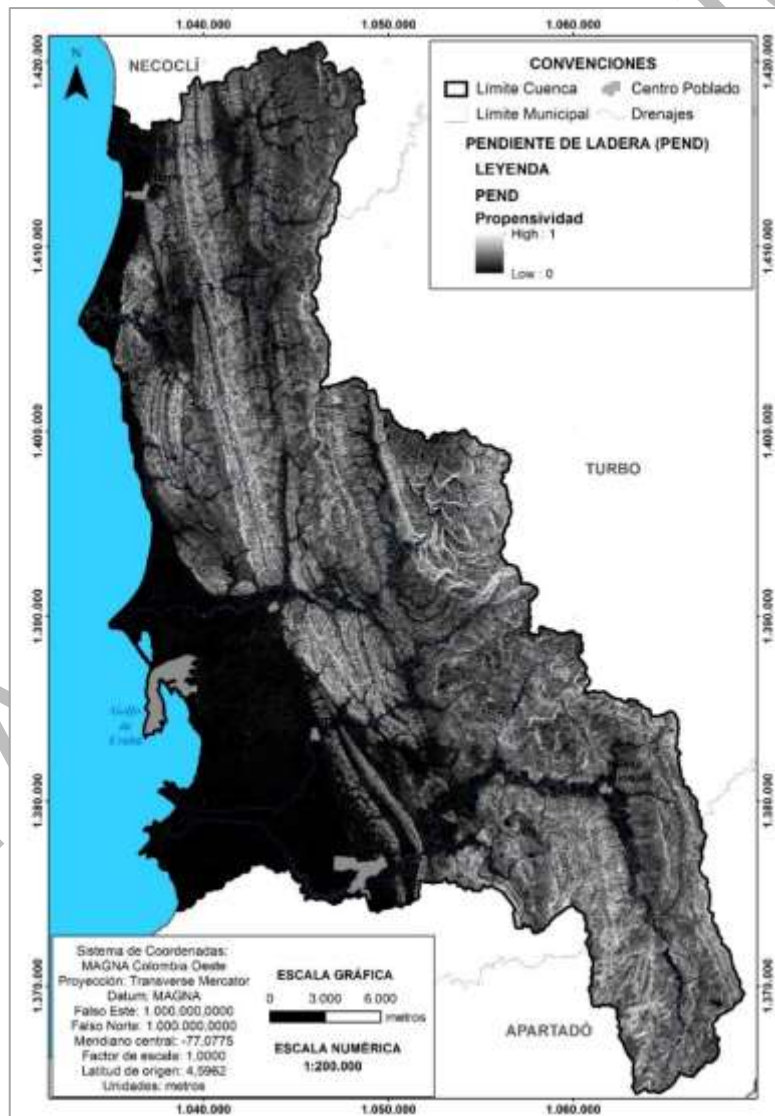


Figura 27. Propensividad a inestabilidad por pendiente de la ladera  
Fuente:Elaboración propia



- Pendiente senoidal de la ladera (PENDS)

Corresponde a la pendiente senoidal de la ladera que tiene un comportamiento relevante con respecto a las zonas de rotura de los deslizamientos superficiales, pues la afectación del aumento de la pendiente es directamente proporcional hasta los 45°, valor a partir del cual empieza a tener un comportamiento inversamente proporcional.

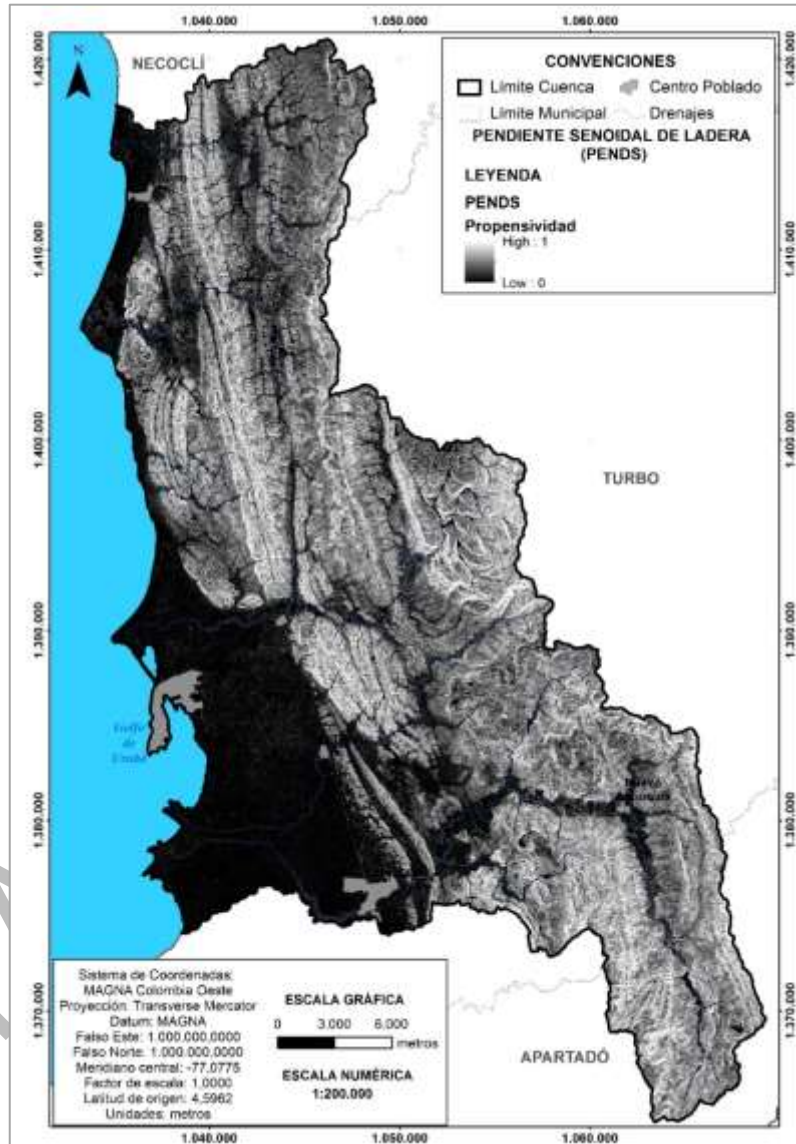


Figura 28. Propensividad a inestabilidad por pendiente senoidal de la ladera  
Fuente: Elaboración propia

Debido a que los valores de Pendiente Senoidal de la Ladera varían de 0 a 1, donde 0 significa que el terreno es más estable y 1 cuando el terreno es más propenso a sufrir un evento de remoción en masa, la calificación para esta variable es equiparable con su valor.



- Rugosidad del terreno o variación de la pendiente del terreno (RUGOS)

Corresponde a la desviación del vector normal a la superficie de cada celda permitiendo definir límites de taludes y laderas. Además, tiene un impacto en los deslizamientos, pues a mayores cambios de pendiente aumenta su probabilidad Figura 29.

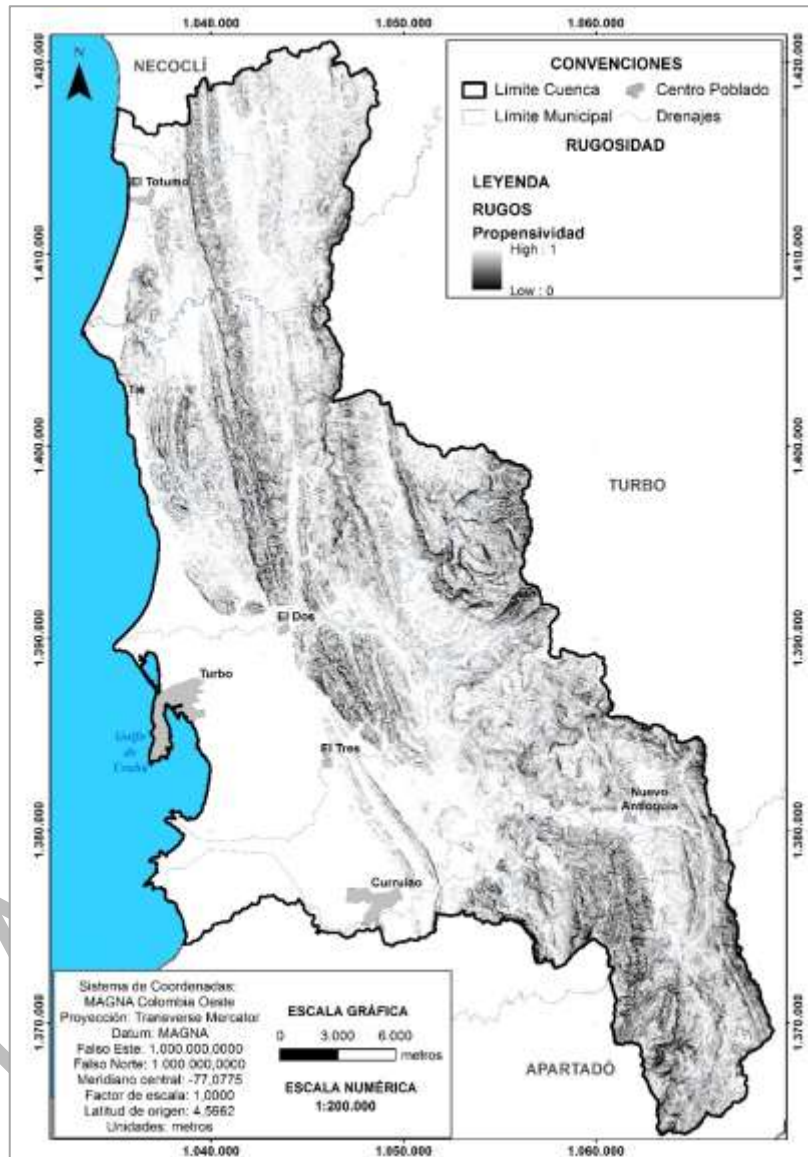


Figura 29. Propensividad a inestabilidad por rugosidad  
Fuente: Elaboración propia

Debido a que los valores de Rugosidad varían de 0 a 1, donde 0 significa que el terreno no presenta rugosidad y 1 representa rugosidad alta, la calificación para esta variable es equiparable con su valor.



- Curvatura del terreno (CURVAR)

Corresponde al grado de curvatura de cada celda a evaluar representando de manera normalizada las zonas cóncavas con valores cercanos a 0, planas cuando el valor se aproxima a 0,5 y convexas con valores cercanos a 1 Figura 30.

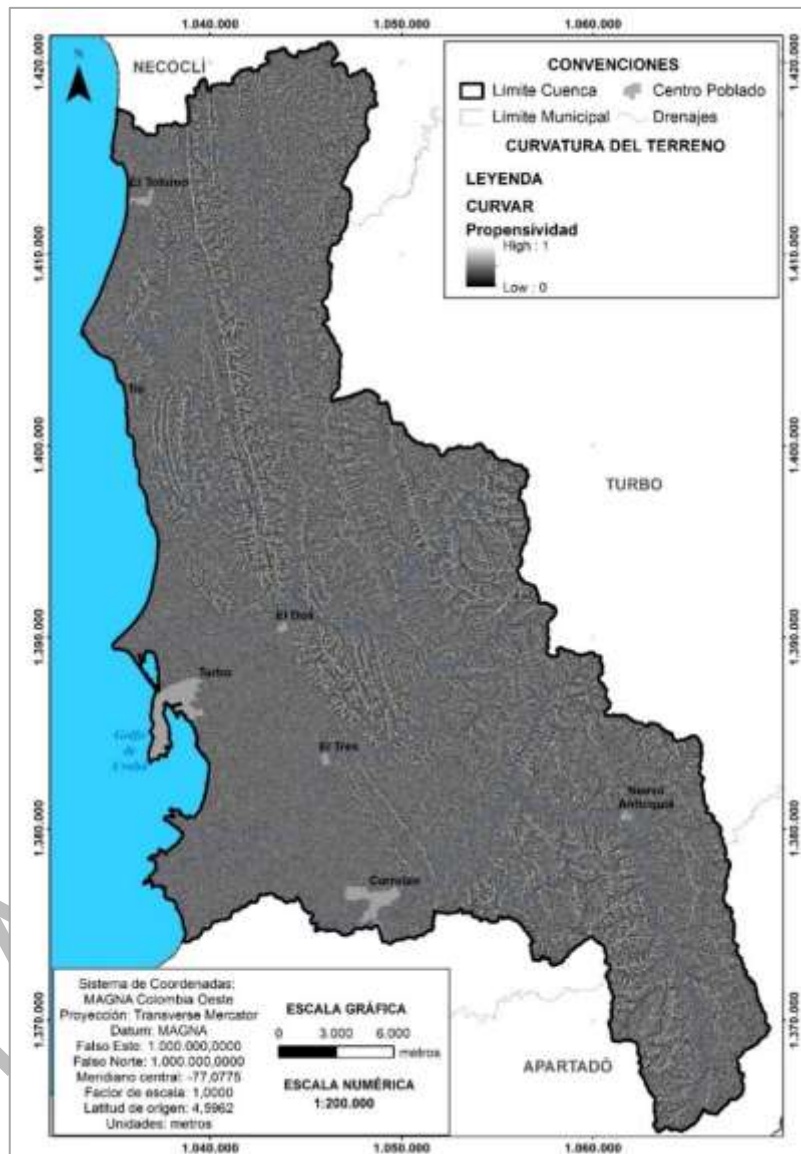


Figura 30. Propensividad a inestabilidad por curvatura del terreno  
Fuente: Elaboración propia

En general las formas convexas son receptoras de aguas subterráneas acumuladas en formas cóncavas y al tiempo contienen mayor volumen de material deslizable, por lo cual valores cercanos a 1 pueden ser más propensos a la ocurrencia de fenómenos de



inestabilidad. En la Tabla 15 se presenta la calificación y categorización de curvatura del terreno respecto al perfil utilizada en el presente estudio.

Tabla 15. Calificación y categorización de curvatura del terreno

CURVATURA	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
<0,3	ALTA	1
-0,3 – 0,3	MODERADA	0,5
>0,3	BAJA	0

Fuente: Modificado: Nuria, 2001

- Curvatura con respecto al perfil (PERFIL)

Hace referencia al grado de curvatura mencionada en la variable CURVAR pero medida únicamente de manera longitudinal a la dirección de la pendiente y tiene una repercusión adicional en la generación de erosión y deposición debido a su impacto en la escorrentía y la aceleración del flujo Figura 31.

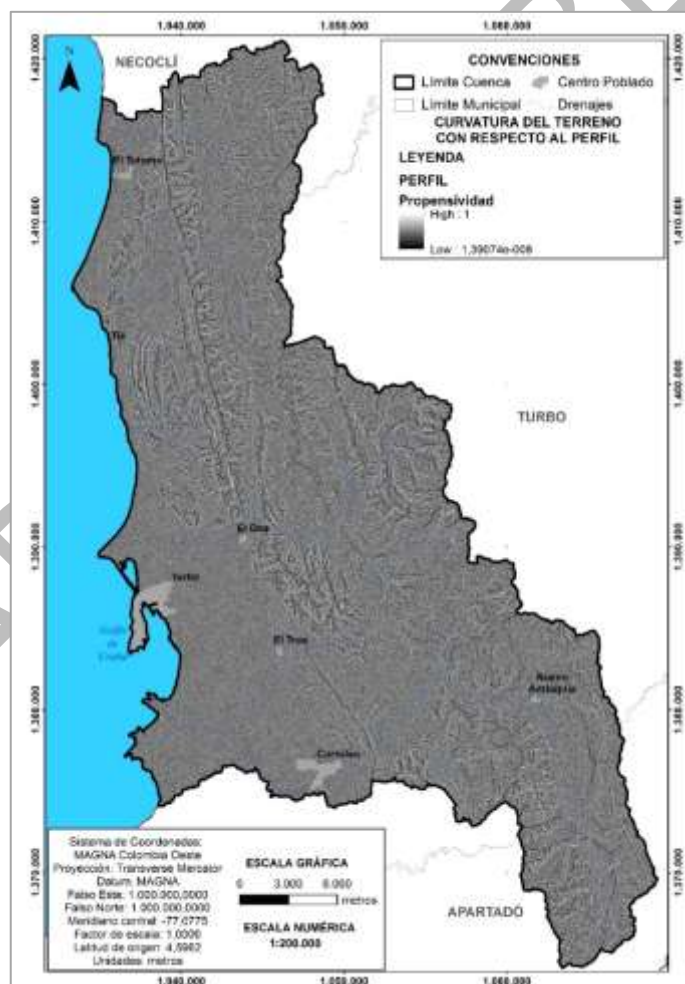


Figura 31. Propensividad a inestabilidad por curvatura del terreno con respecto al perfil  
Fuente: Elaboración propia



En la Tabla 16 se presenta la calificación y categorización de curvatura del terreno respecto al plano horizontal utilizada en el presente estudio.

Tabla 16. Calificación y categorización de curvatura del terreno con respecto al perfil

CURVATURA LONGITUDINAL	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
<-0,3	ALTA	1
-0,3 - 0,3	MODERADA	0,5
>0,3	BAJA	0

Fuente: Modificado: Nuria, 2001

- Curvatura con respecto al plano horizontal (PLANTA)

Hace referencia al grado de curvatura mencionada en la variable CURVAR pero medida en la dirección perpendicular de la pendiente y tiene una repercusión adicional confluencia del flujo superficial y subsuperficial hacia la celda de análisis Figura 31.

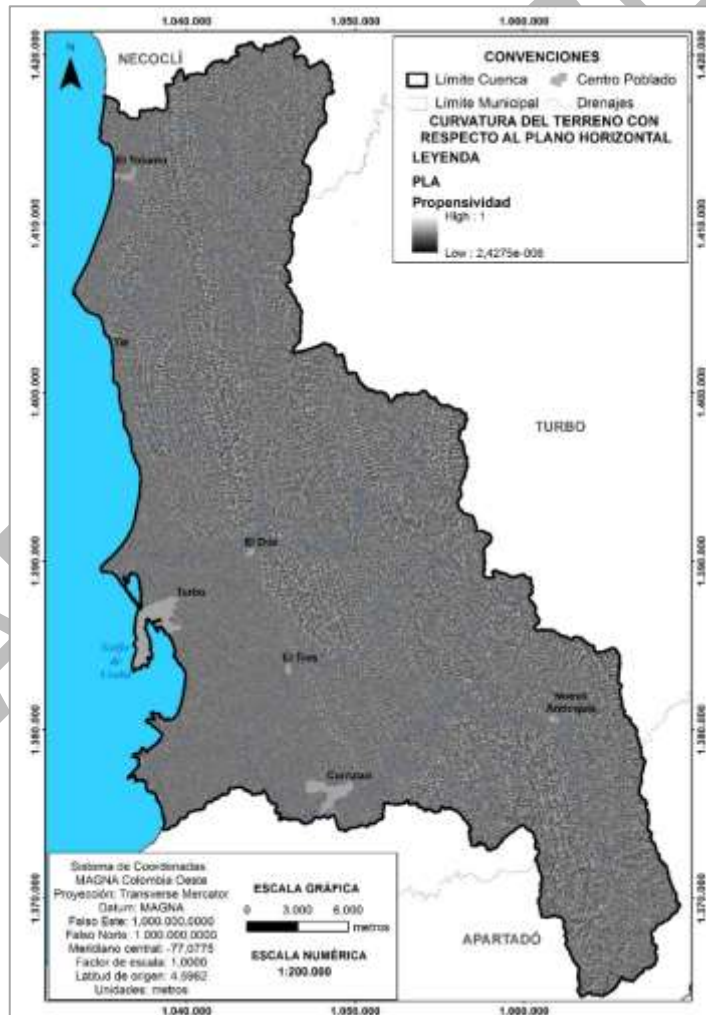


Figura 32. Propensividad a inestabilidad por curvatura del terreno respecto al plano horizontal  
Fuente: Elaboración propia





- Insolación (INSOL)

Corresponde al coeficiente de iluminación o intensidad reflejada de la superficie terrestre indicando el tiempo en que cada punto se encuentra bajo exposición directa al sol o en la sombra, lo que tiene incidencia en la desecación del suelo e incluso efectos en el tipo de vegetación. Los valores de Insolación se presentan normalizados entre 0 y 1 y la definición de su propensividad depende del sector porque zonas escarpadas pueden tener menor desecación pero al mismo tiempo menor retención potencial de agua Figura 33. Esta variable fue calculada con el promedio de 10 rásters que se generaron variando azimut y altitud de la siguiente manera: 5 ráster generados con azimut 315 y variación de altitud 18, 36, 54, 72, 90. Y 5 ráster generados con azimut 135 y variación de altitud 18, 36, 54, 72, 90. Debido a que los valores de insolación varían de 0 a 1, donde 0 significa que el terreno presenta menor retención de humedad y en consecuencia menor susceptibilidad a eventos de movimientos en masa, la calificación para esta variable es equiparable con su valor.

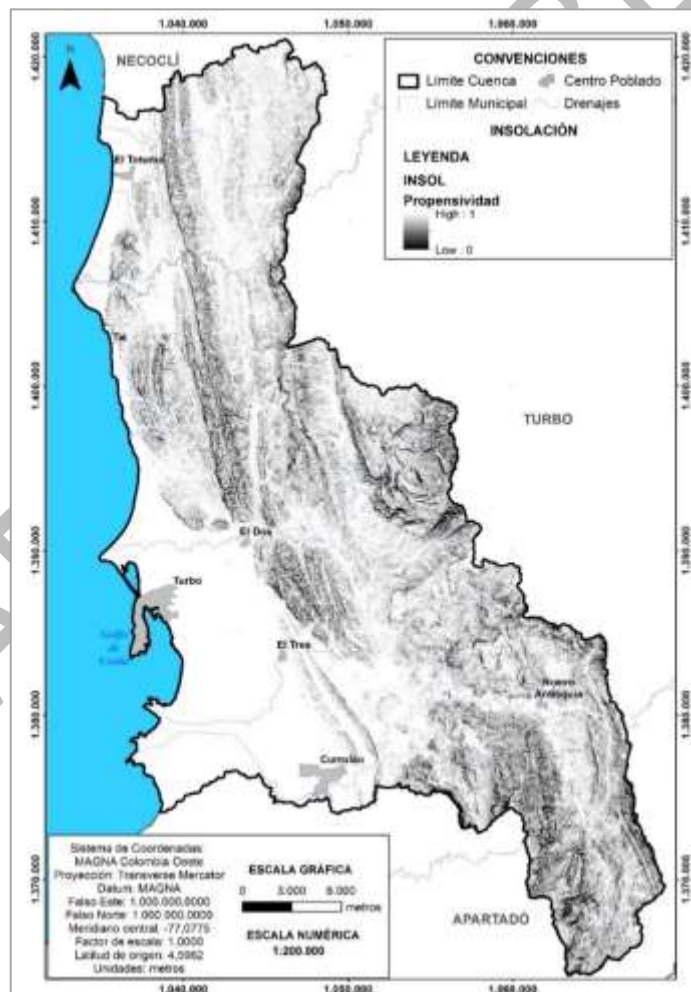


Figura 33. Propensividad a inestabilidad por insolación  
Fuente:Elaboración propia



- Orientación de la ladera (ORIENT)

Hace referencia a la dirección de exposición de la ladera para cada punto de la cuenca a evaluar y se adiciona con el fin de considerar de manera indirecta la variación de humedad por evaporación generada por exposición al sol y al viento y por avance de los frentes nubosos. Su valor se presenta normalizado entre 0 y 1, siendo 1 el área más propensa Figura 34.

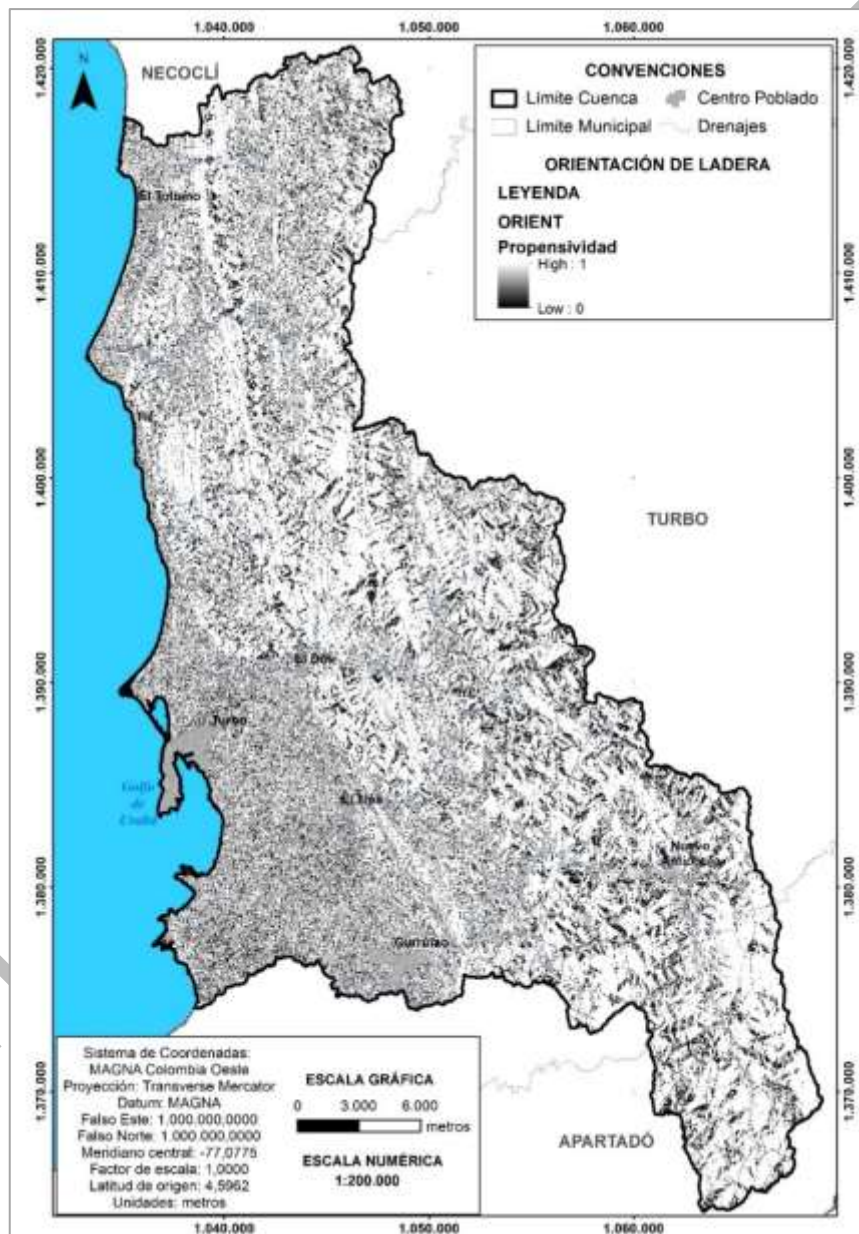


Figura 34. Propensividad a inestabilidad por orientación de la ladera  
Fuente:Elaboración propia



Esta variación de humedad, aunque puede llegar a no ser representativa en función de la orientación de la ladera, puede llegar a relacionarse con las condiciones de saturación de los suelos y cantidad y tipo de vegetación que podría afectar positiva o negativamente la estabilidad dependiendo del sistema radicular y profundidad del mismo. En la Tabla 17 se presenta la calificación y categorización de la orientación de la ladera utilizada para realizar el análisis de la variable en el presente estudio.

Tabla 17. Calificación y categorización de la orientación de la ladera

ORIENTACIÓN DE LADERA	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
-1	Baja	0
0 – 22.5	Alta	1
22.5 – 67.5	Moderada	0,66
67.5 – 112.5	Baja	0,33
112.5 – 157.5	Moderada	0,66
157.5 – 202.5	Alta	1
202.5 – 247.5	Moderada	0,66
247.5 – 292.5	Baja	0,33
292.5 – 337.5	Moderada	0,66
337.5 – 360	Alta	1

Fuente: Modificado: Nuria, 2001

- Acumulación de la cuenca (ACUENCA)

La acumulación de la cuenca se relaciona con la cantidad de agua que es capaz de recoger e infiltrar en el terreno. A mayor superficie acumulada más agua captada para escorrentía e infiltración (ver Figura 35). Se obtiene a partir de la dirección del flujo, el cual permite posteriormente calcular la acumulación por cada celda del DEM. Debido a que sus valores varían entre 0 y 1, donde 1 hace referencia a las zonas de mayor acumulación de agua y 0 las zonas de menor acumulación de agua, la calificación para esta variable es equiparable con su valor.

- Longitud de cuenca acumulada (LONG)

Esta variable da una indicación del tamaño de la cuenca y la longitud acumulada de flujo. Representa la capacidad de la misma para concentrar agua superficial y subterránea y de la posible acumulación de sedimentos o generación de cauces. Se obtiene a partir de la dirección de flujo que permite posteriormente calcular la longitud máxima de la cuenca acumulada para cada celda del DEM Figura 36.



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

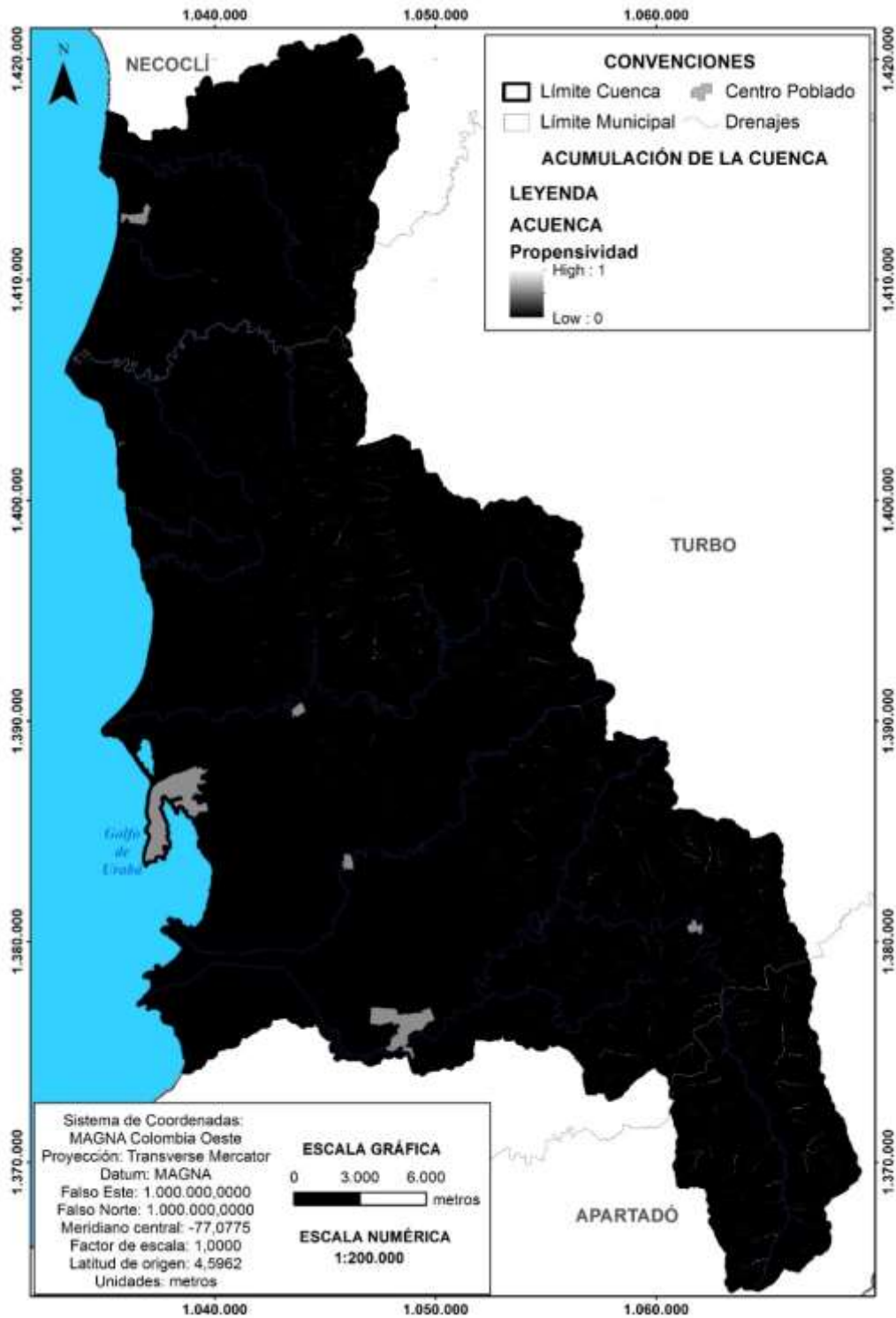


Figura 35. Propensividad a inestabilidad por acumulación de la cuenca  
Fuente:Elaboración propia

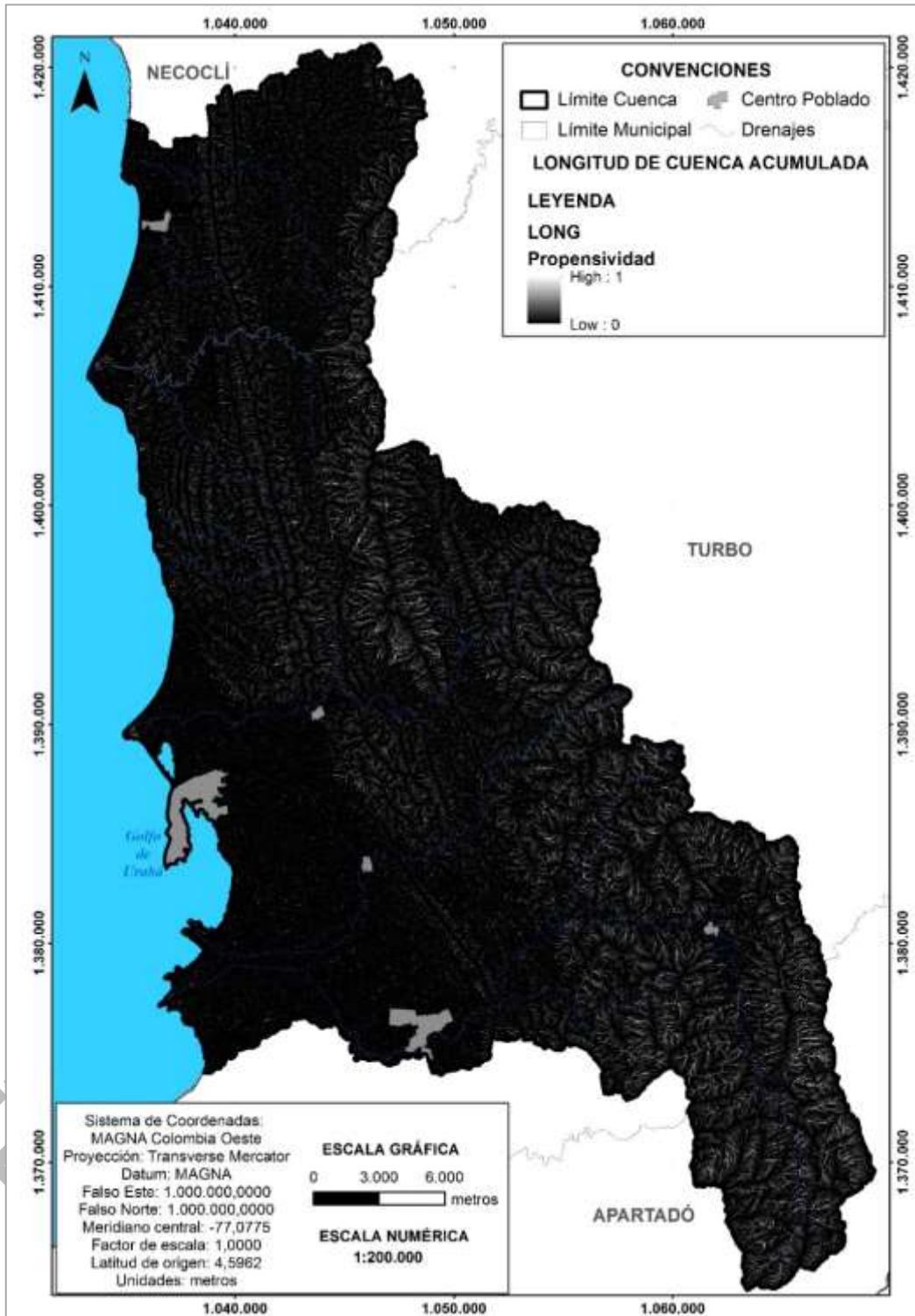


Figura 36. Propensividad a inestabilidad por longitud de cuenca acumulada  
Fuente:Elaboración propia



#### 7.6.1.3.3.1 Análisis de las variables asociadas a las Características Geométricas de la Ladera (CGL)

Para el área de estudio el modelo digital de elevación (DEM) permite ver que la zona comprende altitud entre 3 y 1.107 m. aproximadamente que en su mayoría representan una topografía suaves con dos tendencias principales: hacia la parte externa de la cuenca alturas máximas y en el centro de la cuenca se observa el cambio progresivo de altura hacia el río Turbo en donde se evidencian las cotas mínimas de la cuenca. La zona en su mayoría presenta pendientes de bajo grado con excepción de los límites sureste de la cuenca.

La rugosidad del terreno en general es muy baja, consecuente con la relación de pendientes (valores menores al 0,05) evidenciando que el cambio en altura presenta pendientes en general homogéneas hacia la parte externa de la zona de estudio, sin cambios abruptos de la pendiente en la cuenca. El valor normalizado más alto para la cuenca hidrográfica es de alrededor de 0,3, zonas de elevaciones moderadas y con algún grado de variabilidad en relación con la pendiente.

En la cuenca hidrográfica la topografía, la pendiente y la rugosidad del terreno permiten inferir una baja heterogeneidad del terreno y por lo tanto en general alto grado de propensividad a procesos de remoción en masa hacia el sureste de la cuenca.

La pendiente senoidal de ladera (PENSDS) presenta una distribución espacial muy similar a la pendiente de la cuenca, en general los valores normalizados son moderados (0,51) y propensividad alta en gran parte de la zona. Sin embargo, al noroeste de la cuenca se presentan los menores valores de pendiente y por lo tanto menor propensividad a eventos de remoción en masa.

La curvatura del terreno (CURVAR) para la cuenca hidrográfica presenta en general valores medios generalmente con calificaciones moderadas y bajas a mayor escala lo que implica una alta variabilidad del terreno entre zonas cóncavas, planas y convexas.

La tendencia en la curvatura del perfil (PERFIL) muestra que el terreno tiene principalmente curvaturas cóncavas que conforman zonas homogéneas (áreas de depósito) delimitadas por zonas elevadas donde se localizan las áreas con mayor susceptibilidad a procesos de denudación. La curvatura del plano (PLANTA) es perpendicular a la dirección de la pendiente máxima, se relaciona con la convergencia y divergencia de la corriente por una superficie. En esta zona, la variable presenta valores de clasificación cercanos a 0,8 en toda la cuenca.

Observando los índices de insolación (INSOL) relacionados con los de la orientación de la pendiente (ORIENT) se observa una propensividad alta en la mayoría del terreno, hacia el sector sureste y centro de la cuenca, estas variables aumentan y por lo tanto la susceptibilidad a eventos por remoción en masa aumenta debido a la carencia de una cobertura vegetal que permita mayor estabilidad del terreno.

Se presenta una muy baja capacidad de almacenamiento de agua para la cuenca, los valores normalizados de acumulación de la cuenca (ACUENCA) tienden en su gran mayoría a cero. La propensividad de esta variable disminuye al no tener una alta



acumulación de agua hacia los sectores más altos, su baja pendiente hace que sea estable y disminuya la probabilidad de presentarse movimientos en masa.

#### 7.6.1.3.4 Variables con relación de proximidad (VRP)

La relación de proximidad emplea el cálculo de la distancia de cada celda de análisis a los elementos sobre los cuales se considera una influencia sobre los procesos de inestabilidad geotécnica. Típicamente se define para cada punto inestable y estable la distancia directa a cada uno de los elementos analizados (p.e. vías, canteras, ríos) y se normaliza en función de las máximas distancias encontradas.

Este tipo de consideración hace perder sensibilidad al análisis pues distancias muy largas evidentemente no reflejan influencia del elemento de análisis sobre el proceso de inestabilidad que se esté consultando. Por tal motivo se define para este estudio una distancia límite de influencia estimada a partir de la relación que existe entre un punto inestable y la influencia lineal de la variable de proximidad en su estabilidad. Este límite se define bajo criterios morfométricos y según los rasgos característicos de los puntos inestables observados para reducir drásticamente los valores extremos y aumentar significativamente la sensibilidad hacia este tipo de variables, las cuales se encuentran representadas en la Figura 37.

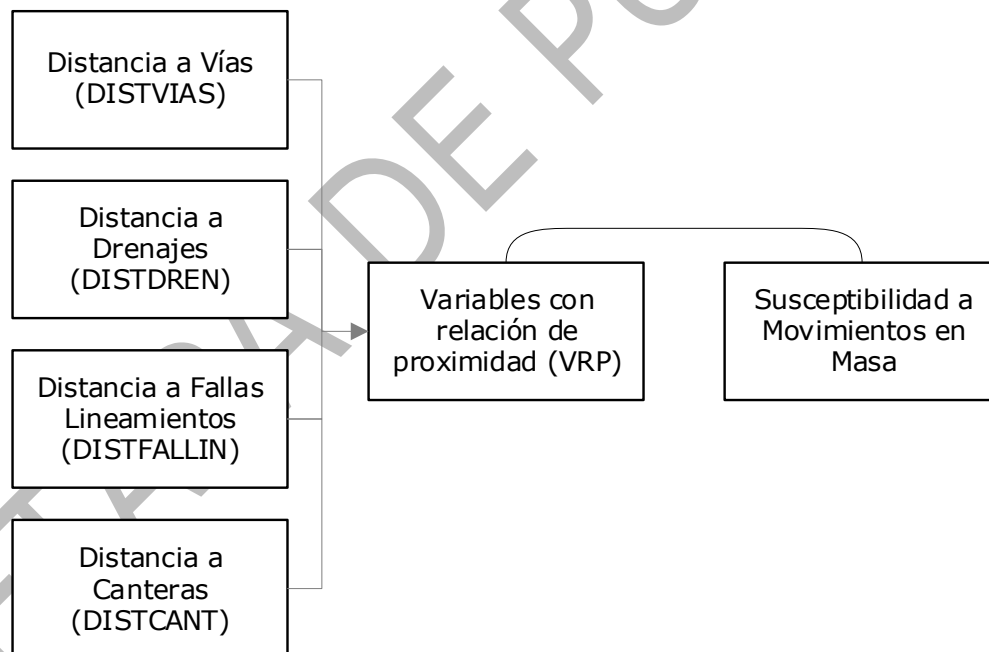


Figura 37. Factores condicionantes derivados de las variables con relación de proximidad  
Fuente: Elaboración propia

- Densidad de drenaje y distancia a drenajes (DISTDREN)

Estas variables hacen referencia a la presencia del sistema de la red de drenaje, la cual se relaciona con el gradiente promedio y áreas de drenaje de las corrientes y cuya presencia favorece la ocurrencia de movimientos en masa por efecto de la socavación



lateral en los márgenes laterales. Se puede definir espacialmente como densidad de drenaje o como influencia por proximidad, siendo la primera importante para el efecto del tiempo de concentración de caudales y generación de avenidas torrenciales y el segundo importante para considerar el efecto de socavación en la generación de deslizamientos en los márgenes de los cuerpos de agua Figura 38.

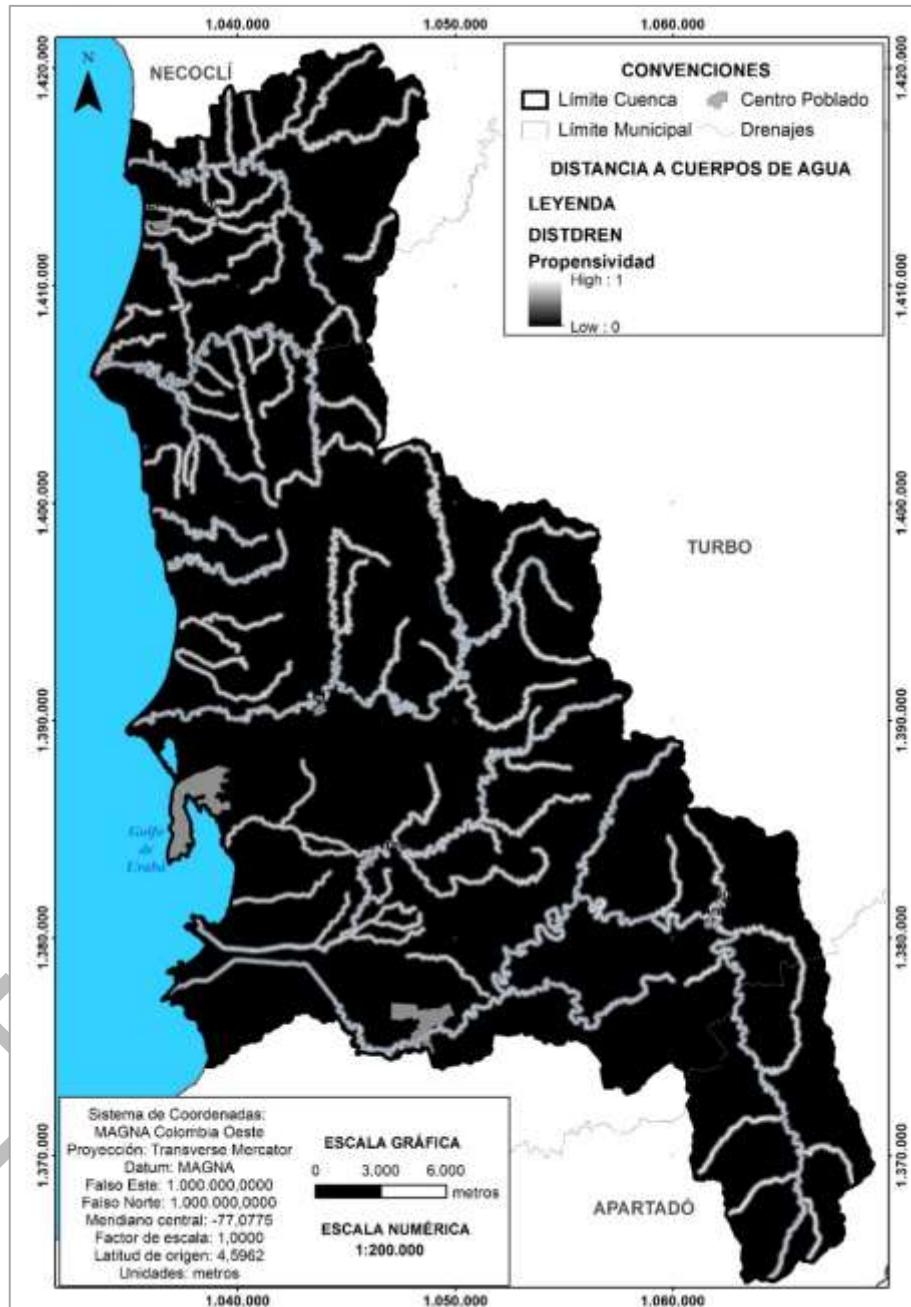


Figura 38. Propensividad a inestabilidad por proximidad de la distancia a drenajes  
Fuente:Elaboración propia





Para el presente análisis no se consideró la densidad de drenaje por ser mutuamente dependiente con la distancia a drenajes sin limitación de proximidad. La variable se presenta como la relación de proximidad con valores normalizados entre 0 y 1, siendo 1 un valor propenso a la inestabilidad. En la Tabla 18 se presenta la calificación y categorización de la distancia a cuerpos de agua utilizada para el presente estudio

Tabla 18. Calificación y categorización de la distancia a cuerpos de agua

DISTANCIA A CUERPOS DE AGUA (m)	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
0 - 10	ALTA	1
10 - 20	ALTA	0,9
20 - 30	ALTA	0,8
30 - 40	ALTA	0,7
40 - 50	MODERADA	0,6
50 - 60	MODERADA	0,5
60 - 70	MODERADA	0,4
70 - 80	BAJA	0,3
80 - 90	BAJA	0,2
100	BAJA	0,1

Fuente: Elaboración propia

- Distancia a vías (DISTVIAS)

Corresponde a zonas en las que principalmente la acción antrópica ha dejado en evidencia taludes asociados a cortes viales en donde se pueden presentar condiciones de inestabilidad. La variable se presenta como la relación de proximidad con valores normalizados entre 0 y 1, siendo 1 un valor propenso a la inestabilidad. Esta variable se puede involucrar mediante la obtención de la densidad vial de acuerdo con la influencia que esta presenta para cada pixel o la distancia a la misma generando mayor susceptibilidad a medida que se va aproximando al trazado vial Figura 39. En la Tabla 19 se presenta la calificación y categorización de la distancia a vías utilizada en el presente estudio.

Tabla 19. Calificación y categorización de la distancia a vías

DISTANCIA A VÍAS (m)	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
0 - 10	Alta	1
10 - 20	Alta	0,9
20 - 30	Alta	0,8
30 - 40	Alta	0,7
40 - 50	Moderada	0,6
50 - 60	Moderada	0,5
60 - 70	Moderada	0,4
70 - 80	Baja	0,3
80 - 90	Baja	0,2
100	Baja	0,1

Fuente: Elaboración propia



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

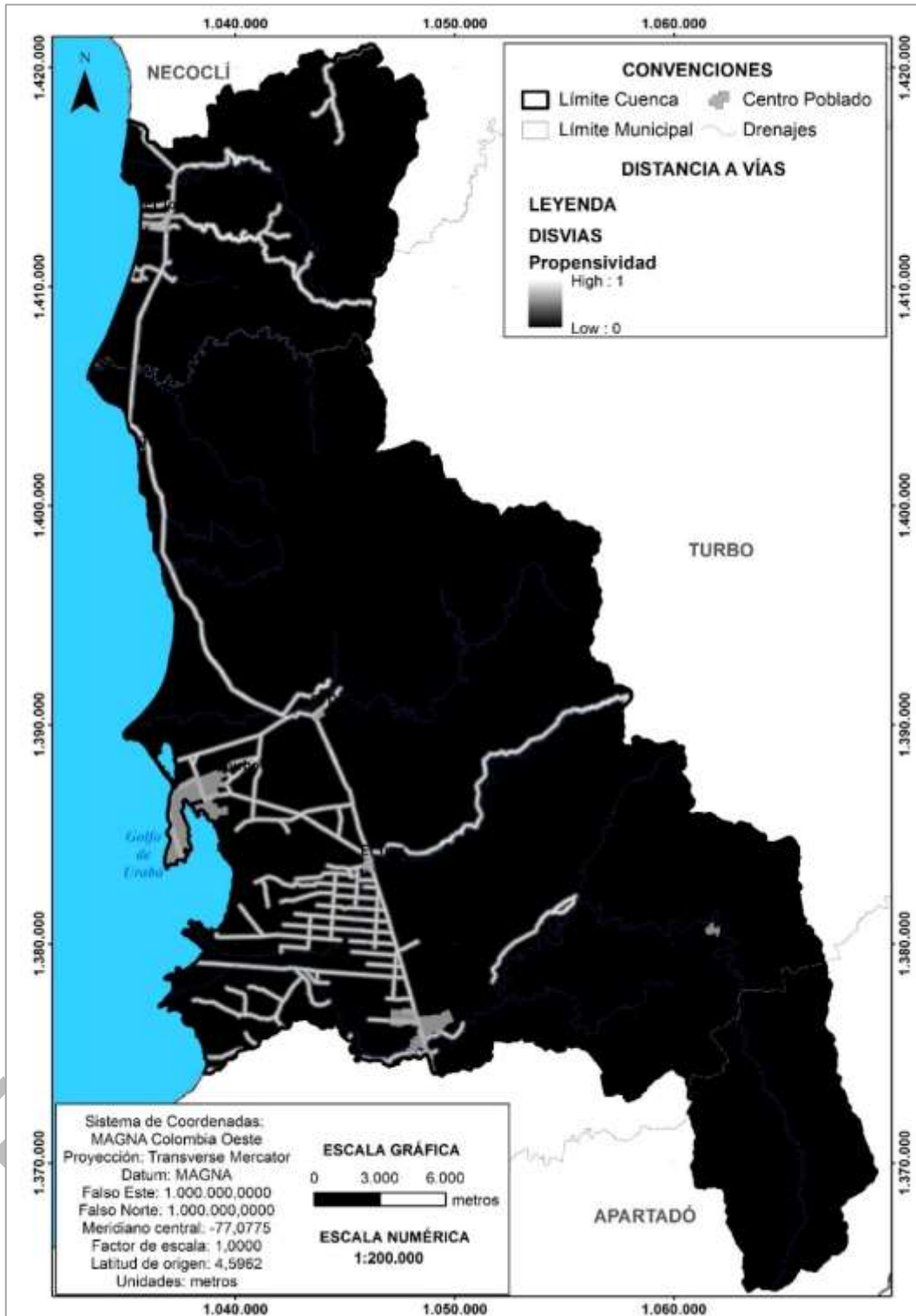


Figura 39. Distancia euclidiana desde cada punto del terreno hasta la vía mas cercana  
Fuente: Elaboración propia



- Densidad de fracturamiento y distancia fallas y lineamientos (DISTFALL)

La densidad de fracturamiento (Figura 40) depende fundamentalmente de la relación de proximidad a la falla o lineamiento según su método de obtención. Esta variable corresponde a las discontinuidades estructurales regionales de los macizos y estratos rocosos que disminuyen la resistencia de estos, aumentando la propensividad a la ocurrencia de movimientos en masa. En consecuencia, entre más proximidad exista a la falla, menor será la capacidad de resistencia de la roca a los procesos denudacionales, presentándose mayores espesores de suelos residuales con menores grados de consolidación y reducción de sus propiedades mecánicas (Figura 40).

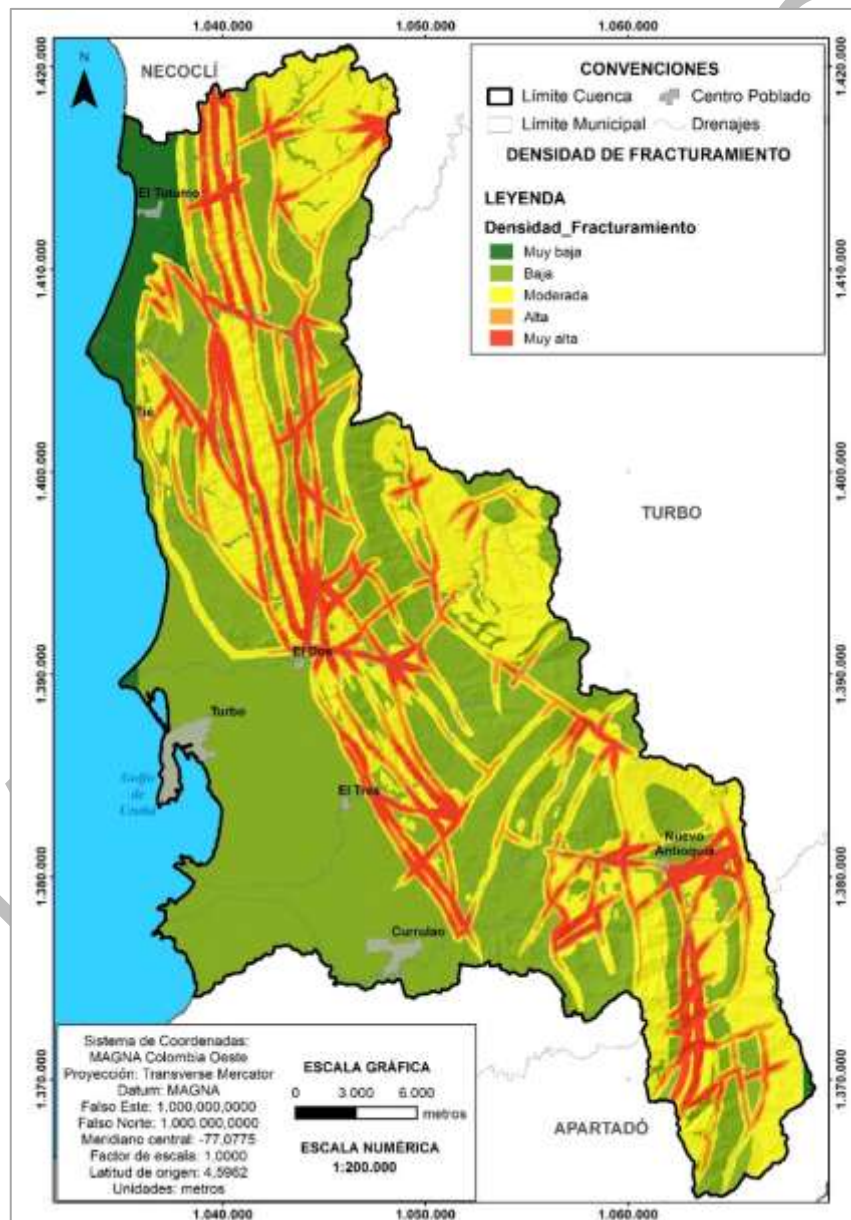


Figura 40. Densidad de fracturamiento. Fuente:Elaboración propia



La presencia de fallas locales (Figura 41) puede relacionarse con dos aspectos directos a la inestabilidad de laderas: sismicidad local como factor detonante y degradación de los materiales como factor condicionante. Al estar la cuenca cercana al sistema de fallas de Romeral se considera que la actividad de fallas locales se opaca considerablemente por la sismicidad regional, por lo cual no es conveniente relacionar movimientos en masa a los que se les desconoce su localización temporal detallada con la sismicidad local de fallas a las que no se les ha estudiado en detalle cuantitativo sus actividad. Por lo anterior, el análisis se enfocó en la posibilidad de degradación de las propiedades mecánicas de los materiales de roca y suelo en proximidad a las fallas. La variable se presenta como la relación de proximidad con valores normalizados entre 0 y 1, siendo 1 un valor propenso a la inestabilidad.

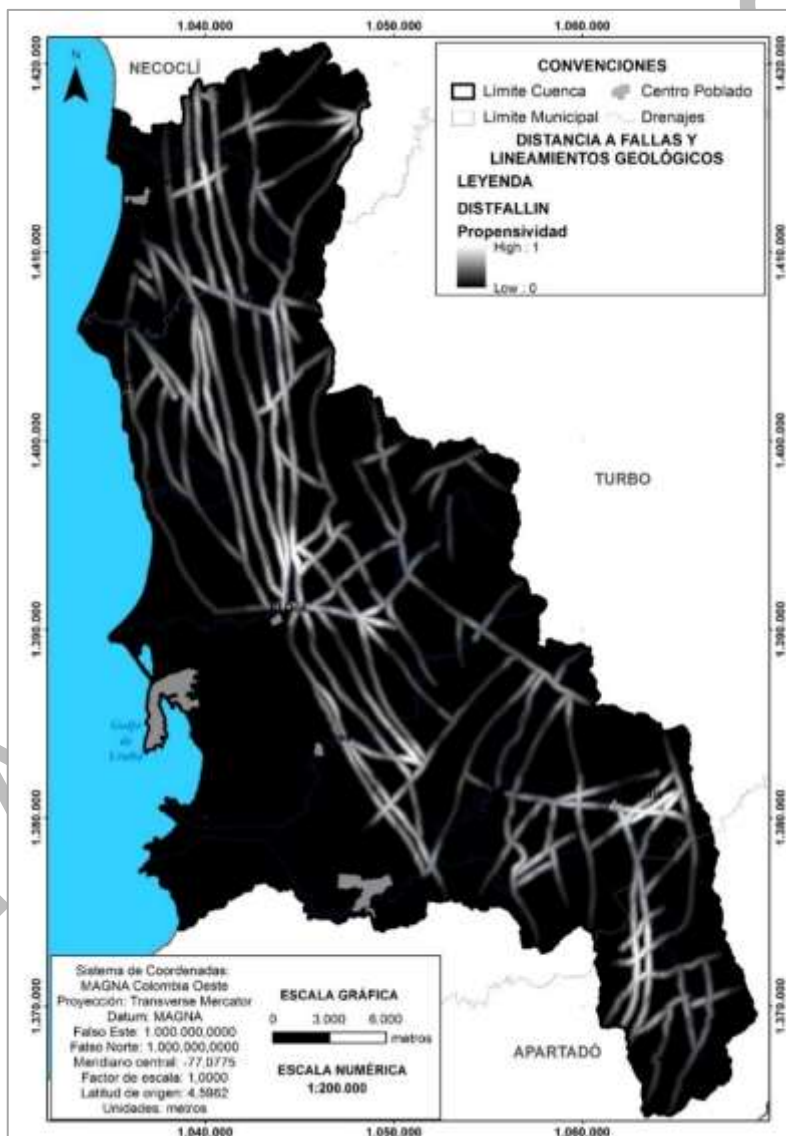


Figura 41. Propensividad a inestabilidad por proximidad de la distancia a fallas y lineamientos fotogeológicos

Fuente: Elaboración propia



- Distancia a Canteras (DISCANT)

Esta variable hace referencia a la presencia intervención antrópica en la explotación de canteras que por su ejecución puede provocar desestabilidad de taludes por cortes en la ladera, movimientos de tierra y ausencia de vegetación generando aumento en la susceptibilidad por movimientos en masa Figura 42.

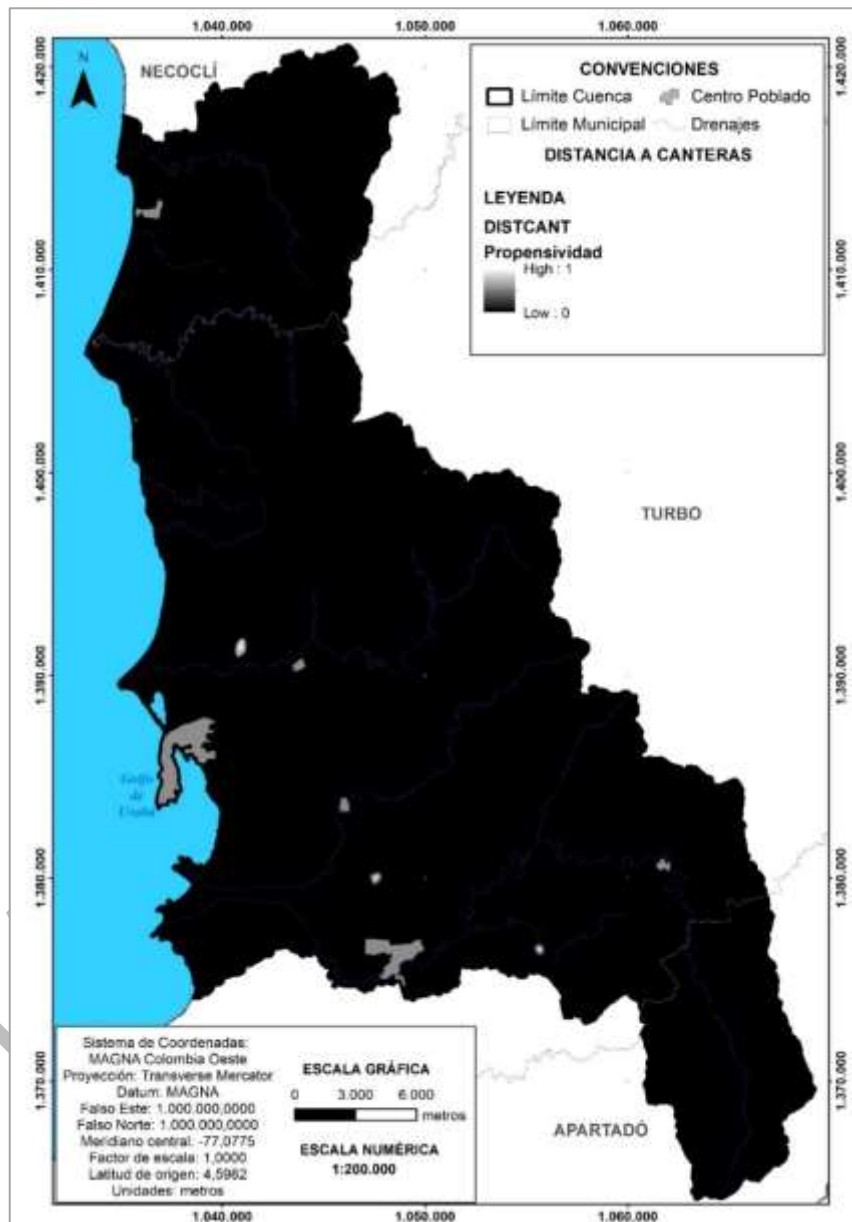


Figura 42. Propensividad a inestabilidad por proximidad de la distancia a canteras  
Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 20 se presenta la calificación y categorización de la distancia a canteras utilizada para el presente estudio.



Tabla 20. Calificación y categorización de la distancia a canteras

DISTANCIA A CANTERAS (m)	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
0 – 10	Alta	1
10 – 20	Alta	0,9
20 – 30	Alta	0,8
30 – 40	Alta	0,7
40 – 50	Moderada	0,6
50 – 60	Moderada	0,5
60 – 70	Moderada	0,4
70 – 80	Baja	0,3
80 – 90	Baja	0,2
100	Baja	0,1

Fuente: Elaboración propia

#### 7.6.1.3.4.1 Análisis de las variables asociadas a la relación de proximidad (VRP)

Dentro de los factores condicionantes que aumentan o disminuyen la susceptibilidad a movimientos en masa son las variables con relación de proximidad. Estas constituyen uno de los elementos determinantes en la ocurrencia de este tipo de eventos ya que entre menor distancia se tenga con uno de estos elementos condicionantes como drenajes, vías, fallas o canteras, se correlaciona un aumento en las pendientes, mayor erosión y dinámicas constantes que dan forma al relieve a través de procesos morfodinámicos como socavación lateral, erosión y movimientos en masa.

La distancia a vías y canteras es uno de los condicionantes más fuertes para aumentar o disminuir la susceptibilidad de una zona a eventos de movimientos en masa pues son factores antrópicos que propician la desestabilización de taludes por corte, remoción de material y ausencia de vegetación. A partir de esto se determinó un patrón de distribución espacial de zonas gradualmente más susceptibles que otras, condicionadas por la proximidad a las cabeceras municipales, donde es común encontrarse una densidad vial mayor, lo cual es observable primordialmente en el sector occidental de la cuenca. A su vez, el sector que presenta mayor propensividad a movimientos en masa por su proximidad a vías, corresponde a los municipios de Turbo, Necoclí, Apartadó y sus conexiones a la ciudad de Medellín.

#### 7.6.1.3.5 Variables categóricas

La susceptibilidad a movimientos en masa depende también de variables categóricas como geología, geomorfología y coberturas de la tierra. La composición litológica de la roca se traduce en una mayor o menor competencia o resistencia de la misma, el ambiente de formación (estructural o denudacional) en que ésta se encuentre formando redundancia en la influencia diferenciada de procesos de meteorización y la cobertura de la tierra sugiere degradación o conservación de los suelos superficiales y mayores o menores infiltraciones de agua. La combinación de estos factores aporta considerablemente a la ocurrencia de movimientos en masa, teniendo en cuenta siempre la variación del terreno, los ambientes morfogenéticos y el grado de humedad e infiltración en la zona que puede afectar la resistencia del material Figura 43.

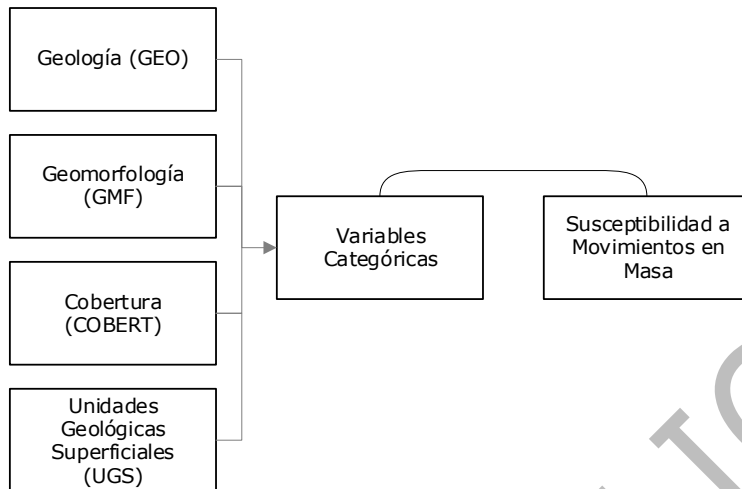


Figura 43. Factores condicionantes derivados de las variables categóricas  
Fuente: Elaboración propia

- Origen o unidades geológicas básicas (GEO)

La variación de las características litológicas y estructurales del área de estudio influyen en el proceso de generación de movimientos en masa ya que llevan a diferencias en la resistencia y permeabilidad de las rocas y suelos. Típicamente se plantea como variable ORIGEN haciendo referencia al origen y composición litológica en la zona de estudio desde el punto de vista del comportamiento mecánico de los materiales de superficie. Su planteamiento para un modelo de análisis discriminante en función de las unidades geológicas superficiales al tiempo con la definición del tipo de material denominado UGS en las variables, redundaría en la creación de factores altamente correlacionados espacialmente.

Para evitar esta dependencia entre variables y considerando que la variación de las características litológicas y estructurales del área de estudio influyen en el proceso de generación de movimientos en masa dadas las diferencias en la resistencia y permeabilidad de las unidades geológicas básicas, se define el origen de los materiales en función de la geología básica y se clasifican por propensividad de manera normalizada (0 para baja a 1 para alta). En la Tabla 21 se presenta la clasificación y los pesos asignados a cada una de las clases de acuerdo a sus características (calificación de la propensividad).

Tabla 21. Propensividad a inestabilidad según origen o del tipo de unidad geológica

Unidad Geológica Básica	Nomenclatura	Calif
Depósitos aluviales	Qal	0,4
Depósitos aluvio-coluviales	Qac	0,7
Depósitos aluvio - coluviales	Qac	0,7
Depósitos Coluviales	Qco	0,9
Depositos de cauce aluvial	Qca	0,2
Depósitos de diapirismo de lodo	Qd	0,6
Depósitos marinos	Qm	0,3
Depósitos marinos orgánicos	Qmo	0,3
Formación Arenas Monas	Ngam	0,4
Unidad Pavo inferior 1	Ngpi1	0,5



**FASE DE DIAGNÓSTICO**  
**PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO**

Unidad Geológica Básica	Nomenclatura	Calif
Unidad Pavo inferior 2	Ngpi2	0,4
Unidad Pavo inferior 3	Ngpi3	0,4
Unidad Pavo superior 1	Ngps1	0,4
Unidad Pavo superior 2	Ngps2	0,5
Unidad Pavo superior 3	Ngps3	0,4
Unidad Pavo superior 4	Ngps4	0,5

Fuente: Elaboración propia

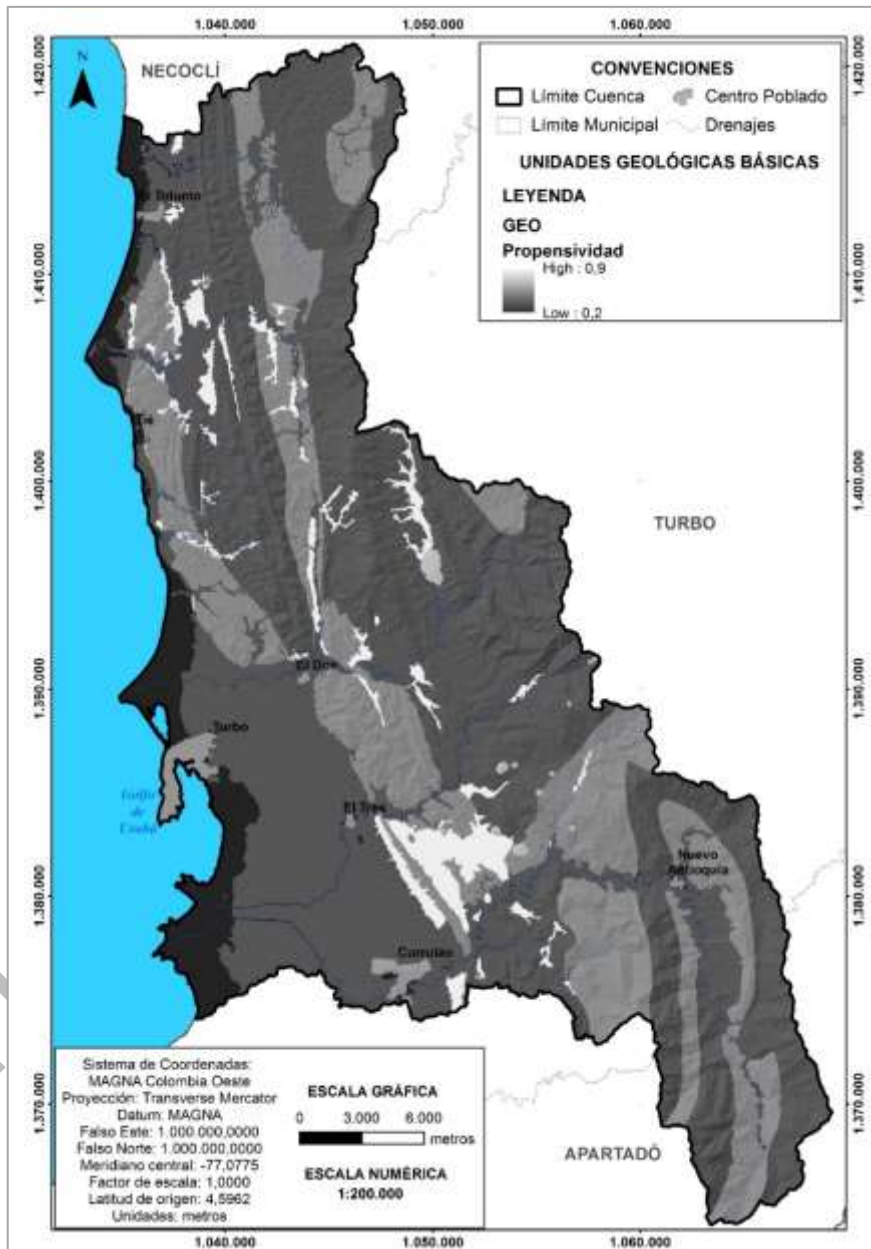


Figura 44. Propensividad por origen o del tipo de unidad geológica  
 Fuente: Elaboración propia





- Subunidades geomorfológicas (GMF)

Corresponde a la calificación de la susceptibilidad de cada subunidad geomorfológica teniendo en cuenta el proceso de formación de la misma y su implicación en la inestabilidad. Cada subunidad se identifica según el material del depósito, morfogénesis, pendientes, contrastes morfológicos (rugosidad, curvatura, etc.) y cronología cronología (SGC -Servicio Geológico Colombiano, 2012). En la Tabla 22 se presenta la clasificación y los pesos asignados a cada una de las clases de acuerdo a sus características (calificación de la propensividad).

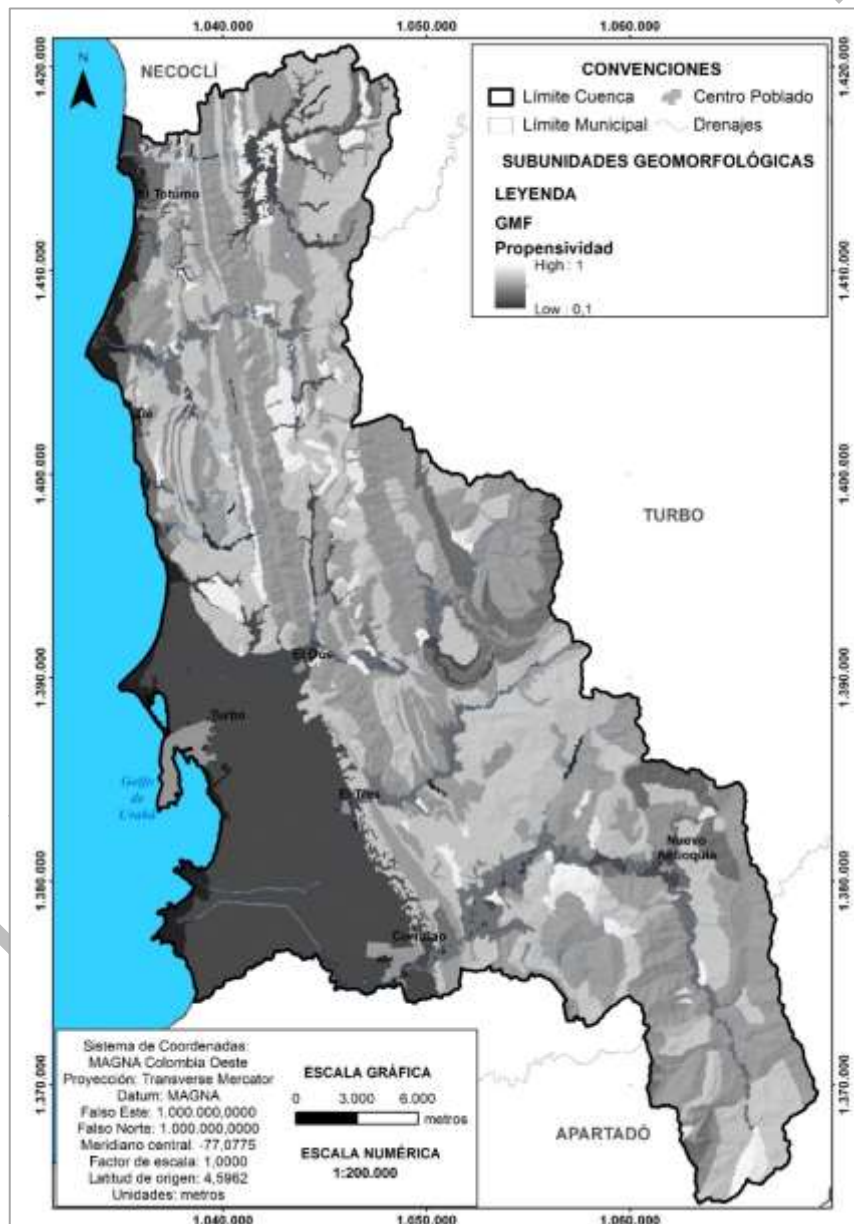


Figura 45. Propensividad por tipo de unidad geomorfología  
Fuente: Elaboración propia



Tabla 22. Propensividad a inestabilidad según tipo de subunidad geomorfológica

Nomenclatura	Subunidad Geomorfológica	Calif
Ac	Canteras	0,9
Aca	Canal Artificial	0,5
Apu	Áreas Pobladas Urbanas	0,2
Dco	Cono y lóbulo Coluvial y de Solifluxión	1
Dcr	Colina Residual	0,7
Dcrem	Cerro Remanente o Relicto	0,6
Dcrs	Cerros Residuales	0,7
Deem	Escarpe de Erosión Mayor	0,6
Deeme	Escarpe de Erosión Menor	0,5
Dga	Glasis de Acumulación	0,5
Dge	Glasis de Erosión	0,6
Dlcr	Ladera Cóncava de Retroceso	0,6
Dld	Loma Denuada	0,6
	Lomo Denuado Moderado de Longitud	
Dldemm	Media	0,5
Dle	Ladera Erosiva	0,6
Dlo	Ladera Ondulada	0,6
Dlor	Loma Residual	0,5
Dlres	Lomo Residual	0,6
Dmo	Montículo y Ondulaciones Denuadacionales	0,6
Dsa	Superficie de Erosión o Aplanamiento	0,5
Dsd	Sierra Denuada	0,7
Fa	Albardón o Dique Natural	0,3
Faa	Abanico Fluvial	0,4
Fat	Abanico Terraza	0,3
Fbl	Barra Longitudinal	0,1
Fca	Cauce Aluvial	0,3
Flg	Laguna	0,3
Fma	Meandro Abandonado	0,1
Fpac	Plano Aluvial Confinado	0,2
Fpi	Llanuras Inundación	0,3
Fta	Terrazas Fluviales	0,4
Fta1	Terrazas fluviales Nivel 1	0,4
Fta2	Terrazas fluviales Nivel 2	0,4
Fta3	Terrazas fluviales Nivel 3	0,3
Ftan	Terrazas fluviales antigua	0,3
Ftas	Terrazas fluviales subreciente	0,4
Mbe	Espigas	0,3
Mbl	Barras Litorales	0,2
Mcc	Complejo de Crestas y Artesas de Playa	0,3
Mci	Canales Intermareales	0,2
Mcpy	Complejo de Crestas y Artesas de Playa	0,3
Mdf	Delta de Flujo de Marea	0,2
Mdr	Delta de Reflujo de Marea	0,2
Mlc	Laguna Costera	0,2
Mlli	Llanura Intermareal	0,3



Nomenclatura	Subunidad Geomorfológica	Calif
Mpi	Llanuras Inundación	0,2
Mpl	Playas	0,2
Mpv	Planos y Llanuras con Vegetación Halófila	0,2
Mtm	Terraza Marina	0,2
Sbf	Terraza o Berma de Fallamiento	0,5
Sbh	Barra Homoclinal	0,6
Sc	Cuestas	0,4
Sclc	Ladera de contrapendiente de cuesta	0,5
Scle	Ladera estructural de cuesta	0,6
Se	Espinazos	0,6
Selc	Ladera de contrapendiente de espinazo	0,6
Sele	Ladera estructural de espinazo	0,5
Slcp	Ladera de Contrapendiente	0,6
Sle	Ladera Estructural	0,5
Sles	Ladera Erosiva	0,7
Slf	Lomo de Falla	0,5
Sp	Planchas Estructurales	0,5
Ssan	Sierras anticlinales	0,5
Ssh	Sierras Homoclinales	0,6
Sshlc	Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal	0,5
Sshle	Ladera estructural de sierra homoclinal	0,5
Sss	Sierra Sinclinal	0,5
Ssslc	Ladera de contrapendiente sierra sinclinal	0,5
Sssle	Ladera estructural de sierra sinclinal	0,4
Svl	Volcán de Lodo	0,6

Fuente: Elaboración propia

- Vegetación y tipo de cobertura (COBERT)

El tipo de cobertura vegetal y el uso del suelo influyen en la estabilidad del terreno porque definen la capacidad de infiltración en el suelo y la humedad del mismo, mientras que puede provocar un aumento de resistencia por la presencia de raíces y protección frente a la erosión. Cada cobertura y uso del suelo genera propensividad diferente a la inestabilidad. En la Tabla 23 se presenta la clasificación y los pesos asignados a cada una de las clases de acuerdo a sus características (calificación de la propensividad).

Tabla 23. Propensividad a inestabilidad según tipo de cobertura vegetal

N3_COBERT	NOMENCLAT	Calif
<Null>	99	0
Tejido urbano continuo	1112	0,2
Tejido urbano discontinuo	1122	0,3
Construcciones rurales	1131	0,3
Construcciones rurales	1132	0,3
Zonas industriales o comerciales	1211	0
Zonas industriales o comerciales	1212	0



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

N3_COBERT	NOMENCLAT	Calif
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	12212	0,5
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	122111	0,5
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	122112	0,5
Zonas portuarias	1232	0,4
Aeropuertos	1241	0,3
Zonas de extracción minera	1315	0,8
Zonas de disposición de residuos	1324	0,6
Instalaciones recreativas	1422	0,3
Instalaciones recreativas	1423	0,3
Otros cultivos transitorios	211	0,6
Cultivos permanentes herbáceos	2213	0,5
Cultivos permanentes arbustivos	2221	0,8
Cultivos permanentes arbóreos	2231	0,6
Pastos limpios	231	0,6
Pastos arbolados	232	0,5
Pastos enmalezados	233	0,3
Mosaico de cultivos	241	0,7
Mosaico de pastos y cultivos	242	0,5
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	243	0,5
Mosaico de pastos con espacios naturales	244	0,7
Mosaico de cultivos y espacios naturales	245	0,6
Bosque abierto	3121	0,6
Bosque de galería y/o ripario	3142	0,5
Bosque de galería y/o ripario	3143	0,5
Bosque de galería y/o ripario	3144	0,5
Plantación forestal	3152	0,5
Plantación forestal	3153	0,5
Herbazal	3211	0,4
Vegetación secundaria o en transición	3231	0,5
Vegetación secundaria o en transición	3232	0,5
Zonas arenosas naturales	3311	0,6
Zonas arenosas naturales	3312	0,5
Tierras desnudas y degradadas	3332	0,9
Zonas pantanosas	411	0,3
Pantanos costeros	421	0,2
Ríos (50 m)	511	0,2
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	512	0,3
Canales	513	0,3
Lagunas costeras	521	0,4
Estanques para acuicultura marina	523	0,3

Fuente: Elaboración propia



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

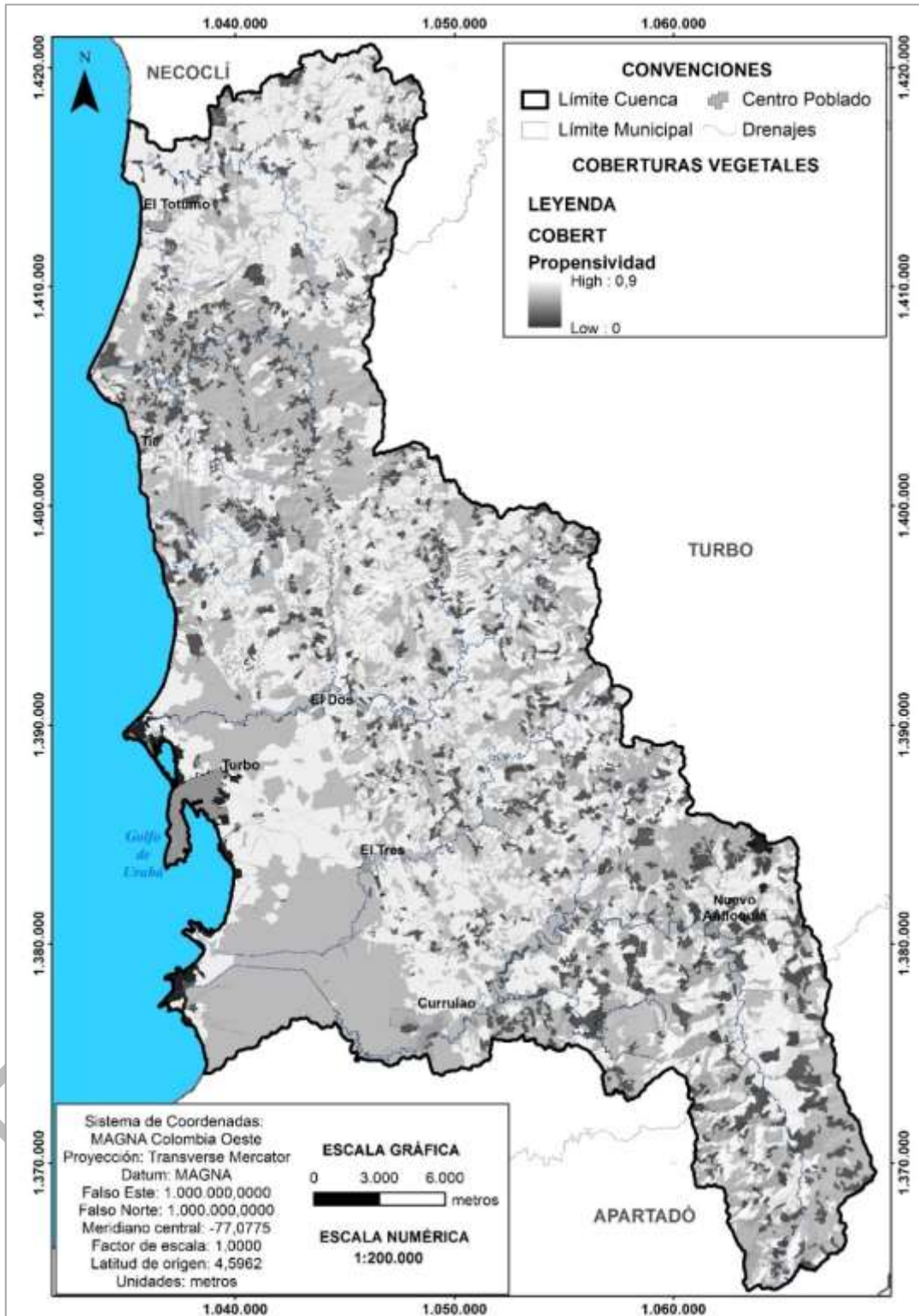


Figura 46. Propensividad por tipo de cobertura  
Fuente: Elaboración propia



- Presencia y espesor de depósitos o Unidad Geológica Superficial (UGS)

La variación del tipo de material del área de estudio influye en la generación de movimientos en masa ya que la inestabilidad de las laderas depende de sus propiedades geomecánicas. La información de UGS define la presencia o ausencia y profundidad de un depósito de suelo, típicamente se define como variable continua ESPESOR según la profundidad y variable binaria ROC-SUE con valores 1 para celdas sin depósito y 2 para celdas donde existe depósito. Los mapas de unidades geológicas superficiales contienen la zonificación por materiales geológicos y a partir de esta se asigna un peso a cada sector en función del tipo de material, origen y espesor, planteando su propensividad en una variable categórica denominada UGS que incluye las dos mencionadas (ROC-SUE y ESPESOR) y elimina la dependencia estadística de las mismas.

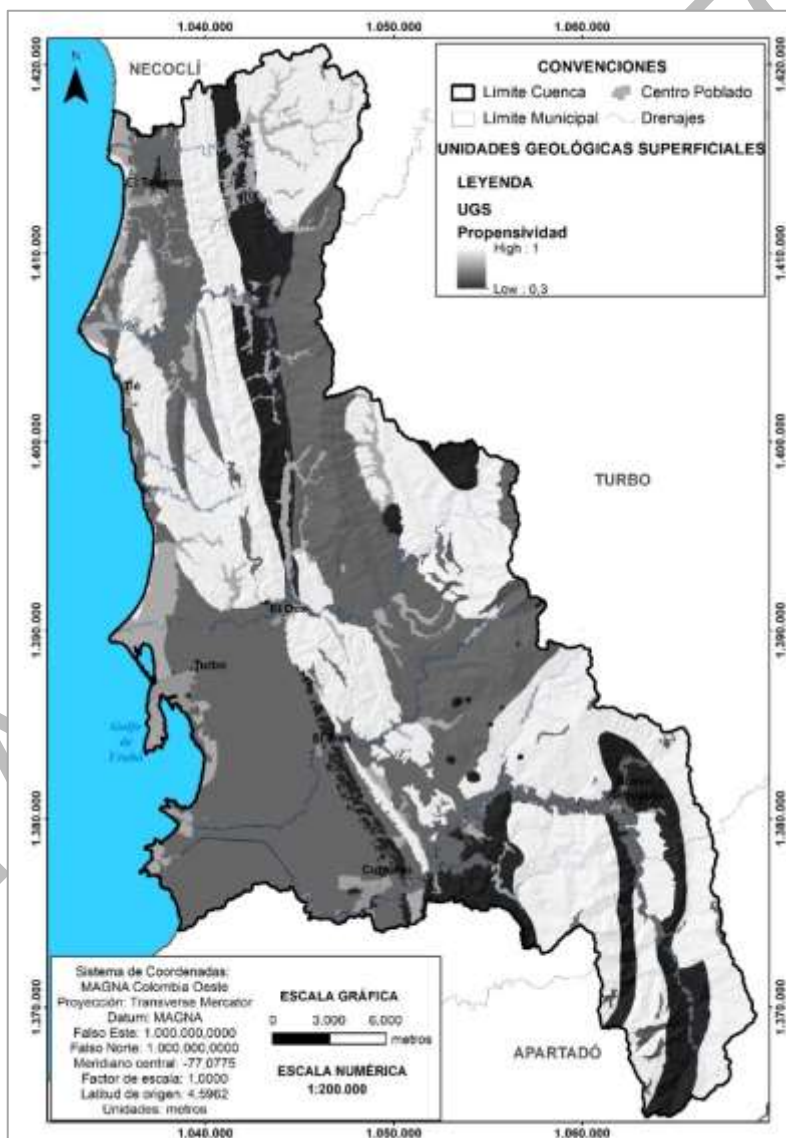


Figura 47. Propensividad por tipo de unidad UGS

Fuente: Elaboración propia



La caracterización de materiales geológicos superficiales se encuentra descrita en el capítulo de geología. En la Tabla 24 se presenta la clasificación y los pesos asignados a cada una de las clases de acuerdo a sus características (calificación de la propensividad).

Tabla 24. Propensividad a inestabilidad según tipo de unidad geológica superficial

UGS	Calif
Rblap	0,5
Rmbacam	0,4
Stalar	0,3
Staru	0,4
Stcba	0,7
Stcdal	0,7
Stcpa	0,6
Stcpial	0,6
Stctza	0,5
Stfabga	0,5
Stflia	0,6
Stftza	0,5
Strci	0,6
Stvflv	0,4
Srsapi1	0,7
Srsalpi3	1
Srsalps3	1
Srsaps1	1
Srslaps4	1
Srsalam	0,4
Srslpi2	0,5
Srslps2	0,4

Fuente: Elaboración propia

#### 7.6.1.3.5.1 Análisis de las variables asociadas a la relación de proximidad (VRP)

La ocurrencia de movimientos en masa se ve influenciada por la composición litológica de la roca, la geomorfología, las unidades geológicas superficiales y las coberturas de la tierra, que combinados como factores condicionantes pueden llegar a determinar la ocurrencia de los fenómenos de inestabilidad. Las unidades de depósitos de flujos de escombros y/o lodos y unidades sedimentaria afectadas tectónicamente presentan las mayores calificaciones de susceptibilidad, mientras que las unidades de origen fluvial son poco susceptibles a presentar movimientos en masa.



Las unidades geomorfológicas de ambiente estructural y denudacional que presentan la mayor propensividad a movimientos en masa predominan en la cuenca, aun cuando en la ciudad de Turbo se presentan calificaciones moderadas correspondiendo a las unidades geomorfológicas de ambiente denudacional y bajas en el costado suroeste de la cuenca en sectores donde predomina la dinámica fluvial.

La cobertura vegetal tipo bosque disminuye la propensividad en las áreas de lomeríos y lomos, en las áreas desprovistas de vegetación o coberturas de pastos y cultivos, la propensividad no es muy marcada, de manera que hay ciertas zonas en que se muestra alguna afectación como sucede con los cultivos herbáceos y otras zonas que no afectan ni aportan. Los tejidos urbanos son propensos a movimientos en masa por la existencia de cortes en el terreno, pero estos son de pequeña magnitud y no se consideran en la escala de análisis, por lo cual se mantienen como poco propensos a la generación de grandes movimientos en masa; en cambio, los cortes en vías y canteras sí resultan relevantes, de manera que las coberturas relacionadas con estas califican con propensividad alta

#### **7.6.1.4 Análisis de la zonificación de susceptibilidad a movimientos en masa**

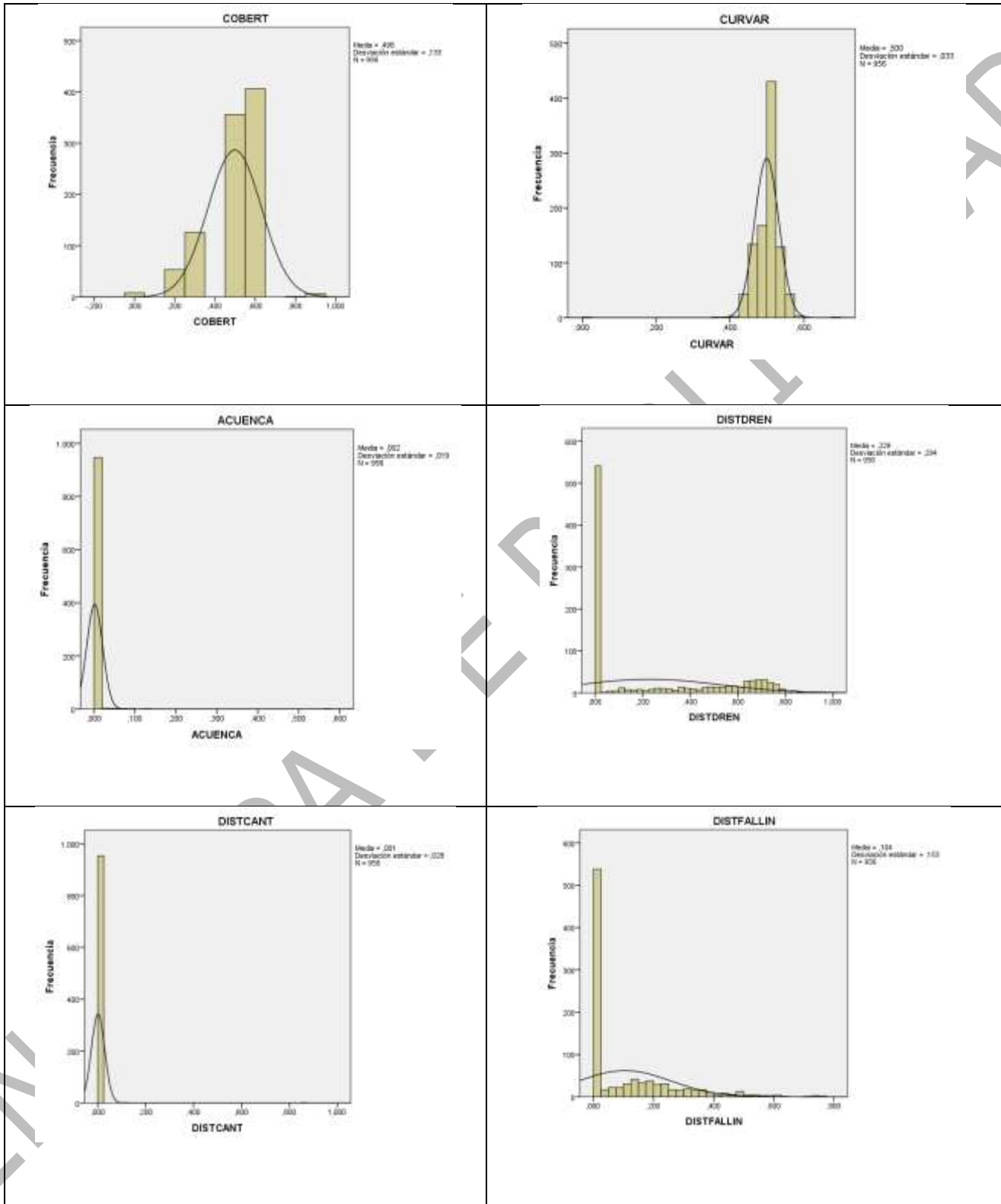
##### **7.6.1.4.1 Análisis estadístico de la función discriminante para obtener susceptibilidad a movimientos en masa**

Inicialmente es necesario realizar pruebas estadísticas para conocer la distribución que tiene cada variable y validar si siguen una distribución normal para definir la pertinencia de su uso dentro del modelo. Entre las pruebas estadísticas que analizan el ajuste a una distribución normal se ha seleccionado el test de Kolmogorov-Smirnov (K-S). El test K-S permite conocer la bondad del ajuste mediante el contraste entre la función de distribución acumulada empírica de la variable y la distribución acumulada teórica normal. Para ello utiliza la media y la desviación estándar de la muestra. Las distribuciones y prueba K-S se indican a continuación en la Figura 48:  
Figura 48



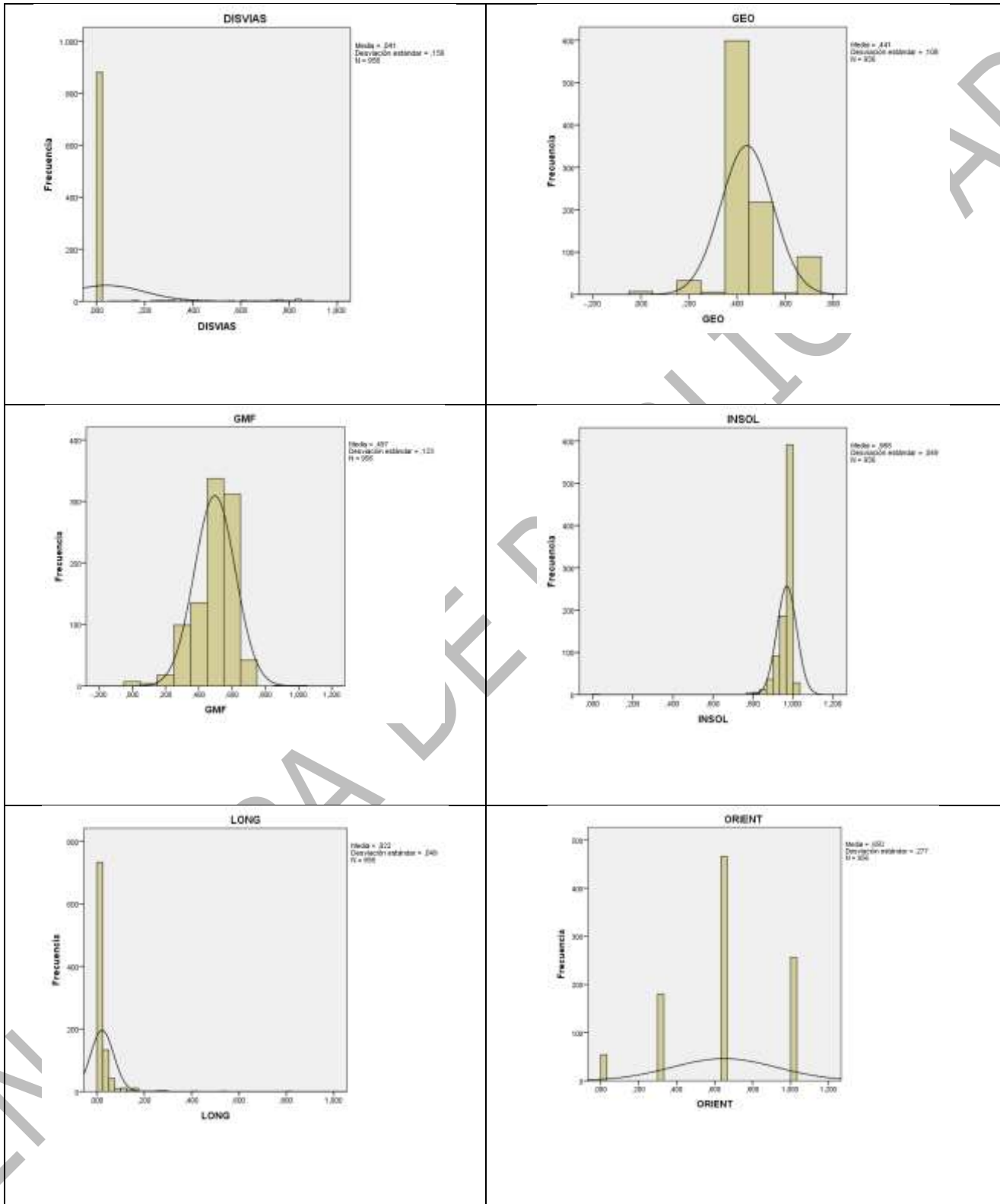


FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO





FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO





FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

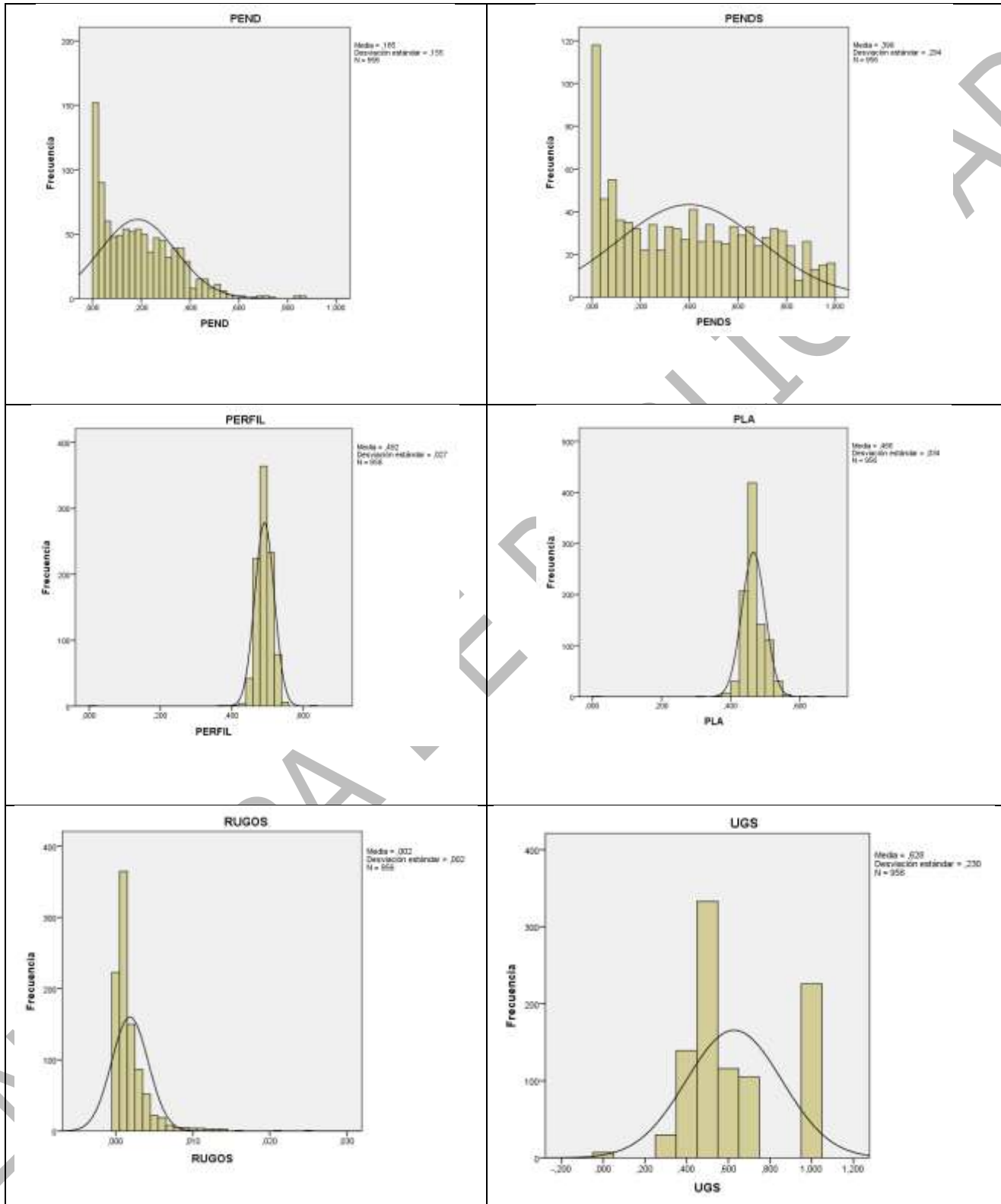


Figura 48. Histogramas de distribución de las variables de entrada de la función discriminante



Fuente: Elaboración propia

Tabla 25. Prueba de Kolmogorov-Smirnov de la muestra

	N	Parámetros normales <sup>a,b</sup>		Máximas diferencias extremas			Estadístico de prueba	Sig. asintótica (bilateral)
		Media	Desviación estándar	Absoluta	Positivo	Negativo		
ACUENCA	956	,00153	,019333	,469	,446	-,469	,469	,000 <sup>c</sup>
COBERT	956	,49812	,133093	,310	,215	-,310	,310	,000 <sup>c</sup>
CURVAR	956	,49967	,032798	,138	,122	-,138	,138	,000 <sup>c</sup>
DISTCANT	956	,00101	,027746	,512	,512	-,485	,512	,000 <sup>c</sup>
DISTDREN	956	,22851	,293627	,348	,348	-,218	,348	,000 <sup>c</sup>
DISTFALLIN	956	,10448	,153350	,312	,312	-,248	,312	,000 <sup>c</sup>
DISVIAS	956	,04103	,155642	,524	,524	-,396	,524	,000 <sup>c</sup>
GEO	956	,44111	,108461	,322	,322	-,304	,322	,000 <sup>c</sup>
GMF	956	,49655	,123299	,236	,155	-,236	,236	,000 <sup>c</sup>
INSOL	956	,96846	,049446	,262	,262	-,172	,262	,000 <sup>c</sup>
LONG	956	,02207	,048629	,325	,256	-,325	,325	,000 <sup>c</sup>
ORIENT	956	,65041	,277304	,269	,218	-,269	,269	,000 <sup>c</sup>
PEND	956	,18534	,155264	,116	,085	-,116	,116	,000 <sup>c</sup>
PENDS	956	,39869	,293669	,093	,093	-,087	,093	,000 <sup>c</sup>
PERFIL	956	,49233	,027385	,102	,087	-,102	,102	,000 <sup>c</sup>
PLA	956	,46608	,033691	,143	,143	-,141	,143	,000 <sup>c</sup>
RUGOS	956	,00184	,002382	,253	,253	-,219	,253	,000 <sup>c</sup>
UGS	956	,62782	,230137	,243	,243	-,183	,243	,000 <sup>c</sup>

Fuente: Elaboración propia

Si bien es cierto que las variables no siguen estrictamente una distribución normal, lo cual se evidencia en los histogramas presentados y se prueba numéricamente mediante la prueba K-S y según Nuria (2001) en el que todas las variables tienen valores bajos de los estadísticos de la prueba (todos <1) y bastante baja significancia asintótica (muy



cercanos a cero), éstas al transformarlas en busca de una mejor distribución, pierden información relevante para el modelo y continúan sin sostener un ajuste en distribución normal, lo que redundaría en una efectividad menor de la función discriminante. Por lo tanto, se opta por realizar el análisis discriminante de variables con su distribución original para finalmente normalizar los resultados y representar la susceptibilidad ajustando los rangos de clasificación, buscando una distribución adecuada de los mismos.

Otra prueba realizada fue la de dependencia entre variables, con lo que se realizó un análisis factorial para determinar la siguiente matriz de correlación (ver Tabla 26).

Tabla 26. Análisis factorial y matriz de correlación

	ACUENCA	COBERT	CURVAR	DISTCANT	DISTDREN	DISTFALLIN	DISVIAS	GEO	GMF	INSOL	LONG	ORIENT	PEND	PENDS	PERFIL	PLA	RUGOS	UGS
ACUENCA	1,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
COBERT	0,0	1,0	0,1	0,1	-0,2	0,0	0,1	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1
CURVAR	0,0	0,1	1,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	-0,2	0,0	0,1	0,1	-0,3	0,9	0,1	0,0
DISTCANT	0,0	0,1	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
DISTDREN	0,1	-0,2	-0,1	0,0	1,0	0,2	0,0	-0,1	-0,3	0,2	0,1	0,0	-0,3	-0,4	0,1	0,0	-0,1	-0,1
DISTFALLIN	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	1,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
DISVIAS	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	1,0	-0,1	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,1
GEO	0,0	0,2	0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	1,0	0,4	0,2	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
GMF	0,0	0,2	0,1	0,1	-0,3	0,0	-0,1	0,4	1,0	-0,1	0,0	0,0	0,3	0,4	0,1	0,1	0,1	0,3
INSOL	0,0	0,1	0,3	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	-0,1	1,0	0,0	0,0	-0,6	-0,5	0,4	0,3	-0,2	-0,1
LONG	0,7	0,0	-0,2	0,0	0,1	0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,1	-0,2	0,0	0,1
ORIENT	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1
PEND	0,0	0,1	0,1	0,0	-0,3	0,0	-0,1	-0,1	0,3	-0,6	0,0	0,1	1,0	1,0	-0,1	0,0	0,4	0,3
PENDS	0,0	0,1	0,1	0,0	-0,4	0,0	-0,1	-0,1	0,4	-0,5	0,0	0,1	1,0	1,0	0,0	0,1	0,3	0,3
PERFIL	0,0	0,0	-0,3	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,4	0,1	0,1	-0,1	0,0	1,0	-0,1	0,0	0,1
PLA	0,0	0,1	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	-0,2	0,0	0,0	0,1	-0,1	1,0	0,1	0,0
RUGOS	0,0	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,1	-0,2	0,0	0,0	0,4	0,3	0,0	0,1	1,0	0,2
UGS	0,0	0,1	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,3	-0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,1	0,0	0,2	1,0

Fuente: Elaboración propia

De la matriz de correlación se debe entender que valores mayores corresponden con variables muy similares entre sí, es decir, están correlacionadas, por lo cual es pertinente seleccionar solo una de las que presenten esta condición. Las mayores correlaciones se observan entre la pendiente de la ladera (PEND), las variables insolación y pendiente senoidal y entre la curvatura del terreno y la curvatura del terreno



con respecto al plano horizontal y las variables de acumulación de la cuenca y longitud de cuenca acumulada todas estas con valores de correlación muy cercanos a uno (1).

El descarte de variables correlacionadas se debe ejecutar teniendo en cuenta criterios geotécnicos apoyados en pruebas estadísticas que aporten medición de dependendencia de variables, discriminancia o importancia de cada una en función de la muestra de análisis seleccionada. Aplicando los criterios mencionados se realiza descarte de factores apoyándose en las pruebas estadísticas de análisis factorial, pruebas T y ANOVA como se observa en la Tabla 27 y la Tabla 28. Por ejemplo, al comparar las curvaturas CURVAR y PLA se ve que la variable con mayor importancia es CURVAR (valor F-ANOVA=1.73), por lo cual se prefiere aportar los análisis con esta variable.

Tabla 27. Prueba T (estadísticas de grupo)

ESTAB	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
GMF	0	,47448	,135119	,006180
	1	,51862	,105849	,004841
UGS	0	,60063	,203892	,009326
	1	,65502	,250964	,011479
INSOL	0	,98632	,026996	,001235
	1	,95060	,059389	,002716
PEND	0	,10225	,107593	,004921
	1	,26844	,151166	,006914
PENDS	0	,23362	,229242	,010485
	1	,56375	,255941	,011706
PLA	0	,46516	,026428	,001209
	1	,46699	,039655	,001814
CURVAR	0	,49828	,025354	,001160
	1	,50106	,038820	,001776
LONG	0	,02397	,059822	,002736
	1	,02016	,033890	,001550
ACUENCA	0	,00235	,026682	,001220
	1	,00070	,005917	,000271

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28. Prueba ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
GMF	Entre grupos	,466	1	,466	31,615	,000
	Dentro de grupos	14,053	954	,015		
	Total	14,519	955			
UGS	Entre grupos	,707	1	,707	13,526	,000



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
	Dentro de grupos	49,873	954	,052		
	Total	50,580	955			
INSOL	Entre grupos	,305	1	,305	143,254	,000
	Dentro de grupos	2,030	954	,002		
	Total	2,335	955			
PEND	Entre grupos	6,600	1	6,600	383,437	,000
	Dentro de grupos	16,422	954	,017		
	Total	23,022	955			
PENDS	Entre grupos	26,047	1	26,047	441,262	,000
	Dentro de grupos	56,314	954	,059		
	Total	82,361	955			
PLA	Entre grupos	,001	1	,001	,704	,402
	Dentro de grupos	1,083	954	,001		
	Total	1,084	955			
CURVAR	Entre grupos	,002	1	,002	1,724	,189
	Dentro de grupos	1,025	954	,001		
	Total	1,027	955			
LONG	Entre grupos	,003	1	,003	1,471	,226
	Dentro de grupos	2,255	954	,002		
	Total	2,258	955			
ACUENCA	Entre grupos	,001	1	,001	1,739	,188
	Dentro de grupos	,356	954	,000		
	Total	,357	955			

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, realizadas las pruebas estadísticas que aportan a los criterios de descarte de variables, se realiza el análisis discriminante tantas veces como sea posible para obtener la función discriminante que mejor ajuste tiene. Los análisis discriminantes realizados se indican a continuación:

- Función discriminante 1

Descarte de factores por criterio y sin distribución estadística (Histogramas y prueba K-S):

Se conservan todas las variables a pesar que no describen distribución normal y no se modifican pues tras la primera y segunda transformada siguen sin tener la distribución buscada debido a que tienen muy poca significancia asintótica.



Correlación por análisis factorial: UGS/GMF, INSOL/PEND/PENDS, PLA/CURVAR y LONG/ACUENCA

Discriminante prueba T: UGS, INSOL, PLA y LONG

Discriminante prueba ANOVA: GMF, PENDS, CURVAR y ACUENCA

DISVIAS	1,096
GEO	-2,422
ORIENT	0,535
PEND	7,338

Resultados de clasificación: 77,2% de casos agrupados correctamente.

- Función discriminante 2

Descarte de factores por criterio y sin distribución estadística (Histogramas y prueba K-S):

Se conservan todas las variables a pesar que no describen distribución normal y no se modifican pues tras la primera y segunda transformada siguen sin tener la distribución buscada debido a que tienen muy poca significancia asintótica.

Correlación por análisis factorial: UGS/GMF, INSOL/PEND/PENDS, PLA/CURVAR y LONG/ACUENCA

Discriminante prueba T: UGS, INSOL, PLA y LONG

Discriminante prueba ANOVA: GMF, PENDS, CURVAR y ACUENCA

COBERT	-0,335
CURVAR	-0,705
DISTCANT	2,136
DISTDREN	0,038
DISTFALLIN	0,744
DISVIAS	1,179
GEO	-2,218
LONG	-1,340
ORIENT	0,555
PEND	7,098
PERFIL	-3,007
RUGOS	46,614
UGS	-0,183

Resultados de clasificación: 77,5% de casos agrupados correctamente.

- Función discriminante 3

Descarte de factores por criterio y sin distribución estadística (Histogramas y prueba K-S):

Se conservan todas las variables a pesar que no describen distribución normal y no se modifican pues tras la primera y segunda transformada siguen sin tener la distribución buscada debido a que tienen muy poca significancia asintótica.





Correlación por análisis factorial: UGS/GMF, INSOL/PEND/PENDS, PLA/CURVAR y LONG/ACUENCA

Discriminante prueba T: UGS, INSOL, PLA y LONG

Discriminante prueba ANOVA: GMF, PENDS, CURVAR y ACUENCA

COBERT	-0,357
CURVAR	-0,478
DISTCANT	2,120
DISTDREN	0,039
DISTFALLIN	0,738
DISVIAS	1,153
GEO	-2,253
LONG	-1,235
ORIENT	0,558
PEND	7,353
PERFIL	-3,062
UGS	-0,152

Resultados de clasificación: 76,3% de casos agrupados correctamente.

- Función discriminante 4

Descarte de factores por criterio y sin distribución estadística (Histogramas y prueba K-S):

Se conservan todas las variables a pesar que no describen distribución normal y no se modifican pues tras la primera y segunda transformada siguen sin tener la distribución buscada debido a que tienen muy poca significancia asintótica.

Correlación por análisis factorial: UGS/GMF, INSOL/PEND/PENDS, PLA/CURVAR y LONG/ACUENCA

Discriminante prueba T: UGS, INSOL, PLA y LONG

Discriminante prueba ANOVA: GMF, PENDS, CURVAR y ACUENCA

COBERT	-0,111
CURVAR	19,469
DISTCANT	3,048
DISTDREN	-0,572
DISTFALLIN	1,397
DISVIAS	1,185
GEO	-2,714
LONG	-0,976
ORIENT	0,763
PERFIL	18,416
UGS	0,536
inv_insol	23,623

Resultados de clasificación: 73,2% de casos agrupados correctamente.



- Función discriminante 5

Descarte de factores por criterio y sin distribución estadística (Histogramas y prueba K-S):

Se conservan todas las variables a pesar que no describen distribución normal y no se modifican pues tras la primera y segunda transformada siguen sin tener la distribución buscada debido a que tienen muy poca significancia asintótica.

Correlación por análisis factorial: UGS/GMF, INSOL/PEND/PENDS, PLA/CURVAR y LONG/ACUENCA

Discriminante prueba T: UGS, INSOL, PLA y LONG

Discriminante prueba ANOVA: GMF, PENDS, CURVAR y ACUENCA

COBERT	-0,546
CURVAR	-0,953
DISTCANT	1,432
DISTDREN	0,197
DISTFALLIN	0,725
DISVIAS	1,190
GEO	-2,949
LONG	-1,620
ORIENT	0,549
PERFIL	-3,679
GMF	1,697
PEND	6,892

Resultados de clasificación: 77,4% de casos agrupados correctamente.

Luego de analizar los resultados de las funciones discriminantes se observa que la función número 5 posee la mayor agrupación correcta, seguida de las funciones número 2 y 3. Al comparar los resultados mediante observación basado en cada uno de los puntos inestables y su valor de cada una de las variables, se encontró que la función número 5 refleja de una manera más acertada la realidad de la cuenca, dando relevancia mayor a algunos de los factores pero siempre con agrupación similar de puntos estables e inestables.

Por lo anterior y considerando que la función 5 evaluada tiene resultados de clasificación cercanos al 77,4%, se opta por calcular la susceptibilidad con la siguiente ecuación:

$$\text{Sus}_{\text{MM}} = 1.697 * \text{GMF} + 6.892 * \text{PEND} - 1.620 * \text{LONG} + 1.190 * \text{DISTVIAS} + 0.725 * \text{DISTFALLIN} + 0.197 * \text{DISTDREN} - 5,46 * \text{COBER} - 2.949 * \text{GEO} - 3.679 * \text{PERFIL} - 0.953 * \text{CURVAR} + 1.432 * \text{DISTCANT} + 0.549 * \text{ORIENT}$$

#### 7.6.1.4.2 Análisis de la susceptibilidad a movimientos en masa

Teniendo en cuenta las recomendaciones del protocolo para la incorporación de riesgo para POMCAS, las consideraciones de Cardona (2013) y la distribución estadística de los



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

resultados, se definen los sectores con baja, media y alta susceptibilidad a movimientos en masa representados en la la Figura 49.

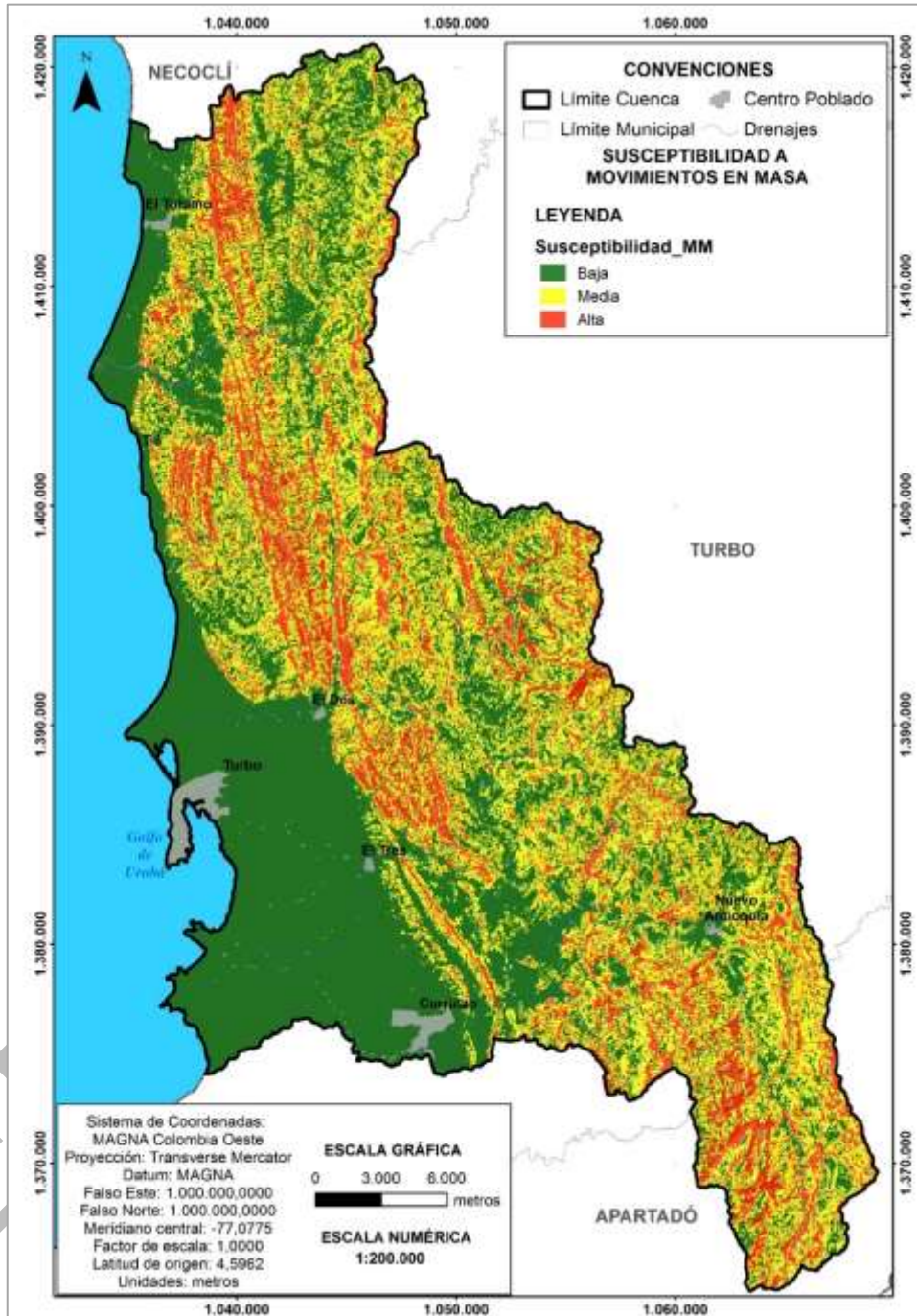


Figura 49. Susceptibilidad a movimientos en masa de la cuenca Río Turbo-Currulao  
Fuente: Elaboración propia

La susceptibilidad a movimientos en masa está condicionada principalmente por la existencia de procesos activos, la morfología del relieve y el material superficial (suelo,



roca o intermedios) sobre el que reposa la ladera. Por esta razón se observan valores altos de susceptibilidad en sectores de la parte alta de la cuenca hidrográfica donde predominan las pendientes altas y materiales superficiales poco consistentes.

En términos de proporciones, la cuenca del río Turbo Currulao es moderadamente susceptible a movimientos en masa. Los lugares en que se presenta susceptibilidad corresponden con zonas de ladera en la que ocurren deslizamientos y flujos y en los márgenes de los ríos en los que la socavación lateral puede generar desprendimiento y arrastre de material y en zonas poco provistas de vegetación. Esta condición de susceptibilidad alta ocurre en un 15,8% (14164,50 ha) del total de la cuenca, la calificación media en un 45,5% (40868,75ha), y una categoría baja con un 38,7% (34715,4 ha) del total.

La actividad antrópica, si bien propicia la desestabilización en zonas cercanas a vías y áreas de pastoreo, es una variable secundaria en cuanto a la susceptibilidad por movimientos a esta escala de análisis, donde predominan los factores naturales. Así mismo, se evidencia que la cobertura vegetal en la cuenca afecta de alguna forma los valores de susceptibilidad, debido a la distribución aleatoria de la vegetación (pastos limpios, pastizales y vegetación con raíces pequeñas) que generalmente se relacionan con la disminución de la estabilidad del terreno sumada a zonas evidentemente desprovistas de cobertura vegetal propensas a sufrir un movimientos en masa.

#### **7.6.1.5 Descripción metodológica para obtener amenaza por movimientos en masa**

Dentro de la evaluación de la amenaza por movimientos en masa se tuvo en cuenta el Protocolo para la incorporación de la gestión del Riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas hidrográficas (MADS, MINHACIENDA, Fondo Adaptación, 2014), el cual sugiere un procedimiento determinístico y la valoración de diversos escenarios con presencia de agua y sismo en diferentes periodos de retorno. En la Figura 50 se describe metodológicamente la obtención de la amenaza por movimientos en masa.

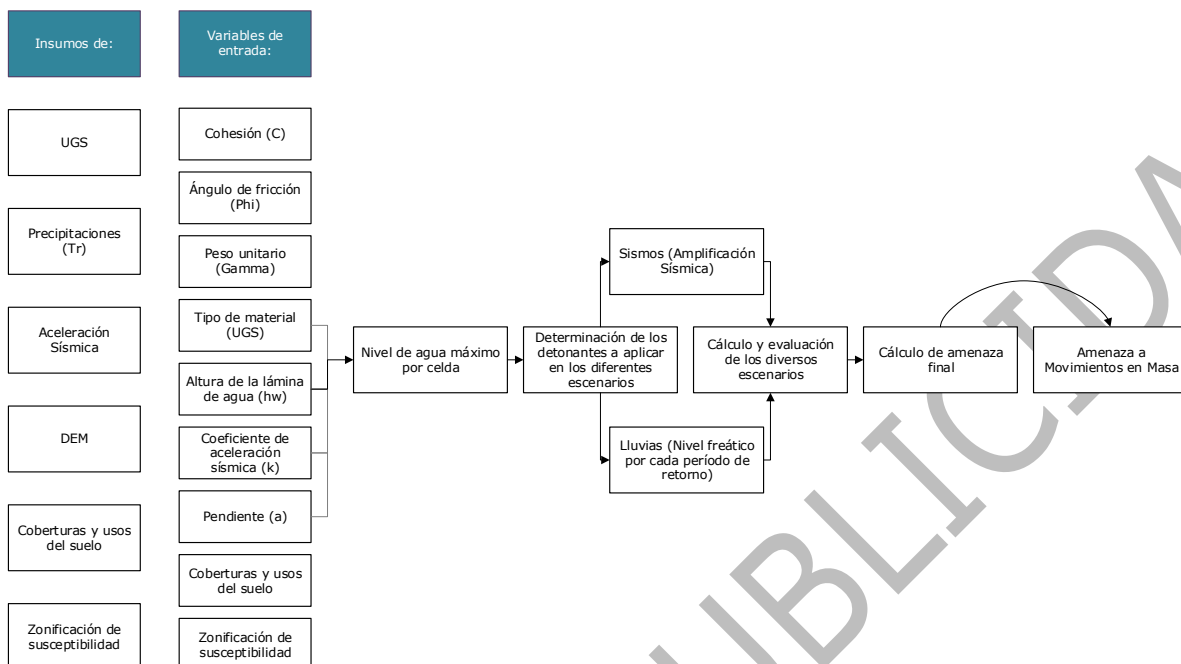


Figura 50. Estructura metodológica para la evaluación de amenaza por movimientos en masa  
Fuente: Elaboración propia.

A partir de cartografía base de geología y geomorfología, así como de los resultados del programa de exploración del suelo y ensayos de laboratorio realizados, se planteó el modelo geológico geotécnico que representa las zonas homogéneas de comportamiento geomecánica. Para su planteamiento se realizó el cruce espacial de los puntos de control de campo geológico y de suelos para estimar los parámetros de comportamiento mecánico en el caso de las unidades geotécnicas que coinciden con al menos uno de los mismos. Los parámetros de resistencia descritos se encuentran en el Anexo 92 Modelo geológico geotécnico, para lo cual se asignaron en este caso para cada celda considerando los resultados de laboratorio y los ensayos y parámetros que dan cuenta del comportamiento geomecánico en otros estudios precedentes ya indicados en los apartes de información antecedente. Posteriormente, se tuvo en cuenta la determinación de los detonantes de niveles freáticos y la aceleración sísmica a aplicar para diferentes escenarios.

Una vez definidos los parámetros geotécnicos, se debe tener en cuenta la determinación de los detonantes a aplicar para diferentes escenarios (niveles freáticos y aceleración sísmica). Para considerar la condición de sismicidad se incluyó el efecto de la carga sísmica como una fuerza inercial horizontal a partir del coeficiente de aceleración horizontal en análisis de equilibrio límite pseudoestático. Se partió de los valores regionales de amenaza según el estudio de Amenaza Sísmica Nacional publicado por el Servicio Geológico Colombiano en 2017 para posteriormente aplicar efecto topográfico de amplificación y deamplificación de la aceleración sísmica empleando los principios de Jibson (1987), Faccioli (1991) y la AFPS (1995).

Para la evaluación del nivel freático se plantea la hipótesis en la que este se encuentra en la superficie de falla y varía según el régimen de lluvias de cada píxel. El análisis de



lluvia considera el concepto de una proporción de esta que cae al suelo y se infiltra, otro porcentaje queda detenido en la vegetación y en depresiones del suelo mientras se evapora y otro fluye como escorrentía directa. La cantidad de lluvia se obtuvo con los análisis de precipitaciones descritos en curvas IDF y se plantearon valores esperados de precipitación máxima diaria por periodos de retorno de 2, 20, 50 y 100 años.

Para estimar dicha fracción de agua infiltrada la Guía Técnica sugiere usar el método Alzate (2012) y Torres et al., (2014) que plantea una ecuación empírica en función de los factores que influyen en el proceso de infiltración. Sin embargo, dicha ecuación empírica sugiere el término de precipitación ponderada en el denominador como sumando, lo que puede llegar a indicar menores niveles freáticos con mayores precipitaciones.

Por lo anterior, se utilizó el método lluvia-escorrentía del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) del U. S. Department of Agriculture, el cual, muy frecuentemente, se utiliza para estimar cantidad de agua proveniente de una tormenta ( $P$ ) que se convierte en escorrentía directa ( $P_e$ ), pero que para este caso se estimó el complemento, esto es, el resto de la lluvia que no se convierte en escorrentía directa, es decir: ( $P_i = P - P_e$ ).

El método del SCS propone la estimación del Número de Curva (CN) en función de la cobertura y uso del suelo y un potencial de retención que se compara con las precipitaciones para obtener los valores de infiltración posibles según la cobertura y uso del suelo.

Finalmente, luego de definir los factores condicionantes en función de las características y propiedades geomecánicas de los materiales y los factores detonantes a partir de la información de amenaza sísmica y precipitaciones, se procede a la definición de la amenaza por movimientos en masa. Para la zonificación básica de amenaza se determinó el factor de seguridad de cada unidad de trabajo (píxel 5 m) definida por la malla y las columnas de suelo obtenidas.

El cálculo de la condición de estabilidad se basa en el método de equilibrio límite aplicando la ecuación de factor de seguridad para el método de bloque deslizante en un talud infinito (Newmark, 1965), para superficies de falla superficiales planas asociadas a deslizamientos traslacionales en cada una de las celdas de trabajo. La ecuación de factor de seguridad se expresa de la siguiente manera:

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

Donde,

$c$  es la cohesión del material

$\alpha$  es la pendiente del terreno utilizada sin reclasificar.

$k$  es el coeficiente de amplificación sísmica.

$h_w$  es el valor de la tabla de agua.

$\phi'$  es el ángulo de fricción del material.

$\gamma$  Gamma es el peso unitario del material.



En la Figura 51 se ilustran los parámetros geométricos indicados.

El factor de seguridad se debe calcular en al menos diez (10) escenarios que corresponden con los parámetros considerando la profundidad de suelo según las interfaces suelo-roca con ausencia y presencia de detonantes como sismo y nivel de agua modificado por las precipitaciones con distintos periodos de retorno. Para este análisis se consideraron periodos de retorno de precipitaciones de 2, 20, 50 y 100 años y presencia o ausencia de sismo con periodo de retorno de 475 años (ver Anexo 92 Condicionantes y detonantes MM Amenaza).

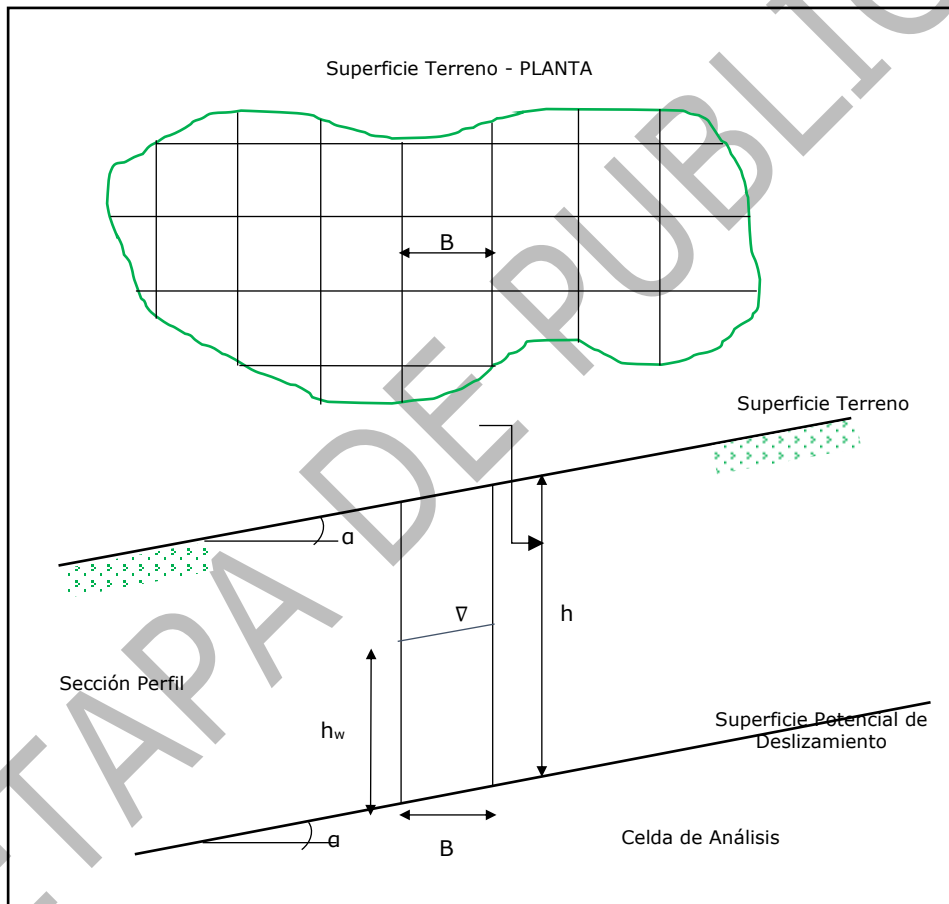


Figura 51. Esquema del modelo de talud infinito

Fuente: (SGC, 2015).

Los espesores de materiales que pueden fallar mediante mecanismo traslacional superficial pueden variar entre los 4 y los 12 metros y la cuenca presenta cambios morfológicos importantes en toda su área que indican variaciones espaciales de espesores. Los suelos tienen un espesor medio cercano a los 6 metros, por lo cual se evalúa un promedio de contacto suelo-roca para el cálculo de los diez escenarios



mínimos requeridos y se incluyen más profundidades de falla posibles en función de los espesores encontrados. El resultado final es el cálculo del factor de seguridad en cada celda o píxel para distintas posibilidades de ocurrencia de falla dentro de 10 escenarios que relacionan variaciones de nivel freático, presencia de aceleración sísmica, distintas profundidades de falla y condición media a desfavorable de parámetros geomecánicos por la presencia de materiales por encima de la superficie de falla.

El resultado final para la cuenca hidrográfica, es el cálculo del factor de seguridad en cada celda o píxel para 112 casos correspondientes a 10 escenarios en distintas posibilidades de ocurrencia de falla (ver Tabla 30) que relacionan variaciones de nivel freático, presencia de aceleración sísmica, distintas profundidades de falla y condición media a desfavorable de parámetros geomecánicos por la presencia de materiales por encima de la superficie de falla. La evaluación de este número de casos permite conocer la condición de estabilidad de los materiales con la variabilidad espacial del espesor de suelo y la valoración probabilística de amenaza para que esta sea expresada en términos de probabilidad de falla.

Finalmente tras obtener todas las opciones de factor de seguridad que incluye a los 10 escenarios en distintas posibilidades de falla (ver Tabla 29) se escoge mediante métodos probabilísticos el escenario de factor de seguridad más adecuado al cual se le calcula la probabilidad de falla correlacionable con la amenaza por movimientos en masa (SGC - SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, 2012; SGC - SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, 2012).

Tabla 29. Descripción de los escenarios de factor de seguridad evaluados para la cuenca

Escenario	Presencia de sismo	Presencia de agua* (m)	Profundidad de falla (m)	Escenario básico y adicional
5m	No	No	5m	Escenario 2: Seco sin sismo
5mk	Sí	No	5m	Escenario 1: Seco con sismo
5mhw2	No	hw2	5m	Escenario 4: Precipitación 2 sin sismo
5mhw2k	Sí	hw2	5m	Escenario 3: Precipitación 2 con sismo
5mhw20	No	hw20	5m	Escenario 6: Precipitación 20 sin sismo
5mhw20k	Sí	hw20	5m	Escenario 5: Precipitación 20 con sismo
5mhw50	No	hw50	5m	Escenario 8: Precipitación 50 sin sismo
5mhw50k	Sí	hw50	5m	Escenario 7: Precipitación 50 con sismo
5mhw100	No	hw100	5m	Escenario 10: Precipitación 100 sin sismo
5mhw100k	Sí	hw100	5m	Escenario 9: Precipitación 100 con sismo

Fuente: Elaboración propia.

\*Los valores hw representan la variación de nivel freático por infiltración de precipitaciones por periodo de retorno

Tabla 30. Corridas en casos adicionales

Escenario	Presencia de sismo	Presencia de agua* (m)	Profundidad de falla (m)	Escenario básico y adicional
2m	No	No	2m	Adicional
2mk	Sí	No	2m	Adicional
2m1_5m	No	1.5m	2m	Adicional





FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

Escenario	Presencia de sismo	Presencia de agua* (m)	Profundidad de falla (m)	Escenario básico y adicional
2m1_5mk	Sí	1.5m	2m	Adicional
2mhw2	No	hw2	2m	Adicional
2mhw2k	Sí	hw2	2m	Adicional
2mhw20	No	hw20	2m	Adicional
2mhw20k	Sí	hw20	2m	Adicional
2mhw50	No	hw50	2m	Adicional
2mhw50k	Sí	hw50	2m	Adicional
2mhw100	No	hw100	2m	Adicional
2mhw100k	Sí	hw100	2m	Adicional
3m	No	No	3m	Adicional
3mk	Sí	No	3m	Adicional
3m2m	No	2m	3m	Adicional
3m2mk	Sí	2m	3m	Adicional
3mhw2	No	hw2	3m	Adicional
3mhw2k	Sí	hw2	3m	Adicional
3mhw20	No	hw20	3m	Adicional
3mhw20k	Sí	hw20	3m	Adicional
3mhw50	No	hw50	3m	Adicional
3mhw50k	Sí	hw50	3m	Adicional
3mhw100	No	hw100	3m	Adicional
3mhw100k	Sí	hw100	3m	Adicional
4m	No	No	4m	Adicional
4mk	Sí	No	4m	Adicional
4m3m	No	3m	4m	Adicional
4m3mk	Sí	3m	4m	Adicional
4mhw2	No	hw2	4m	Adicional
4mhw2k	Sí	hw2	4m	Adicional
4mhw20	No	hw20	4m	Adicional
4mhw20k	Sí	hw20	4m	Adicional
4mhw50	No	hw50	4m	Adicional
4mhw50k	Sí	hw50	4m	Adicional
4mhw100	No	hw100	4m	Adicional
4mhw100k	Sí	hw100	4m	Adicional
4m3m	No	3m	4m	Adicional
4m3mk	Sí	3m	4m	Adicional
5m4m	No	4m	5m	Adicional
5m4mk	Sí	4m	5m	Adicional
6m	No	No	6m	Adicional
6mk	Sí	No	6m	Adicional
6m5m	No	5m	6m	Adicional
6m5mk	Sí	5m	6m	Adicional
6mhw2	No	hw2	6m	Adicional
6mhw2k	Sí	hw2	6m	Adicional
6mhw20	No	hw20	6m	Adicional
6mhw20k	Sí	hw20	6m	Adicional
6mhw50	No	hw50	6m	Adicional
6mhw50k	Sí	hw50	6m	Adicional
6mhw100	No	hw100	6m	Adicional
6mhw100k	Sí	hw100	6m	Adicional
7m	No	No	7m	Adicional



Escenario	Presencia de sismo	Presencia de agua* (m)	Profundidad de falla (m)	Escenario básico y adicional
7mk	Sí	No	7m	Adicional
7m6m	No	6m	7m	Adicional
7m6mk	Sí	6m	7m	Adicional
7mhw2	No	hw2	7m	Adicional
7mhw2k	Sí	hw2	7m	Adicional
7mhw20	No	hw20	7m	Adicional
7mhw20k	Sí	hw20	7m	Adicional
7mhw50	No	hw50	7m	Adicional
7mhw50k	Sí	hw50	7m	Adicional
7mhw100	No	hw100	7m	Adicional
7mhw100k	Sí	hw100	7m	Adicional
8m	No	No	8m	Adicional
8mk	Sí	No	8m	Adicional
8m7m	No	7m	8m	Adicional
8m7mk	Sí	7m	8m	Adicional
8mhw2	No	hw2	8m	Adicional
8mhw2k	Sí	hw2	8m	Adicional
8mhw20	No	hw20	8m	Adicional
8mhw20k	Sí	hw20	8m	Adicional
8mhw50	No	hw50	8m	Adicional
8mhw50k	Sí	hw50	8m	Adicional
8mhw100	No	hw100	8m	Adicional
8mhw100k	Sí	hw100	8m	Adicional

Fuente: Elaboración propia

\*Los valores hw representan la variación de nivel freático por infiltración de precipitaciones por periodo de retorno

Las evaluaciones de los escenarios mencionadas se encuentran completas en los Anexos 93 (Evaluación MM Amenaza) y (Diez escenarios MM Amenaza y Riesgo). En estos se incluye la cartografía de los diez escenarios de amenaza y riesgo con su respectiva salida cartográfica en formato JPEG para su consulta editable desde software GIS u observación simple en formato imagen.

La condición de amenaza puede ser representada en el Factor de Seguridad siempre que se clasifique en los rangos o clases mostradas en la Tabla 31. Sin embargo, las evaluaciones de riesgo por movimientos en masa conviene desarrollarlas sobre una condición general de amenaza y no sobre escenarios particulares, de manera que no se debe expresar en términos de factor de seguridad para un escenario seleccionado sino en función de la combinación de todos los escenarios posibles. La evaluación de un número mayor de opciones posibles contempla la inclusión de un número mayor de posibilidades de falla (siendo esta siempre acotada por el método de evaluación), para representar los resultados en términos de probabilidad de falla, la cual se calculó en cada celda o píxel considerando la media aritmética, varianza y desviación estándar y se clasificó con los rangos que se presentan en la Tabla 32, siendo estos últimos los definitivos para la zonificación de amenaza por movimientos en masa.



Tabla 31. Clasificación de la amenaza por movimientos en masa en 3 clases

NIVEL DE AMENAZA	FACTOR DE SEGURIDAD	COLOR EN EL MAPA
Alta	<1.2	Rojo
Media	1.2 - 1.5	Amarillo
Baja	>1.5	Verde

Fuente: SGC, 2012.

Tabla 32. Clasificación de la amenaza por movimientos en masa en 3 clases

NIVEL DE AMENAZA	PROBABILIDAD DE FALLA	COLOR EN EL MAPA
Alta	0.4 - 1.0	Rojo
Media	0.09-0.4	Amarillo
Baja	0 - 0.09	Verde

Fuente: SGC, 2012.

Se calcula el promedio y la varianza del factor de seguridad estimado para los 96 escenarios y se plantea de manera probabilística calculando el factor Z y la probabilidad de falla P según Alzate (2012) de la siguiente manera:

$$Z = \frac{1 - FS}{desv(FS)} \quad , \quad P = (0,5 \pm Z) * 100$$

No obstante, el protocolo recomienda calcular la varianza del factor de seguridad final para cada celda de cada uno de los escenarios y no a partir de la combinación misma de todos ellos calculados en una misma celda. Si bien la probabilidad de falla se obtiene calculando los factores Z tradicionales para evaluar probabilidad de ocurrencia de FS, para estabilidad de taludes se considera apropiado evaluar directamente la probabilidad de falla (caso en que las fuerzas actuantes son iguales a las fuerzas resistentes en la ecuación del factor de seguridad, es decir, que FS=1), considerando los planteamientos de González<sup>1</sup> (2009); es decir, que si se tiene un resultado de FS igual a uno (1), la posibilidad de falla es la misma a la de la estabilidad, lo que corresponde con una probabilidad de falla del 50%, de manera que considerando una seguridad adicional se plantea la amenaza alta a partir de una probabilidad de falla superior al 40% y la amenaza baja como probabilidad de falla menor a 9%. Esto genera los rangos de probabilidad de falla que son compatibles y comparables con las condiciones de factor de seguridad y clasificaciones mostradas en la Tabla 32 de manera acorde con el Protocolo para la incorporación de gestión de riesgo en POMCAS en 2014 y SGC en 2015.

En resumen, la condición de amenaza se presenta para los 10 escenarios solicitados por el Protocolo en distintas combinaciones de superficies de falla posibles y se clasificaron en tres categorías: alta, media y baja. A partir de todas las evaluaciones de posibilidad de falla (cerca de 100 en total) se calculó también la amenaza en términos

<sup>1</sup>González G., Álvaro. Factores de seguridad... ¿por qué tantos? V encuentro de ingenieros de suelos y estructuras. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, 2009.



probabilísticos considerando no solo un único escenario sino la combinación de todos ellos, lo cual permite adelantarse a la representación de la amenaza general para toda la cuenca también en tres categorías (alta, media y baja) y con la cual resulta más recomendable estimar las condiciones de riesgo, evitando la subjetividad impresa en la selección de un solo escenario en el catálogo de posibilidades calculadas.

A continuación, se describen las características específicas para cada zona de amenaza:

Las zonas de **amenaza alta** corresponden con laderas o márgenes de cuerpos de agua en los que han ocurrido movimientos en masa o confluyen condiciones que favorecen su ocurrencia como áreas de meteorización alta a moderada, discontinuidades desfavorables, alta pendiente, suelos de mediano a bajo comportamiento mecánico, erosión hídrica alta permanente en los márgenes de los cuerpos de agua.

Las zonas de **amenaza media** corresponden con laderas o márgenes de cuerpos de agua donde han ocurrido pocos movimientos en masa y existe la posibilidad de que se presenten pues confluyen algunas de las condiciones que favorecen su ocurrencia como erosión hídrica moderada o pendiente moderada a alta.

Las zonas de **amenaza baja** corresponden con laderas en las que no existen indicios que permitan predecir deslizamientos y confluyen pocas condiciones que favorecen su ocurrencia, son áreas con materiales con comportamiento mecánico favorable a la estabilidad, ausencia de fallamiento local o erosión hídrica y poca pendiente del terreno.

#### 7.6.1.6 Descripción de las variables de amenaza por movimientos en masa

##### 7.6.1.6.1 Pendiente

Hace referencia al ángulo existente entre la superficie del terreno y la horizontal, su importancia radica en la influencia del factor sobre la estabilidad del suelo como factor geométrico (Figura 52).

Esta variable se mantiene con valores graduales continuos y no se agrupa por rangos a pesar que típicamente se haga y se solicite en los alcances técnicos del presente estudio; esto porque esta agrupación es solamente aplicable en métodos heurísticos geomorfológicos y no para métodos heurísticos semicuantitativos, estadísticos o determinísticos en los que mantenerse cualitativamente significa reducir resolución y calidad de las variables empleadas.



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

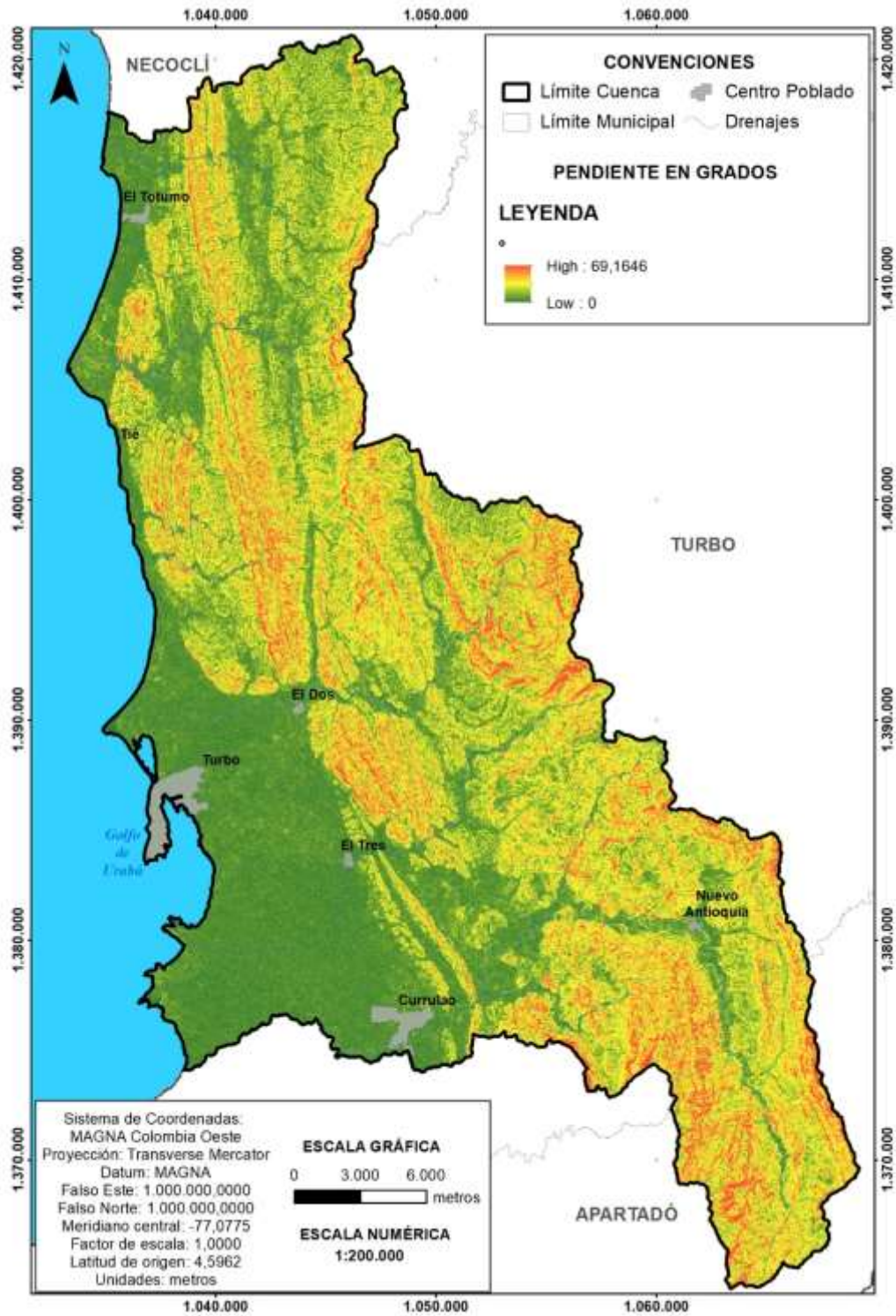


Figura 52. Pendiente  
Fuente: Elaboración propia



### 7.6.1.6.2 Precipitación

Mide la cantidad de lluvia en milímetros reportadas por las diferentes estaciones ubicadas por el IDEAM a lo largo de la cuenca. Como se indicó metodológicamente, para estimar la fracción de agua infiltrada la Guía Técnica sugiere usar el método Alzate (2012) y Torres et al., (2014) que plantea una ecuación empírica que puede llegar a indicar menores niveles freáticos con mayores precipitaciones. Por tal motivo se utilizó el método lluvia-escurrentía del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) del U. S. Department of Agriculture. Dentro de la evaluación se emplea el valor de precipitaciones con periodos de retorno de 2, 20, 50 y 100 años cruzado con el tipo de material y cobertura para obtener la retención potencial (S) y la respectiva lámina de agua para la precipitación presente en la cuenca. (Figura 53) y las respectivas láminas de agua para la precipitación presente en la cuenca a lo largo de diferentes periodos de retorno (Ver Figura 54) , las cuales hacen variar la lámina de agua en función de cada periodo de retorno como se observa en la Tabla 29 y Tabla 30 y en el anexo 93 (Escenarios).

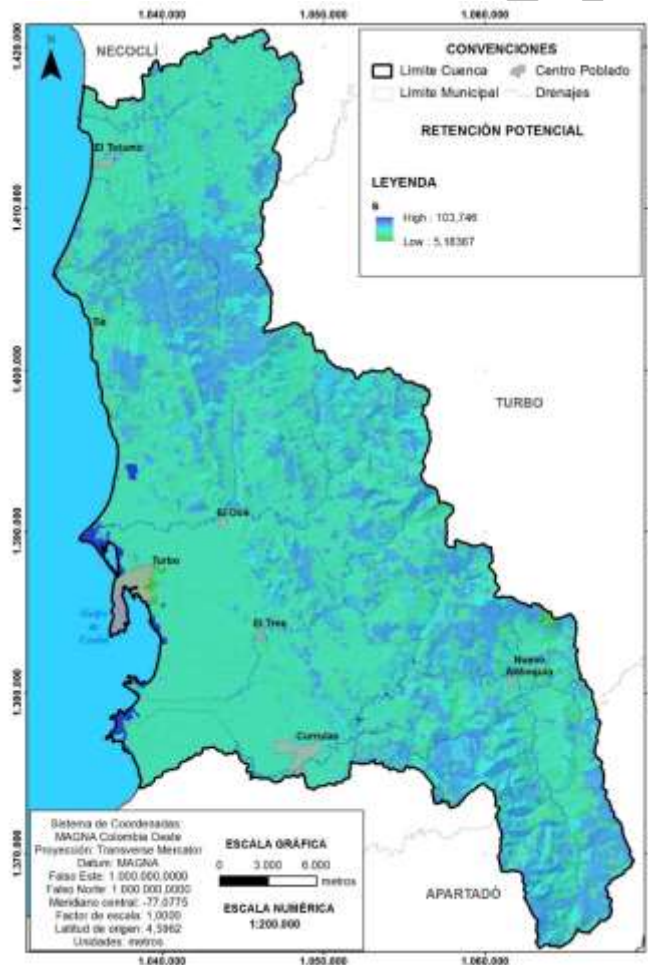
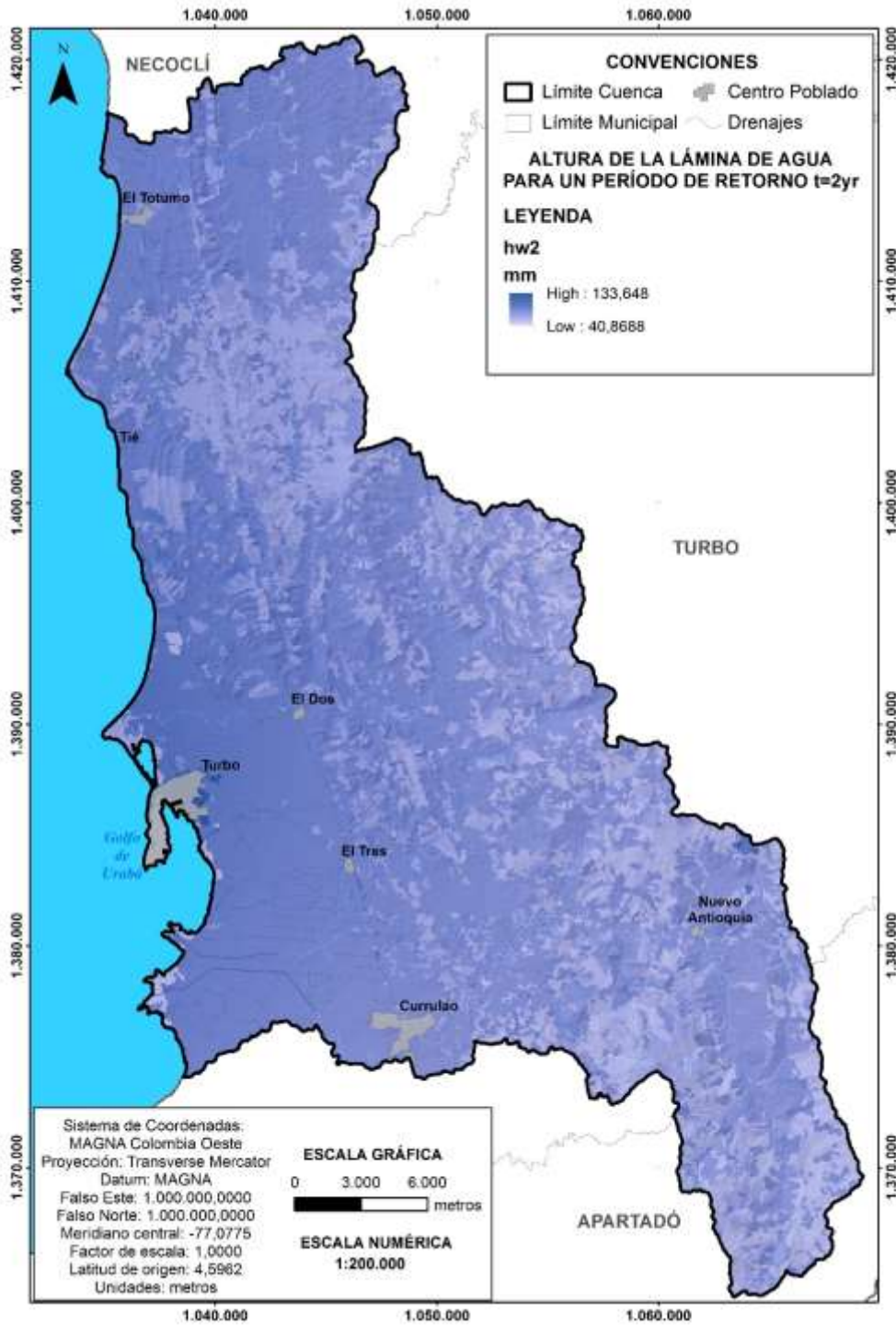


Figura 53. Retención potencial  
Fuente: Elaboración propia.

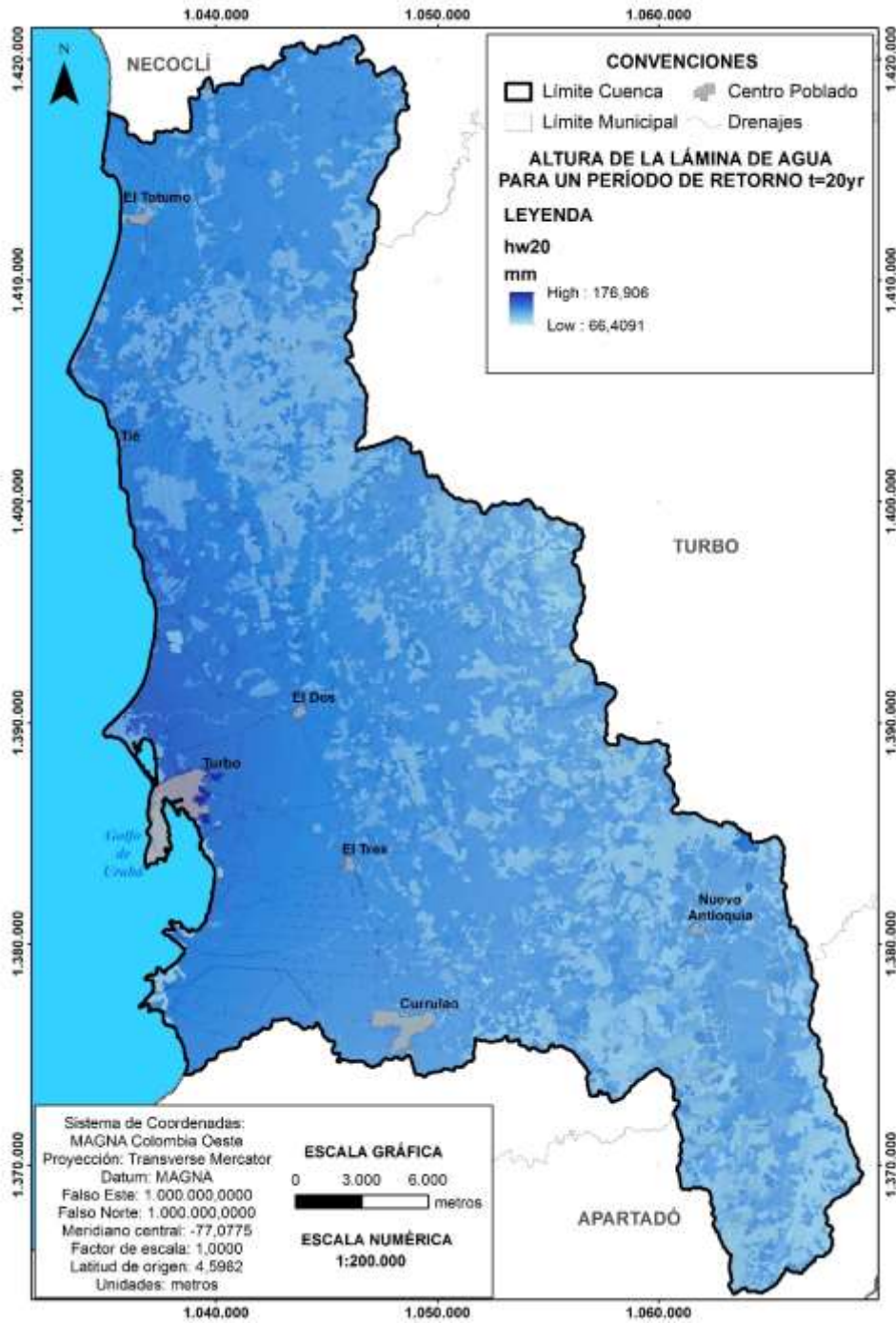


FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO





FASE DE DIAGNÓSTICO  
 PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO



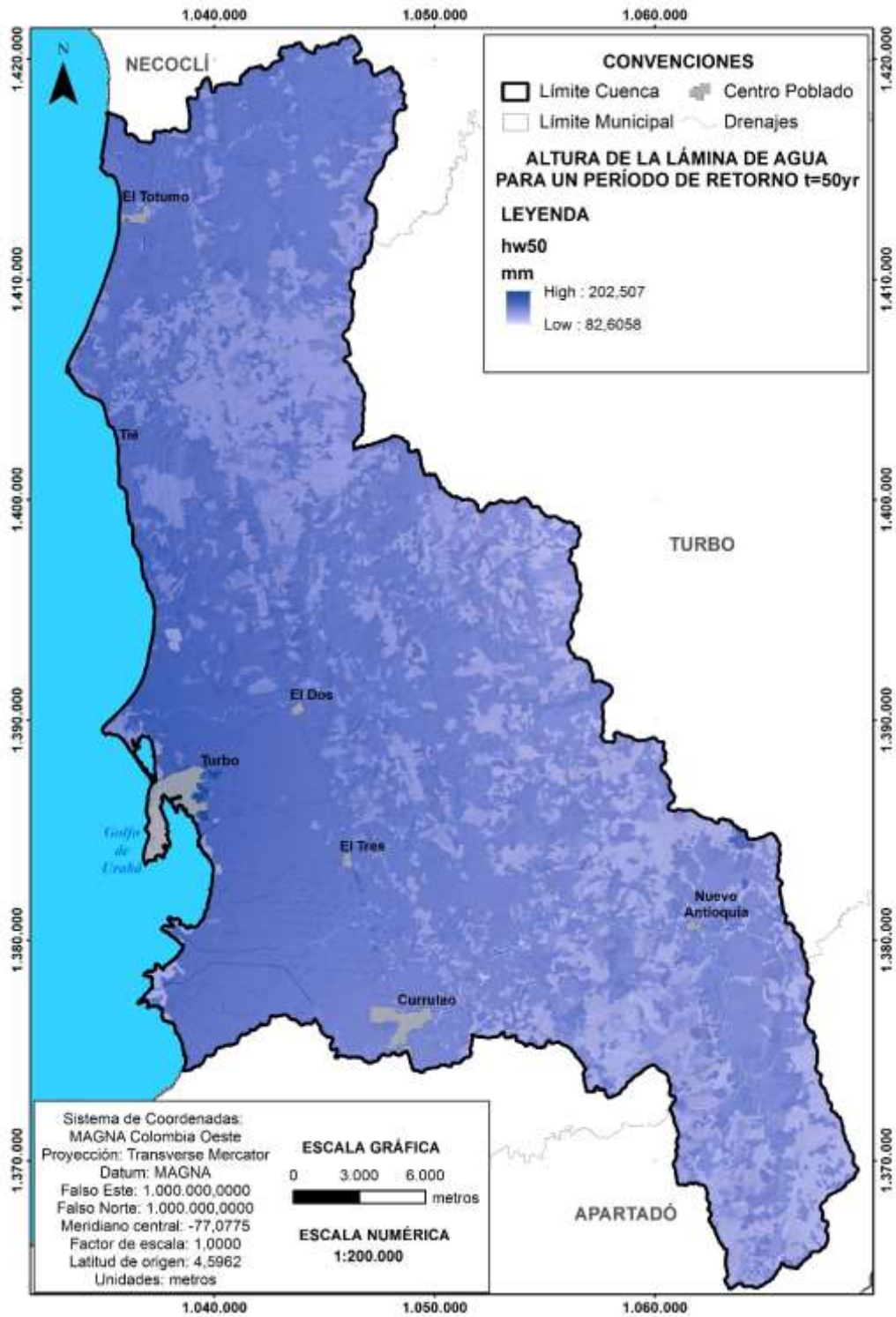
EN F

IDAD





FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO





FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

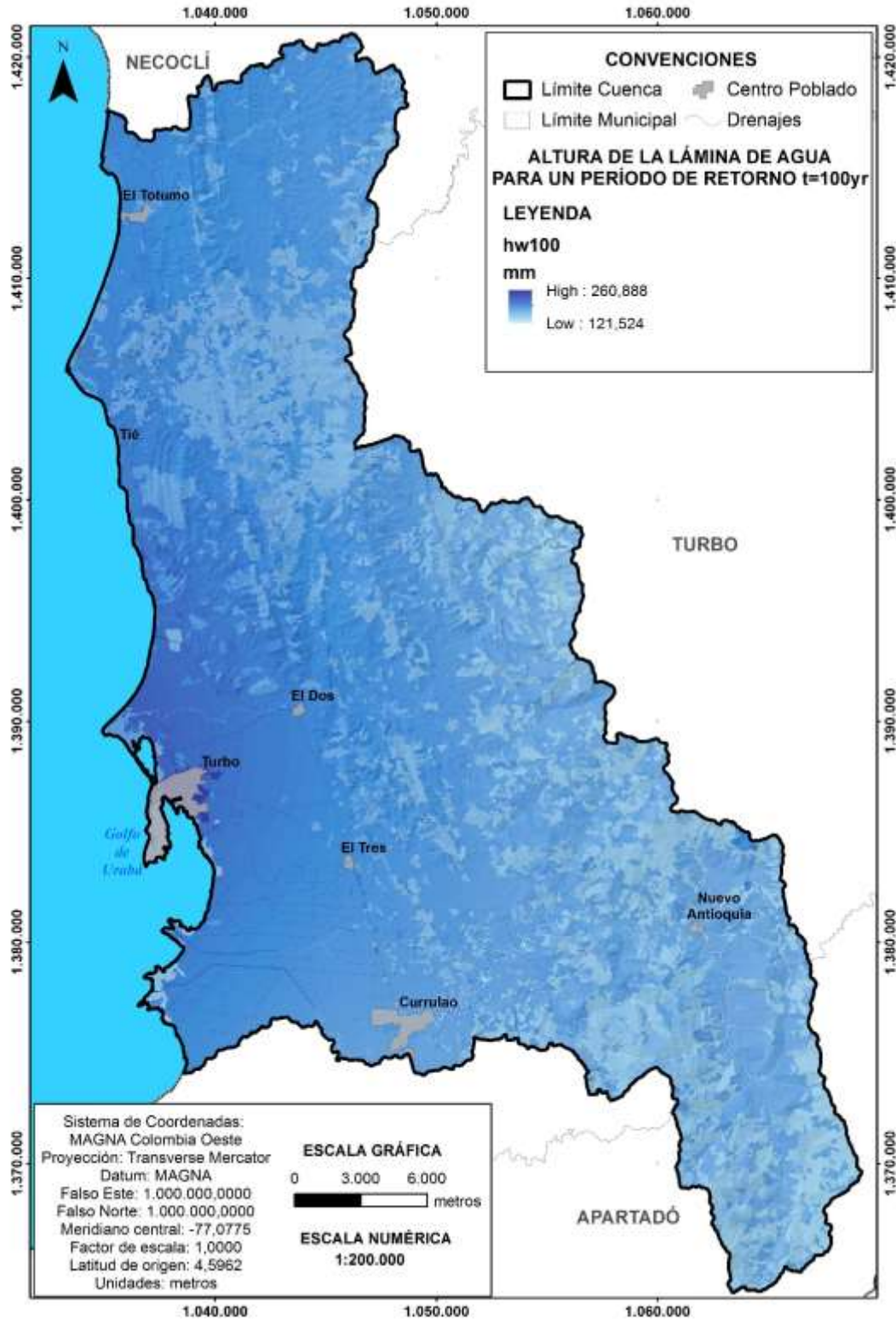


Figura 54. Altura de la lámina de agua para cada periodo de retorno (2, 20, 50 y 100 años)  
Fuente: Elaboración propia.



Los mayores valores de retención potencial se presentan en el este de la cuenca hacia el río Turbo y la quebrada Los Indios hacia el oeste cerca del río Punta de Piedra, en la parte de la cuenca cerca al casco urbano de los municipios de Turbo y Currulao se observan valores muy bajos de retención potencial por la presencia de zonas urbanas y de expansión.

La lámina de agua se manifiesta con valores moderados y bajos en gran parte de la cuenca con un aumento significativo hacia la parte oeste de la sub zona hidrográfica.

#### 7.6.1.6.3 Aceleración sísmica

La sismicidad dentro la cuenca depende de mecanismos locales y regionales, los primeros más influyentes en el fracturamiento y diaclasamiento de los materiales rígidos de la cuenca mientras que la sismicidad proveniente de los grandes sistemas geotectónicos del país (ver Figura 55) como el sistema de fallas Cauca Romeral y la influencia sísmica de la subducción de la Placa de Nazca en la Placa Suramericana y específicamente sobre el bloque Chocó-Panamá inciden de una manera significativamente mayor en la ocurrencia de deslizamientos. Para la cuenca predominan valores de aceleración picos moderados y altos, hacia el oeste de la cuenca se tienen aceleraciones superiores a los 250 gales.

La aceleración sísmica se estimó partiendo de los valores regionales de amenaza según el estudio de Amenaza Sísmica Nacional (SGC, 2017) y se corroboraron en las zonas de piedemonte. Se estimó la aceleración horizontal pico efectiva en superficie considerando la respuesta local o el efecto de sitio.

Finalmente se aplicó a partir de la geometría y morfometría de la cuenca el efecto topográfico de amplificación y deamplificación de la aceleración sísmica empleando los principios de Jibson (1987), Faccioli (1991) y la AFPS (1995) logrando diferenciar el coeficiente en las partes cóncavas y convexas de la superficie del terreno, intermedios disponibles en el Anexo 92 Condicionantes y detonantes MM Amenaza (Figura 55).



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

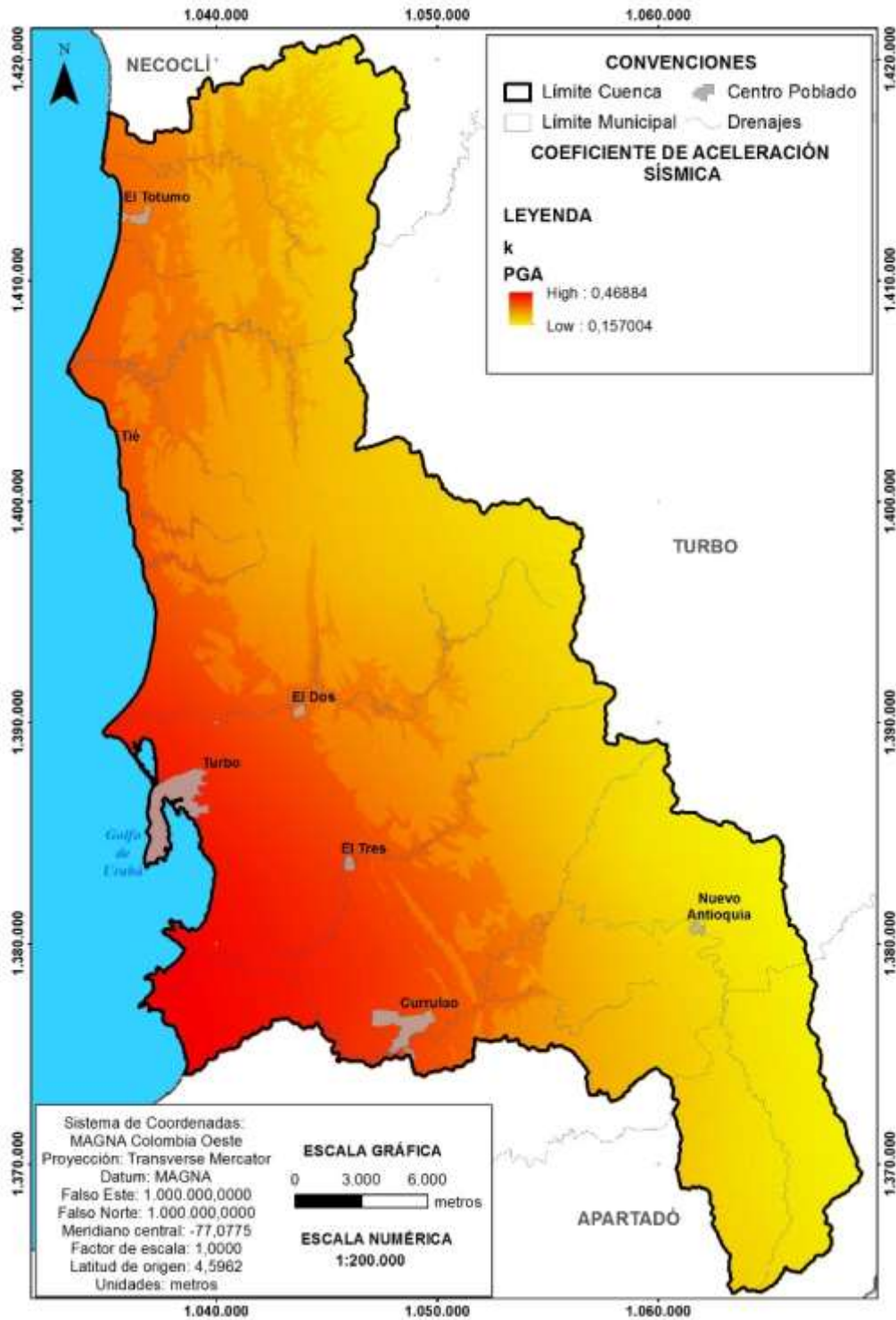


Figura 55. Coeficiente de aceleración sísmica  
Fuente: Elaboración propia.



#### 7.6.1.6.4 Modelo geológico geotécnico

Representa las zonas geotécnicas de comportamiento homogéneo, contiene polígonos que simbolizan rocas y suelos en superficie clasificados según lo propuesto por la IAEG (1981), Montero, González, Ángel (1982) y la "Propuesta metodológica para la cartografía geológica aplicada a geomecánica", desarrollada dentro del "Proyecto Compilación de la Información Geomecánica", elaborado por INGEOMINAS (2005), hoy SGC. Cada zona geotécnica homogénea generaliza materiales que dan origen a las formaciones superficiales y el suelo que resulta de la degradación o transporte de los mismos.

El comportamiento geomecánico de las rocas y suelos está determinado principalmente por propiedades físicas como origen, litología, composición mineralógica, textura, dureza, condición estructural, grado de fracturamiento y de meteorización, granulometría, humedad y consistencia. Los mapas de geología para ingeniería constituyen la base cartográfica temática para la elaboración de mapas de zonificación geomecánica y otros documentos de utilidad para ingeniería.

Partiendo de los mapas de susceptibilidad a movimientos en masa y de unidades geológicas superficiales se orientó los trabajos de reconocimiento en campo, caracterización mecánica in situ y muestreo para caracterización en laboratorio. Para las rocas se realizó medida de resistencia indirecta mediante ensayo tipo esclerómetro, se revisó la condición de las discontinuidades y los rasgos estructurales con el fin de evaluar los parámetros de resistencia del macizo rocoso. Por otra parte, para suelos y depósitos se realizaron mediciones indirectas in situ de resistencia al corte con ensayos tipo penetrómetro y torvante o veleta, a su vez se ejecutaron apiques para el muestreo representativo que permitió la ejecución de los ensayos requeridos para la calificación geotécnica y agrológica sobre propiedades índice (clasificación: granulometría, límites, peso unitario) y humedad de estos materiales, los cuales complementan los atributos de cada una de las unidades cartografiadas apoyando la evaluación geológico – geotécnica. (Ver anexo 91 caracterización geotécnica).

Como se indicó anteriormente, los parámetros de resistencia se asignaron considerando los resultados de laboratorio del componente de geología y los parámetros que dan cuenta del comportamiento geomecánico en otros estudios precedentes ya indicados en los apartes de información antecedente. Los parámetros de densidad y resistencia al corte para un modelo de falla drenada basada en el criterio de Mohr-Coulomb bajo un mecanismo de falla traslacional se muestran en la Tabla 33.

Tabla 33. Parámetros geomecánicos evaluados para cada unidad geológica superficial

Zona Geotécnica	Descripción	Espesor	phi $\phi'$ (grados)	cohesión c' (kPa)	gamma $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )
UGS					
Stc1	Depósitos de deltas	15	14	15	16
Stc2	Barra intermareal	11	19	11	16



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

Zona Geotécnica UGS	Descripción	Espesor	phi ø' (grados)	cohesión c' (kPa)	gamma γt (kN/m <sup>3</sup> )
Stc6	Planicie o llanura intermareal	18	21	15	15
Rbpavad-Srs1b	Roca dura Ngps1 meteorizada	12	21	16	17
Rdpavad-Srs1a	Roca dura Ngps1 meteorizada	9	21	16	18
Rdpavae-Srs1a	Roca dura Ngps1 en ambiente estructural	6	23	19	18
Rdpavae-Srs1b	Roca dura Ngps1 en ambiente estructural	8	23	28	19
Rbupiad-Srs1b	Roca blanda Ngpi1 meteorizada	14	24	22	17
Rbupiad-Srs1a	Roca blanda Ngpi1 meteorizada	15	24	23	17
Rbupiad-Srs1c	Roca blanda Ngpi1 meteorizada	13	25	21	17
Rbupiad-Srs1d	Roca blanda Ngpi1 en ambiente estructural	7	25	25	17
Rmbamad-Srs1	Roca moderadamene blanda Ngam meteorizada	11,8	25	25	18
Rbfamad-Srs1	Roca blanda Ngam meteorizada	14	25	26	17
Rbfamae-Srs1	Roca blanda Ngam en ambiente estructural	4	26	25	18
Rmbamae-Srs1	Roca en ambiente estructural meteorizada	9	26	28	17
Rbps2ad-Srs1	Roca blanda Ngps2 meteorizada	9	27	24	16
Strae	Suelos antropogénicos de composición heterogénea	11	31	12	17
Stf3	Terraza aluvial	16	31	16	19
Stf2-Stf3	Llanuras de inundación y terrazas aluviales	14	31	19	16
Stf1	Aluvial de lecho fluvial	12	35	9	18

Fuente: Elaboración propia

Adicional en las Figura 56 a la Figura 60 se presenta la distribución espacial de las unidades geológicas superficiales usadas dentro del modelo geológico geotécnico y de cada parámetro geomecánico requerido dentro de la evaluación por movimientos en masa.



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

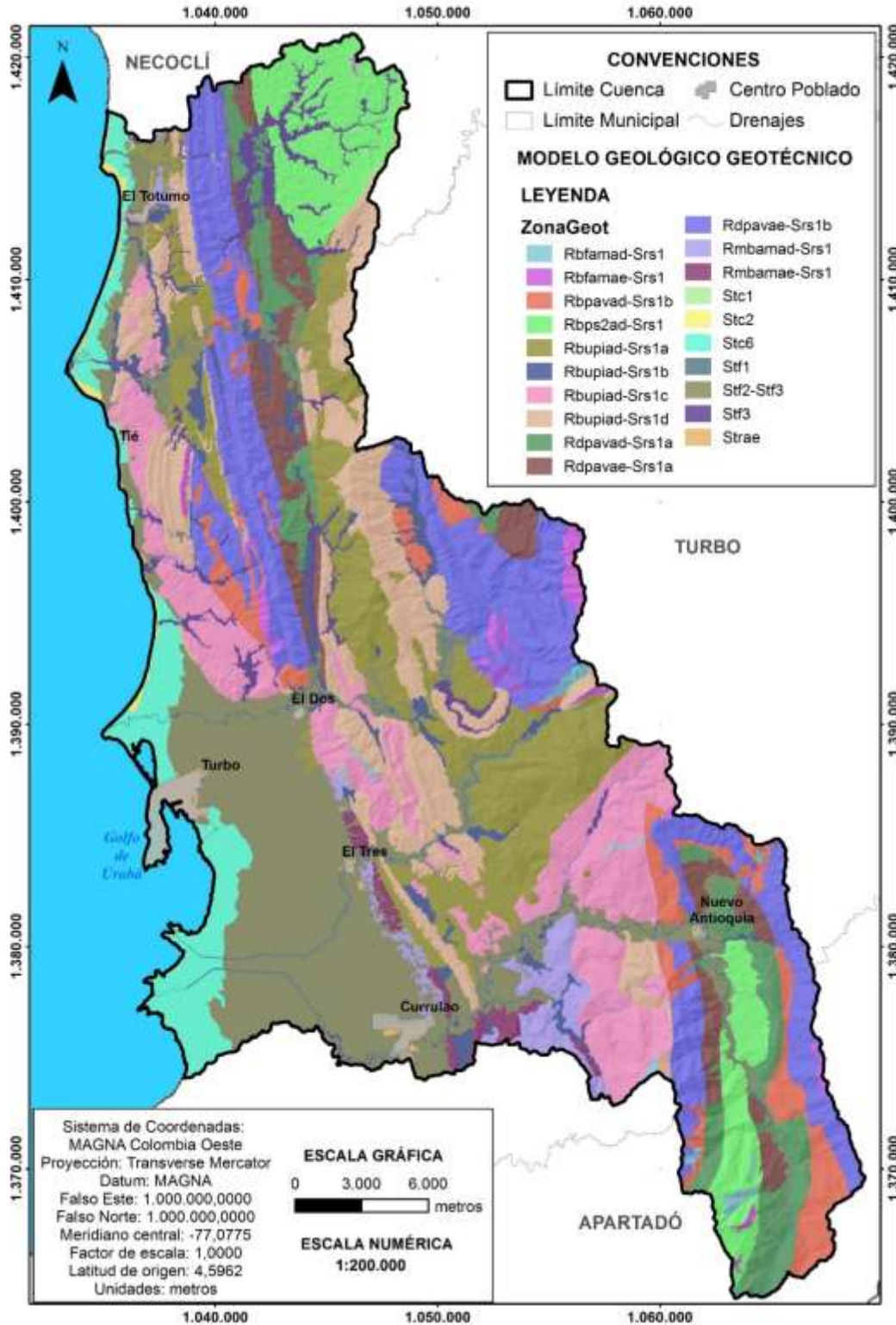


Figura 56. Modelo geológico geotécnico  
Fuente: Elaboración propia.



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

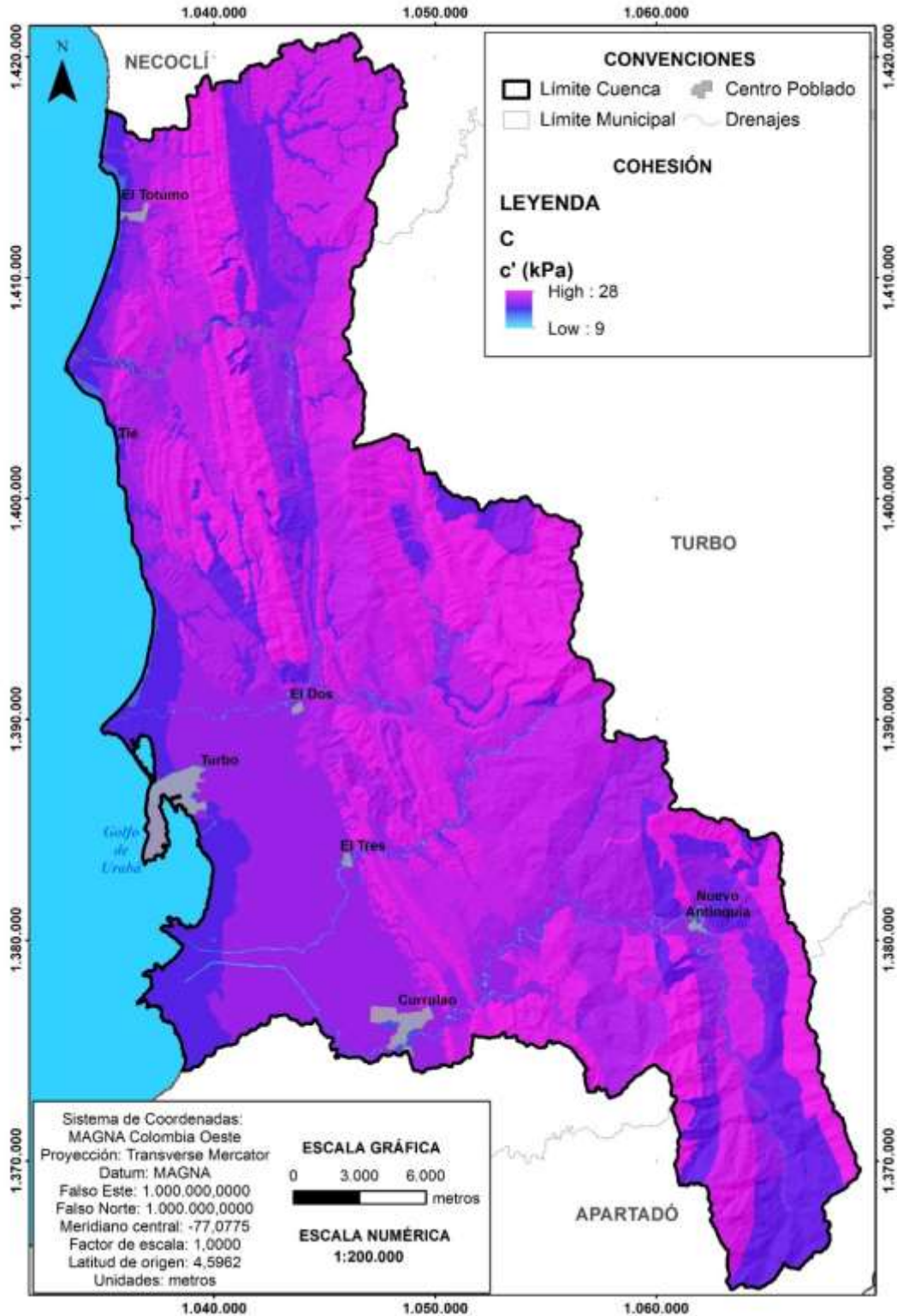


Figura 57. Cohesión de suelos  
Fuente: Elaboración propia.





FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

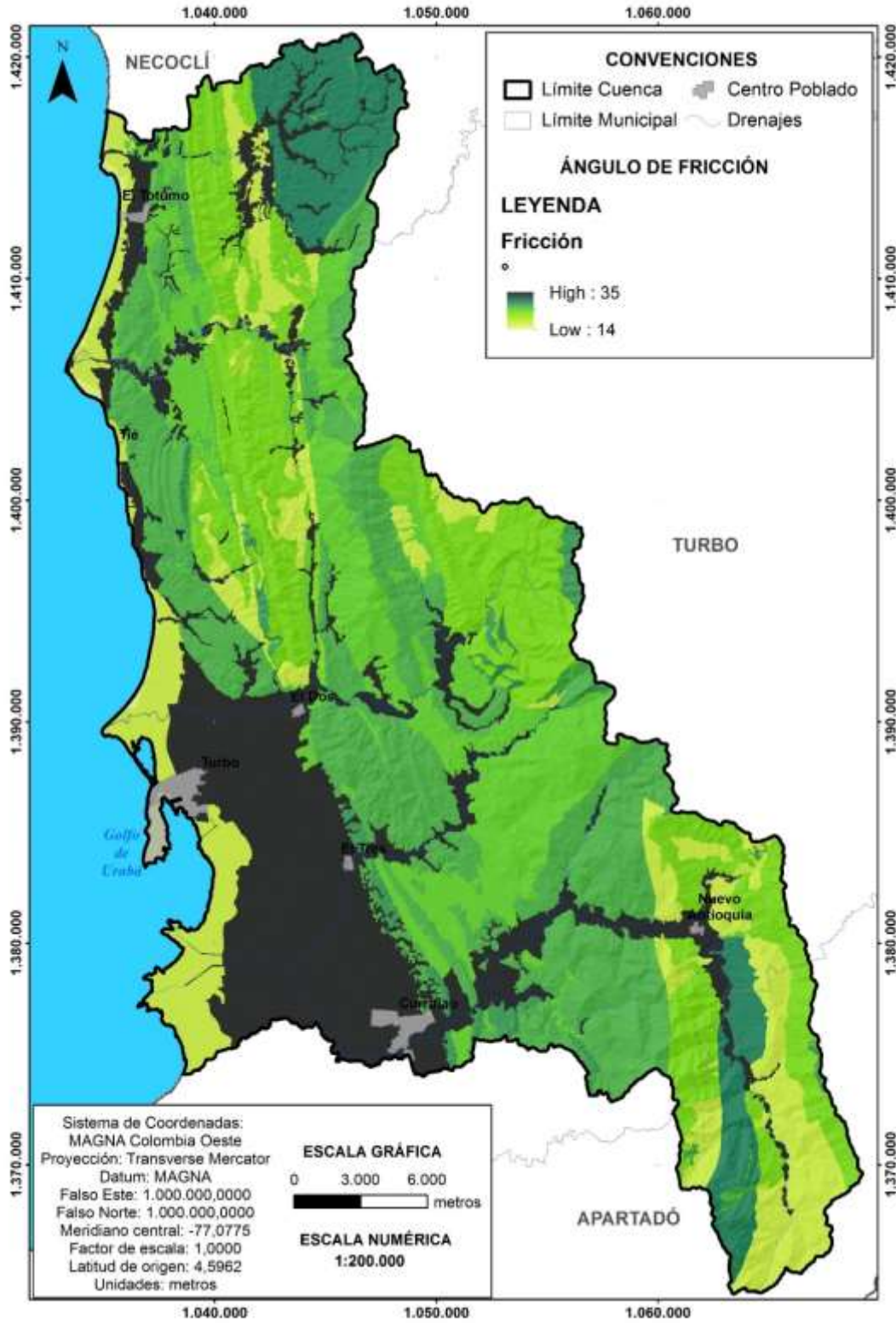


Figura 58. Ángulo de fricción  
Fuente: Elaboración propia.



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

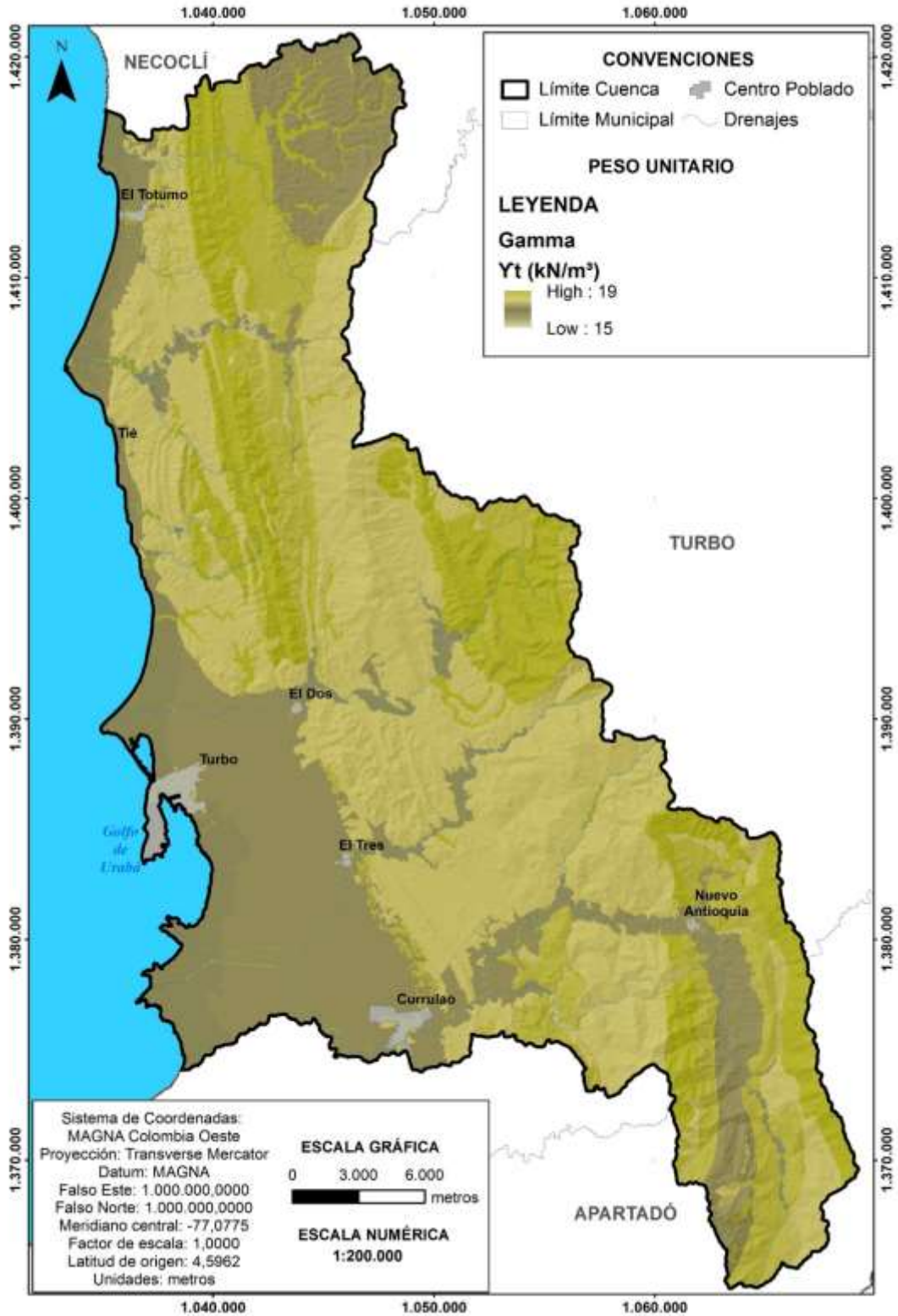


Figura 59. Peso unitario  
Fuente: Elaboración propia.



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

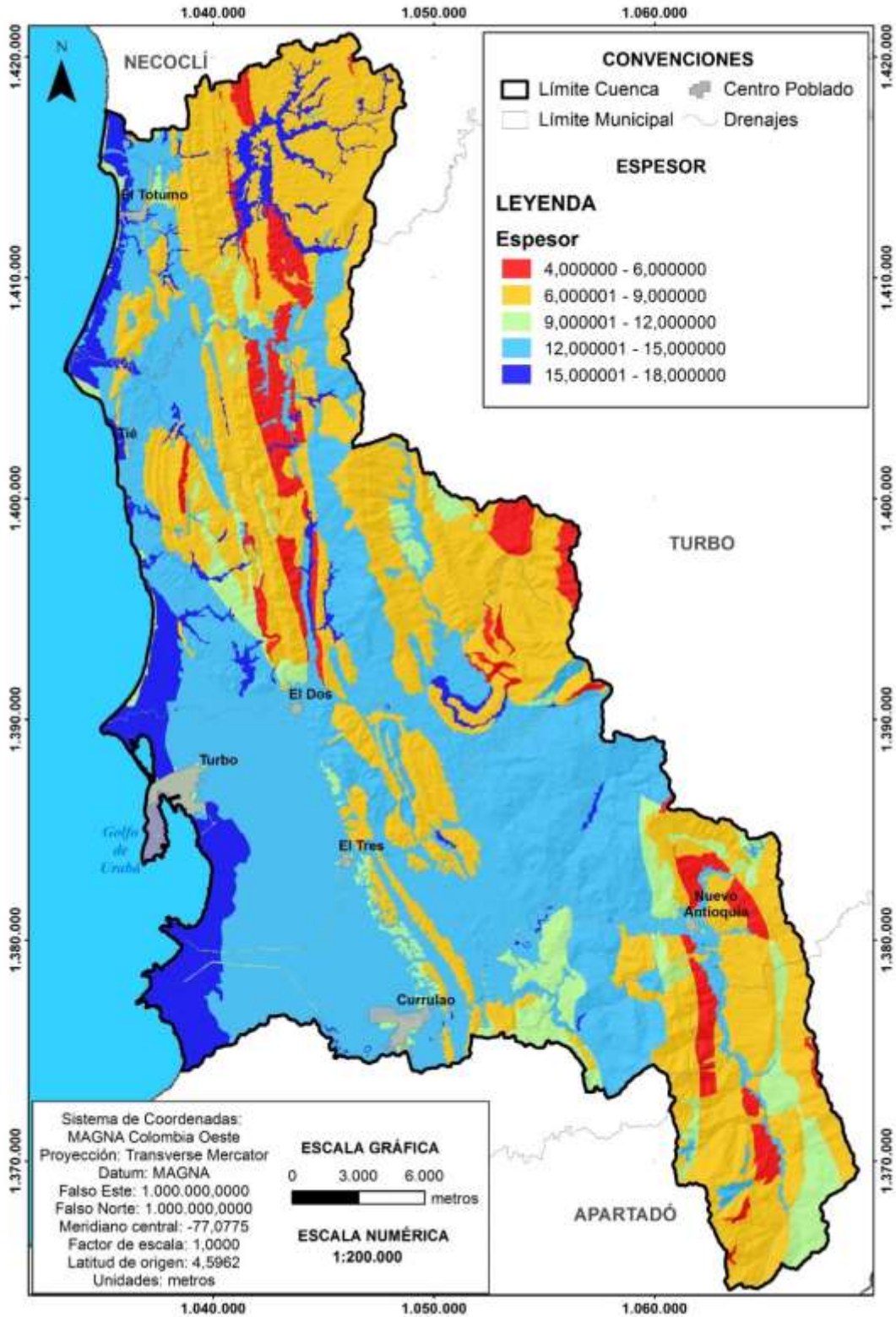


Figura 60. Espesor  
Fuente: Elaboración propia.



### 7.6.1.7 Análisis de la zonificación de amenaza por movimientos en masa

La zonificación de amenaza presentada es el resultado de la evaluación con método probabilista planteado a partir de la combinación de los escenarios mostrados anteriormente en todas las condiciones posibles de profundidades de superficies de falla y presencia o ausencia de detonantes lluvia y sismo. En el anexo 93 se menciona los escenarios (cerca de 100 condiciones evaluadas combinadas en 10 escenarios) se presentan los resultados de la evaluación de cada posibilidad. Es evidente que las condiciones de saturación y fuerzas sísmicas actuantes agravan la condición de inestabilidad de las laderas, por lo cual el resultado combinado refleja en parte dicha presencia de detonantes. Si bien las laderas son susceptibles a movimientos en masa, la ocurrencia de estos es selectiva en ciertas zonas que podrían ser muy específicas dentro de la cuenca.

Al reducir la saturación de los suelos y sin la influencia de eventos sísmicos, lo que corresponde con los escenarios más favorables, la condición de estabilidad es considerablemente mejor en toda la cuenca teniendo una importante proporción de la misma en zona de amenaza baja por movimientos en masa. A medida que se van incrementando los valores de saturación o si se incluye la acción del sismo, lo que corresponde con escenarios intermedios a favorables, aparecen en los resultados zonas de amenaza media y alta más amplias. Finalmente, al aplicar valores altos de saturación y la acción del sismo, resultan zonas de amenaza alta más marcadas y zonas de amenaza media dominando las áreas en las zonas de ladera.

La amenaza resultante en términos probabilísticos, la cual combina todos los escenarios evaluados, presenta valores bajos con proporción alrededor del 60%, medios cercanos al 29% y altos en el resto de la cuenca con un 11% como se observa en la Figura 61. En la parte norte se presentan pendientes relativamente mayores y niveles moderados de espesor de láminas de agua para los diferentes periodos de retorno. Así mismo, se observan valores geomecánicos menores que dan mayor propensividad a la inestabilidad de taludes de las unidades geológicas superficiales. En sectores del este de la cuenca se presentan rangos de amenaza alta, que se logran contrastar en algunos sectores por el resultado del coeficiente de aceleración sísmica de la cuenca. Por otra parte, en la cuenca baja existe una variación relativamente baja de pendientes y unidades litológicas recientes de origen fluvial y antropogénico que se reflejan en parámetros de roca y suelo que favorecen la estabilidad de los taludes en este sector.

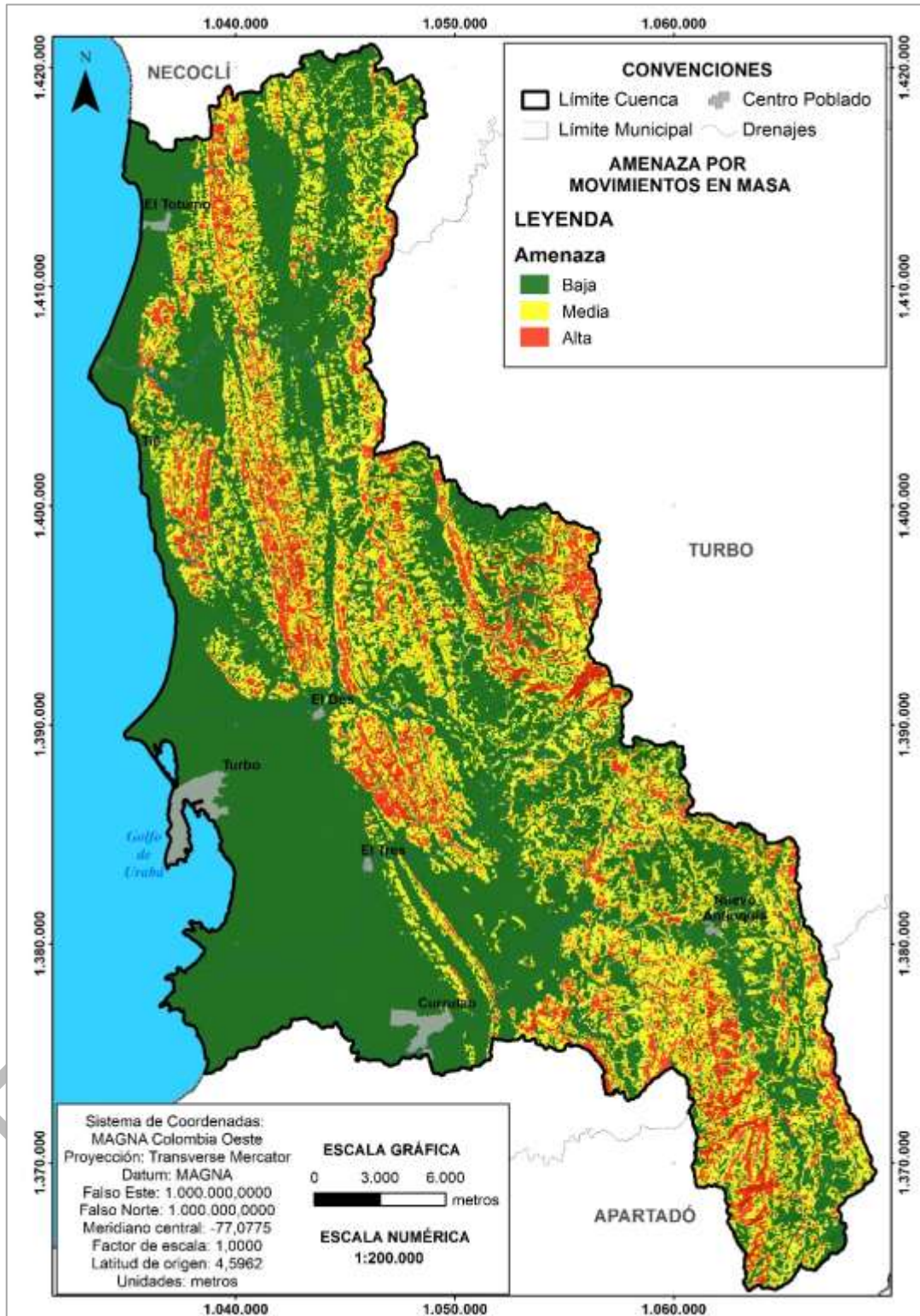


Figura 61. Amenaza por movimientos en masa  
Fuente: Elaboración propia.



### 7.6.1.8 Validación en campo y con el consejo de cuenca de la condición de amenaza por movimientos en masa

Una vez realizada la zonificación de amenaza se llevó a cabo un campo de validación de los resultados buscando verificar las tres zonas de amenaza: alta, media y baja. Se verificaron puntos en tierra distribuidos en la cuenca y un vuelo con dron sobre el sector de Alto de Mulatos con los cuales se encontró un buen resultado del ejercicio de zonificación. El 2% de los puntos no coincidieron con la condición evaluada en los cuales la amenaza calculada arrojó calificación baja cuando en campo se veía representada al menos una condición media, los demás puntos identificados coincidieron en la existencia o ausencia de amenaza.

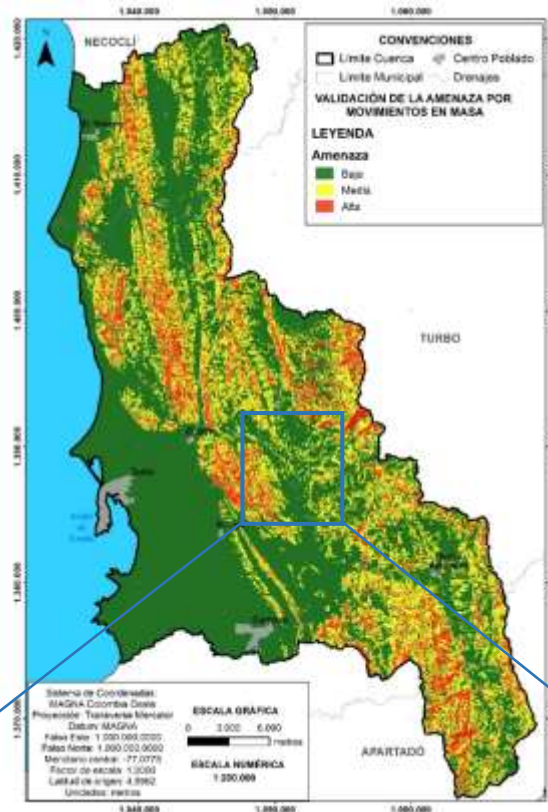


Figura 62. Validación de la amenaza por movimientos en masa  
Fuente: Elaboración propia.





Figura 63 Panorámica sector Manuel Cuello (arriba) y Deslizamientos típicos en márgenes de cauces (abajo). Fuente: Elaboración propia.



Los resultados de la zonificación de la amenaza por movimientos en masa también fueron socializados y validados con los líderes de consejo de cuenca de manera tal que la condición de amenaza no solo tuviera un control físico en campo sino que fuera retroalimentada por el conocimiento de la comunidad que la habita.



Figura 64. Taller de resultados de la caracterización de las condiciones de riesgos con el consejo de cuenca, municipio de Apartado.



Figura 65. Taller de resultados de la caracterización de las condiciones de riesgos con el consejo de cuenca, municipio de Turbo.







Figura 66. Socialización de resultados de la caracterización de las condiciones de riesgos con el consejo de cuenca, municipio de Necoclí.

#### 7.6.1.9 Recomendaciones finales que definan las propuestas de intervenciones prospectivas y prescriptivas

La inestabilidad que se evidencia en la Cuenca Río Turbo-Currulao, es una amenaza natural resultado de la interacción de variables abióticas, por consiguiente las zonas establecidas como de alta y media inestabilidad geológica se califican como frágiles y se deben diferenciar en el momento de la zonificación señalándolas y tratándolas como áreas de conservación y protección ambiental.

La interdisciplinariedad en el ordenamiento ambiental de la Cuenca Río Turbo-Currulao es fundamental para entender la real cabida de las temáticas asociadas a las condiciones socioeconómicas del área y deben materializarse de manera clara en este instrumento de gestión ambiental, el cual debe dar las pautas para el ordenamiento territorial.

Las causas o detonantes para que se generen los movimientos en masa dentro de la cuenca son:

- Procesos tectónicos, que están ocurriendo actualmente en el territorio.
- Procesos antrópicos, relacionados con la acción de la población sobre el medio ambiente, por ejemplo, generando deforestación en una zona de ladera o incendios forestales que desestabilicen una pendiente.
- Procesos litológicos, donde se presentan materiales con baja cohesión o poco consolidados.
- Procesos topográficos, zonas con pendientes altas en donde se supera el ángulo de reposo de un material.
- Procesos climáticos, existen precipitaciones frecuentes con un régimen de lluvias elevado.

Los resultados aquí consignados deben tenerse en cuenta en la etapa de formulación y zonificación, ya que las zonas críticas de amenaza alta debe ser un condicionante para los usos propuestos del suelo, además establecer requerimientos para estas zonas propensas a la ocurrencia de eventos amenazantes en la cuenca, especialmente en el área rural.

En la Tabla 34 se presenta los resultados de la recopilación de información a nivel municipal.

Tabla 34. Análisis de resultados por municipio – Movimientos en masa

MUNICIPIO	Procesos Totales	Procesos caracterizados	Observaciones
TURBO	282	52	En los sectores de Tío López, Caracolí (Alto de Mulatos), La Trampa, La Carbonera, La Playona y Manuel Cuello se presenta gran cantidad de procesos de movimientos en masa de magnitudes importante, llegando a afectar



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

MUNICIPIO	Procesos Totales	Procesos caracterizados	Observaciones
			la estructura de vías principales, y algunas obras de arte de las mismas.
NECOCLÍ	138	7	En los sectores de Aguas Claras, La Caña y Barro Arriba se observan laderas de pendientes medias a suaves en general estables, con algo de reptaciones pequeñas. En la margen derecha de la quebrada El Barro recientemente se presentó un deslizamiento que tapo el cauce de la quebrada. En el poblado del Totumo se han presentado afectaciones por deslizamiento de materiales del talud superior u oriental de la vía nacional.
APARTADÓ	120	7	En el sector de Playa Larga sobre las dos márgenes del río Currulao se evidencian procesos de movimientos en masa de magnitudes importante.

Fuente: Elaboración propia.

En el sector de Playa Larga, sobre las dos márgenes del río Currulao se evidencian varios procesos de movimientos en masa de magnitudes importantes, algunos activos (recientes) y otros antiguos relativamente estabilizados por si solos, con cobertura vegetal. En algunos los materiales deslizados pueden llegar hasta el cauce del río.

En el sector de Tío López se evidencian algunos procesos de movimientos en masa de magnitud importante, afectando la estabilidad de algunos tramos de la vía a Nueva Antioquia y predios de cultivos y/o ganadería.

En el sector de Alto de Mulatos, sobre ambas márgenes del río Guadualito en suelos arcillosos plásticos se presenta gran cantidad de procesos de movimientos en masa de magnitudes importante, llegando a afectar la estructura de la vía principal en una longitud de más de 3Km y varias obras de arte. Estos procesos han interrumpido el tránsito por la vía en varias ocasiones, en distintos sitios.

Se presentan varios procesos de socavación lateral de magnitud importante en ambas márgenes del río Guadualito.

En el sector de Turbo sobre la unidad Ngam se evidencian laderas estables.

La Carbonera. En la unidad Ngpi3 se evidencian laderas estables.

En general la vía de acceso a La Carbonera y Cruz de Hueso se encuentra en muy mal estado, debido a la carencia de obras de manejo de agua de escorrentía, presenta gran cantidad de inestabilidades laterales de la banca y taludes, surcos de erosión y cárcavas profundas a lo largo de la vía, como también pendientes longitudinales muy fuertes, un deslizamiento reciente que afectó completamente la banca de la vía, como tampoco existe puente para el cruce sobre el río Currulao saliendo de la población de Nueva Antioquia.

En el sector La Playona, se evidencia de manera generalizada gran número de cicatrices de deslizamientos en suelos residuales de Ngpi2 de forma alargada, con algunos de dichos procesos de movimientos en masa de magnitudes importantes, algunos antiguos



ya cubiertos por vegetación y otros activos y recientes, afectando predios dedicados a la ganadería.

La vía El Dos - La Playona se encuentra en mejoramiento, por parte de la comunidad, con el objeto de disminuir la alta pendiente longitudinal de algunos tramos de la vía y aumentar el ancho de la calzada de la misma. En los taludes en corte se observan alta pendiente con procesos de erosión en surcos y cárcavas, igualmente se evidencia la falta de material de afirmado y obras de drenajes.

En general en el sector de la vereda La Esperanza se observan taludes altos con pendientes fuertes y estables, cubiertos por bosques nativos.

En el sector de Manuel Cuello al norte la vía se encuentra en mal estado presentado varios sitios inestables por socavación lateral de la quebrada Los Indios, afectando la banca de la vía, como también, carencia de obras de manejo de agua de escorrentía. Se evidencia de manera generalizada gran cantidad de procesos de reptación en suelos residuales de Ngpi2.

En el sector de Manuel Cuello se evidencia de manera generalizada gran cantidad de procesos de reptación en suelos residuales de Ngpi2 y deslizamientos.

En general se presentan procesos de socavación lateral en ambas márgenes del río Turbo, especialmente en el sector El Porvenir.

En el sector de Aguas Claras se observan laderas de pendientes medias a suaves en general estables, con algo de reptaciones pequeñas.

Sector El Totumo se observan laderas de pendientes suaves, estables, con algo de reptaciones pequeñas.

En el sector La Caña se observan laderas de pendientes suaves en general estables, con algo de reptaciones pequeñas.

Sector de La Caña se observan varios deslizamientos con el río Caimán Viejo en la pata. Procesos que en varios sectores afectan la estabilidad de la banca de vía.

En el sector Casablanca se observan laderas de pendientes suaves, estables, con algo de reptaciones pequeñas.

En el sector de Barro Arriba y Bellavista en general se observan laderas de pendientes suaves, estables. Materiales de menor plasticidad.

En el sector Barro Arriba se observan laderas de pendientes suaves, estables, con algo de reptaciones pequeñas. A excepción del deslizamiento presentado sobre la margen derecha de la quebrada El Barro que la tapó y fue necesario construir una variante temporal sobre la margen izquierda para la continuidad del flujo de dicha quebrada.

#### **7.6.1.10 Identificación de necesidades de información e investigación**

Si se requiere analizar en detalle predios o áreas particulares que vayan a ser objeto de cualquier destino de uso de aprovechamiento conviene realizar estudios detallados de



amenaza y riesgo debido a que los resultados obtenidos consideran las condiciones que favorecen o desfavorecen la ocurrencia de movimientos en masa, pero no indican directamente su magnitud ni alcance. Por tanto, la zonificación presentada es un indicador de amenaza por movimientos en masa y no reemplaza los análisis detallados de las áreas que se verían directamente afectadas por la ocurrencia de movimientos en masa. Tampoco evalúa volumen desplazado ni distancia de viaje, características necesarias para la estimación detallada de vulnerabilidad y riesgo en elementos expuestos.

Considerando lo anterior se recomienda condicionar el uso de las áreas en amenaza alta por movimientos en masa a la elaboración de análisis determinísticos detallados que permitan definir las porciones de área que realmente se encuentran en amenaza alta para que dependiendo del uso que se le vaya a dar se plantee la posibilidad de adaptarse y convivir con los movimientos en masa o el planteamiento de obras civiles que los mitiguen. Los estudios locales y puntuales deben incluir como mínimo geología, geomorfología, coberturas vegetales y zonificación geotécnica, insumos necesarios para análisis de estabilidad de taludes con diseño de alternativas de mitigación de amenaza como reconfiguración morfométrica de la ladera, obras civiles de contención, manejo de aguas superficiales y subsuperficiales, bioingeniería y renaturalización o de reducción de riesgo como mejoramiento integral de vivienda, relocalización o reasentamiento de la población e infraestructura expuesta en dichas zonas.

Al final del capítulo de gestión de riesgo se compilan todas las recomendaciones de necesidades de información e investigación consideradas integralmente para todas las amenazas, vulnerabilidades y riesgos.

#### **7.6.2 Identificación, clasificación y caracterización de fenómenos amenazantes y evaluación de la amenaza por inundación**

El análisis de inundaciones para la cuenca hidrográfica del río Turbo-Currulao se realizó con base en los datos obtenidos a partir de información secundaria y de campo. Se empleó la metodología sugerida por el Protocolo y se aplicaron criterios adicionales para la definición de las áreas de afectación y la calificación de la amenaza final, de manera que no solamente se califique de manera geomorfológica el área sino que se apliquen los criterios hidráulicos considerados en los estudios antecedentes en combinación con los criterios geomorfológicos, paleoinundaciones y estimación de áreas de afectación según el confinamiento de los cauces en la parte alta y media de la cuenca y desconfinamiento en el área restante.

El procedimiento para evaluar las características de la amenaza por inundación, se indica en la Figura 67, en este caso se concentró en integrar información del catálogo de eventos, informes de zonificación nacional y regional.

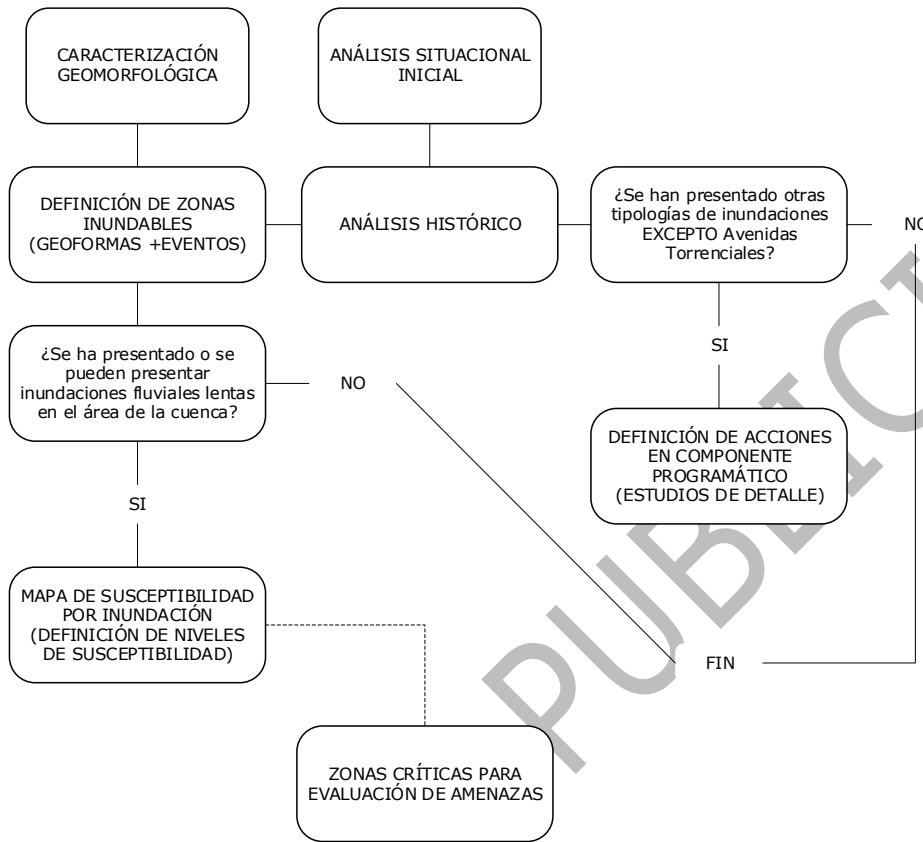


Figura 67. Diagrama de flujo para la evaluación de la susceptibilidad por inundaciones fluviales lentas. Fuente: Recuperado de (Fondo Adaptación, 2014).

### 7.6.2.1 Información básica e insumos utilizados

En la Tabla 35, se presenta una lista de la información utilizada en la caracterización de las variables del modelo de susceptibilidad y amenaza por inundación en la cuenca Río Turbo-Currulao.

La base cartográfica para la cuenca Río Turbo-Currulao en escala 1:25.000 es la cartografía IGAC, comprende curvas de nivel, redes de drenaje, cuerpos de agua, orografía, límites administrativos, zonas urbanas, rurales dispersas e infraestructura, la cual se encuentra referenciada en el sistema Magna Sirgas.

Tabla 35. Información usada en la modelación de susceptibilidad y amenaza por inundación.

COMPONENTE	INSUMOS	ESCALA	FORMATO	FUENTE
General	Cartografía base	1:25.000	GeoDataBase	IGAC
Modelo digital de elevación (DEM)	DEM de la cuenca	Píxeles de 5*5 metros	En dato continuo	IGAC
"Amenazas Costeras"	NA	pdf		Instituto de Hidrología,



COMPONENTE	INSUMOS	ESCALA	FORMATO	FUENTE
Puntos SIMMA Inventario	NA Georeferenciación eventos de inestabilidad	Detalle	xlsx GeoDataBase	Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM SGC, 2014 Propia
Geología	Mapa de la Cuenca Río Turbo-Currulao	1:25.000	GeoDataBase	Propia
Geomorfología	Mapa de la Cuenca Río Turbo-Currulao (Geomorfología_SGC) Estudio evolutivo del medio fluvial mediante análisis multitemporal de imágenes de sensores remotos y fotografías aéreas del área.	1:25.000	GeoDataBase	Propia
Cobertura y usos del suelo	Mapa de la Cuenca Río Turbo-Currulao	1:25.000	GeoDataBase	Propia
Amenaza	Detonante sismo	1:25.000	GeoDataBase	Propia
Amenaza inundación Detonante lluvia	por Mapa de Amenaza Datos Pluviométricos	1:100.000	Shapefile Shapefile	IDEAM SGC

Fuente: (Fondo Adaptación, 2014)

El análisis de los eventos históricos, permite inferir un tratamiento probabilístico de la información y su relación con las geoformas asociadas en el área, lo cual se tuvo en cuenta en el momento de la zonificación de la susceptibilidad a los eventos por inundación.

#### 7.6.2.2 Descripción metodológica para obtener susceptibilidad a inundaciones

La zonificación de la susceptibilidad se realizó a través de un análisis geomorfológico - histórico, donde se efectuó una interpretación de las geoformas y relieves de ambiente fluvial, aluvial y lacustrino a partir de:

- Imágenes satelitales.
- DEM.
- Modelo de sombras y pendientes.
- Análisis de la información histórica.

El objetivo de dicho análisis fue el de encontrar vestigios y evidencias físicas de inundaciones dentro de la cuenca. Una vez identificadas las geoformas (subunidades geomorfológicas y las unidades de terreno) relacionadas con los eventos de desplazo de las aguas de un río, estas fueron categorizadas según la relación con la actividad fluvial (antigua, efímera o activa).



### 7.6.2.3 Descripción de variables de susceptibilidad a inundaciones

Las variables que se tuvieron en cuenta para definir la susceptibilidad a inundaciones en el área de la cuenca hidrográfica del río Turbo-Currulao fueron la localización de inundaciones (LIN) y los factores condicionantes (Subunidades Geomorfológicas y Unidades de Terreno) como se ilustra en la Figura 68.

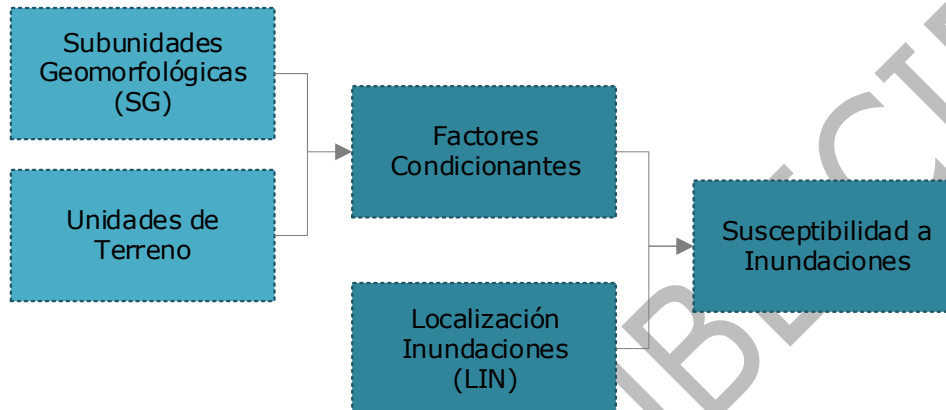


Figura 68. Variables que determinan a la zonificación de la susceptibilidad a la amenaza por inundaciones

- **Localización de inundaciones (LIN)**

Los fenómenos localizados y evaluados son todos aquellos que hacen parte del inventario de inundaciones de la cuenca hidrográfica. Estos registros son fundamentales pues a partir de ellos se castigan las Unidades de Terreno y Subunidades Geomorfológicas que participan en el modelamiento de la susceptibilidad.

El registro de inundaciones históricas consideradas son el consolidado de la revisión de fuentes secundarias, en las que se describen su ubicación por asociación a proximidad de puntos o zonas de referencia (trabajadas en formato vector tipo punto) sumado a la base georeferenciada construida durante la visita de campo y las diferentes actividades participativas del POMCA.

En general, para la cuenca hidrográfica del río Turbo-Currulao, la mayor incidencia por inundaciones está estrechamente relacionada a las principales corrientes hídricas como lo son el río Currulao, Guadualito, Turbo, Caiman Nuevo y Caiman Viejo.

- **Subunidades geomorfológicas (UG)**

Corresponde a geformas generadas a lo largo de un sistema fluvial como resultado de los procesos erosivos y de acumulación que varían en función de su pendiente, caudal y carga de sedimentos. Cada subunidad se identifica según el material del depósito, morfogénesis, pendientes, contrastes morfológicos (rugosidad, curvatura, etc.) y cronología (Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2012); siendo esta última característica la que permite determinar las áreas susceptibles a inundarse según la temporalidad del proceso (activos, intermitentes o antiguos). Este parámetro fue



analizado con base en las unidades geomorfológicas según Carvajal definidas para el área de la cuenca hidrográfica (Figura 69 y Tabla 36).

Tabla 36. Susceptibilidad por subunidades geomorfológicas a inundaciones

ID_UN_GEOM	Unidad	Región	Calif
Sbh	Barra Homoclinal	Origen estructural (S)	Baja
Ssh	Sierra Homoclinal	Origen estructural (S)	Baja
Sss	Sierra Sinclinal	Origen estructural (S)	Baja
Ssan	Sierra anticlinal	Origen estructural (S)	Baja
Sshlc	Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal	Origen estructural (S)	Baja
Sshle	Ladera estructural de Sierra homoclinal	Origen estructural (S)	Baja
Ssslc	Ladera de contrapendiente de sierra sinclinal	Origen estructural (S)	Baja
Sssle	Laderas estructurales de sierra sinclinal	Origen estructural (S)	Baja
Sc	Cuesta	Origen estructural (S)	Baja
Scle	Ladera estructural de cuesta	Origen estructural (S)	Baja
Sele	Ladera estructural de espinazo	Origen estructural (S)	Baja
Se	Espinazo	Origen estructural (S)	Baja
Sle	Ladera estructural	Origen estructural (S)	Baja
Slf	Lomo de falla	Origen estructural (S)	Baja
Slcp	Ladera de contrapendiente	Origen estructural (S)	Baja
Sclc	Ladera de contrapendiente de cuesta	Origen estructural (S)	Baja
Selc	Ladera de contrapendiente de espinazo	Origen estructural (S)	Baja
Sles	Ladera escalonada	Origen estructural (S)	Baja
Sp	Planchas estructurales	Origen estructural (S)	Baja
Sbf	Terraza o berma de fallamiento	Origen estructural (S)	Baja
Svl	Volcán de lodo	Origen estructural (S)	Baja
Dco	Cono o lóbulo coluvial	Origen denudacional (D)	Baja
Dcr	Colina residual	Origen denudacional (D)	Baja
Dcrem	Cerro remanente o relicto	Origen denudacional (D)	Baja
Dcrs	Cerro residual	Origen denudacional (D)	Baja
Deem	Escarpe de erosión mayor	Origen denudacional (D)	Baja
Deeme	Escarpe de erosión menor	Origen denudacional (D)	Baja
Dga	Glacís de acumulación	Origen denudacional (D)	Baja
Dge	Glacís de erosión	Origen denudacional (D)	Baja
Dlcr	Ladera cóncava de retroceso	Origen denudacional (D)	Baja
Dld	Loma denudada	Origen denudacional (D)	Baja
Dldemm	Loma denudado moderado de longitud media	Origen denudacional (D)	Baja
Dle	Ladera erosiva	Origen denudacional (D)	Baja
Dlo	Ladera ondulada	Origen denudacional (D)	Baja
Dlor	Loma residual	Origen denudacional (D)	Baja
Dlres	Loma residual	Origen denudacional (D)	Baja
Dmo	Montículos y ondulaciones denudacionales	Origen denudacional (D)	Baja
Dsd	Sierra denudada	Origen denudacional (D)	Baja
Fa	Dique natural o albardón	Origen Fluvial (F)	Media
Faa	Abanicos fluviotorrenciales de Piedemonte	Origen Fluvial (F)	Media
Fat	Abanicos terraza	Origen Fluvial (F)	Media
Fbl	Barra longitudinal	Origen Fluvial (F)	Media
Fca	Cauce activo actual	Origen Fluvial (F)	Alta
Flg	Lagunas	Origen Fluvial (F)	Alta
Fma	Meandro abandonado	Origen Fluvial (F)	Media
Fpac	Plano aluvial confinado	Origen Fluvial (F)	Media
Fpi	Plano o llanura de inundación	Origen Fluvial (F)	Alta
Fta	Terraza de acumulación	Origen Fluvial (F)	Media
Fta1	Terraza de acumulación nivel 1	Origen Fluvial (F)	Media
Fta2	Terraza de acumulación nivel 2	Origen Fluvial (F)	Media
Fta3	Terraza de acumulación nivel 3	Origen Fluvial (F)	Media
Ftas	Terraza de acumulación subreciente	Origen Fluvial (F)	Media





FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

ID UN GEOM	Unidad	Región	Calif
Mbl	Barras litorales	origen marino, litoral costero (M)	Alta
Mcc	Crestas y artesas de playa antiguas	origen marino, litoral costero (M)	Alta
Mci	Canales Intermareales	origen marino, litoral costero (M)	Alta
Mcpy	Complejo de crestas y artesas de playa	origen marino, litoral costero (M)	Alta
Mdf	Delta de flujo de marea	origen marino, litoral costero (M)	Alta
Mdr	Delta de reflujo de marea	origen marino, litoral costero (M)	Alta
Mlc	Laguna costera	origen marino, litoral costero (M)	Alta
Mlli	Llanura intermareal	origen marino, litoral costero (M)	Alta
Mpl	Playas	origen marino, litoral costero (M)	Alta
Mpv	Planos y llanuras con vegetación halófila	origen marino, litoral costero (M)	Alta
Mtm	Terrazas marinas	origen marino, litoral costero (M)	Alta
Ac	Cantera	Origen antrópico (A)	Media
Aca	Canales artificiales	Origen antrópico (A)	Alta

Fuente: Elaboración propia a partir del mapa de geomorfología

Las subunidades geomorfológicas presentes en el área de la cuenca ligadas en su desarrollo a los sistemas fluviales que pueden estar sometidos a procesos de inundación en zonas de bajo relieve que durante la época de lluvias pueden estar asociadas al desborde temporal del sistema hídrico de la cuenca río Turbo-Currulao sobre terrazas o planos de inundación; estas unidades al pertenecer a la dinámica de las corrientes hídricas y estar constituidas por materiales finos arcillosos aumentan su cota de nivel durante las temporadas de lluvias y afectan planos anegadizos constituyéndolos como depósitos fluvio-lacustres (limosos y arcillosos) de encharcamiento temporal, que de manera general bordean las cuencas de decantación generados por el desbordamiento y dinámica natural del río generalmente son susceptibles a inundarse.



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

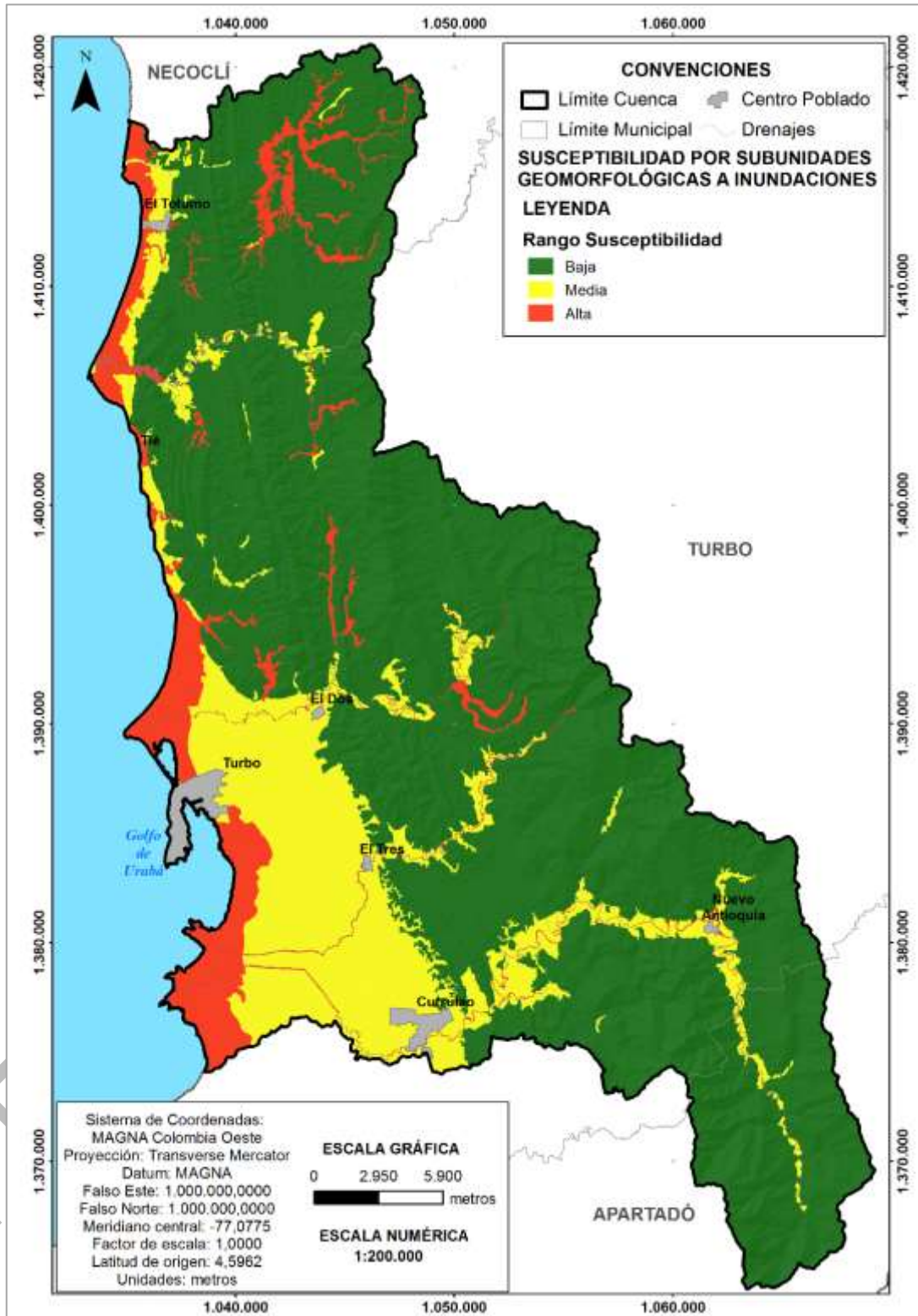


Figura 69. Susceptibilidad por subunidades geomorfológicas a inundaciones.

Fuente: Elaboración propia.



• **Unidades de terreno (UT)**

Corresponde a geoformas particulares del terreno consideradas dentro de un nivel del sistema jerárquico, relacionada con las formas de relieve: ambientes morfogenéticos y sistemas de terreno (Zinck, 2012). Cada geoforma se clasifica según su génesis, morfología y geometría del relieve. Su análisis permite identificar geoformas asociada a procesos de inundación y subsiguientemente determinar zonas susceptibles a este tipo de fenómeno amenazante. Este parámetro fue analizado con base en las unidades de terreno según Zinck (1989), definidas para el área de la cuenca hidrográfica (ver Figura 70 y Tabla 37).

Tabla 37. Susceptibilidad por unidades de terreno a inundaciones

ID_UN_GEOM	Forma de terreno	Tipo de relieve	Paisaje	Calif.
MCaR	Ladera estructural o Revés	Crestón (MC)	Montaña (M)	Baja
MCaF	Ladera erosional o Frente	Crestón (MC)	Montaña (M)	Baja
MLaL	Cima y ladera	Lomas (ML)	Montaña (M)	Baja
MGP	Plano inclinado	Glacis (MG)	Montaña (M)	Baja
MVP1	Plano de Terraza 1	Valle Estrecho (Mv)	Montaña (M)	Media
MVP2	Plano de Terraza 2	Valle Estrecho (Mv)	Montaña (M)	Media
MVV	Vega	Valle Estrecho (Mv)	Montaña (M)	Alta
MZV	Vega	Vallecito (MZ)	Montaña (M)	Alta
LKF	Ladera erosional o Frente	Crestón (LK)	Lomerio (L)	Baja
LKR	Ladera estructural o Revés	Crestón (LK)	Lomerio (L)	Baja
LEF	Ladera Erosional o Frente	Espinazo-hog back (LE)	Lomerio (L)	Baja
LER	Ladera estructural	Espinazo-hog back (LE)	Lomerio (L)	Baja
LLaL	Cima y ladera	Lomas (LL)	Lomerio (L)	Baja
LLIL	Cima y ladera	Lomas (LL)	Lomerio (L)	Baja
LLD	Domo Diapírico	Lomas (LL)	Lomerio (L)	Baja
LGP	Plano inclinado	Glacis (LG)	Lomerio (L)	Baja
LVD1	Bajo de terraza	Valle estrecho (LV)	Lomerio (L)	Media
LVP1	Plano de Terraza 1	Valle estrecho (LV)	Lomerio (L)	Media
LVP2	Plano de Terraza 2	Valle estrecho (LV)	Lomerio (L)	Media
LVV	Vega	Valle estrecho (LV)	Lomerio (L)	Alta
LZV	Vega	Vallecitos (LZ)	Lomerio (L)	Alta
PArA	Ápice o parte proximal	Abanico (PA)	Piedemonte (P)	Media
PArD	Bajo de abanico	Abanico (PA)	Piedemonte (P)	Media
PArC	Cuerpo de abanico	Abanico (PA)	Piedemonte (P)	Media
PZV	Vega	Vallecitos (PZ)	Piedemonte (P)	Alta
RRB	Cordón de playa	Plano de marea (RR)	Planicie (R)	Alta
RRL	Albufera o Laguna costera	Plano de marea (RR)	Planicie (R)	Alta
RMM	Marisma	Plano de marea (RR)	Planicie (R)	Alta
RTeD1	Bajo de Plano	Terraza marina (RT)	Planicie (R)	Media
RTeP1	Plano de terraza	Terraza marina (RT)	Planicie (R)	Media
RZV	Vega	Vallecitos (RZ)	Planicie (R)	Alta

Fuente: Elaboración propia a partir del mapa de geomorfología



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

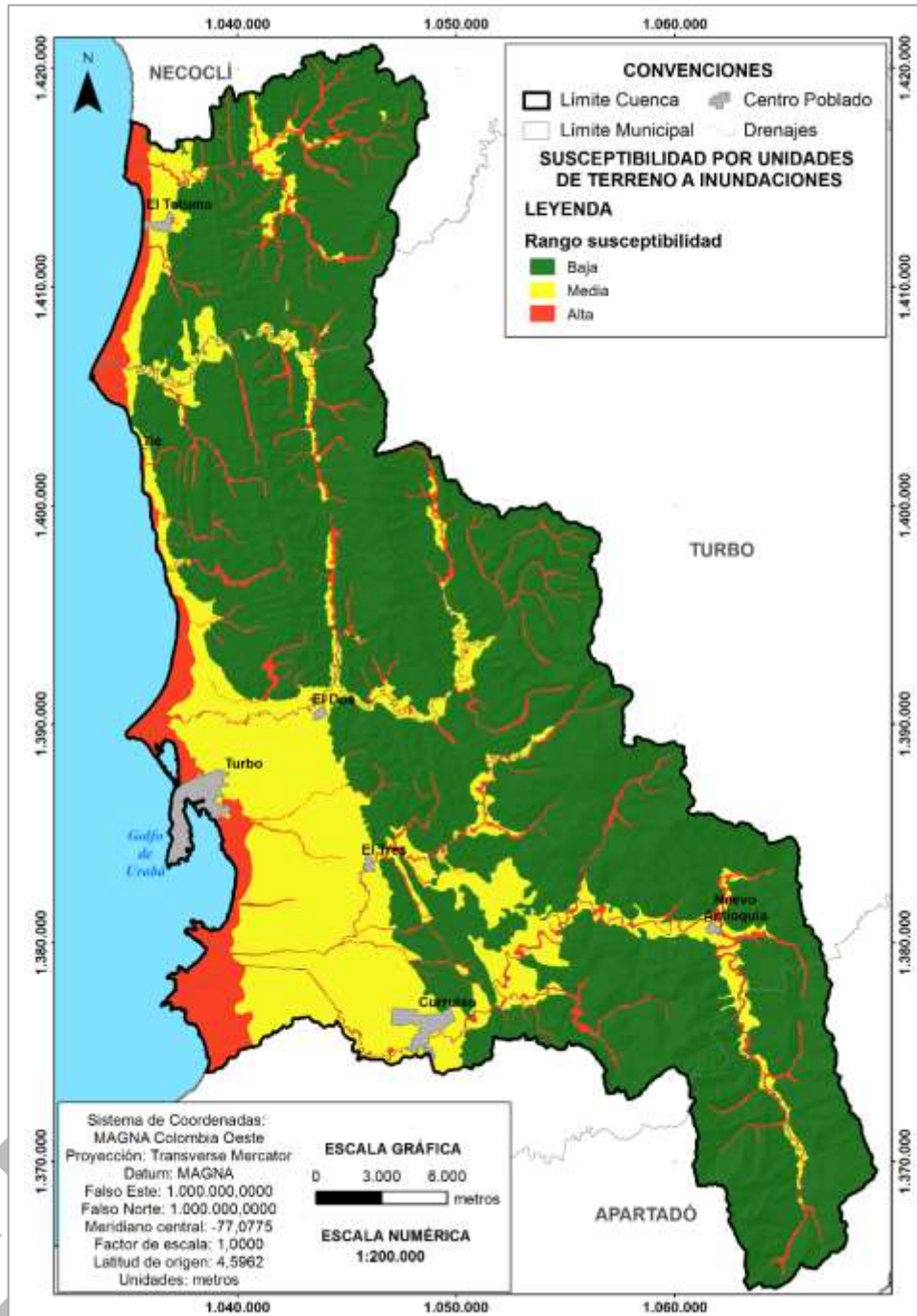


Figura 70. Susceptibilidad por unidades de terreno a inundaciones.  
Fuente: Elaboración propia

Para calcular la susceptibilidad por inundación también se considero los eventos históricos ocurridos en la cuenca, se cruzaron cada una de las susceptibilidades identificadas con los eventos históricos por inundación, estableciendo que cada unidad geomorfológica en la cual cayera uno o mas eventos se aumentaría de calificación, el



ejercicio se realizo para las subunidades geomorfológicas y las unidades de terreno como se indica en las

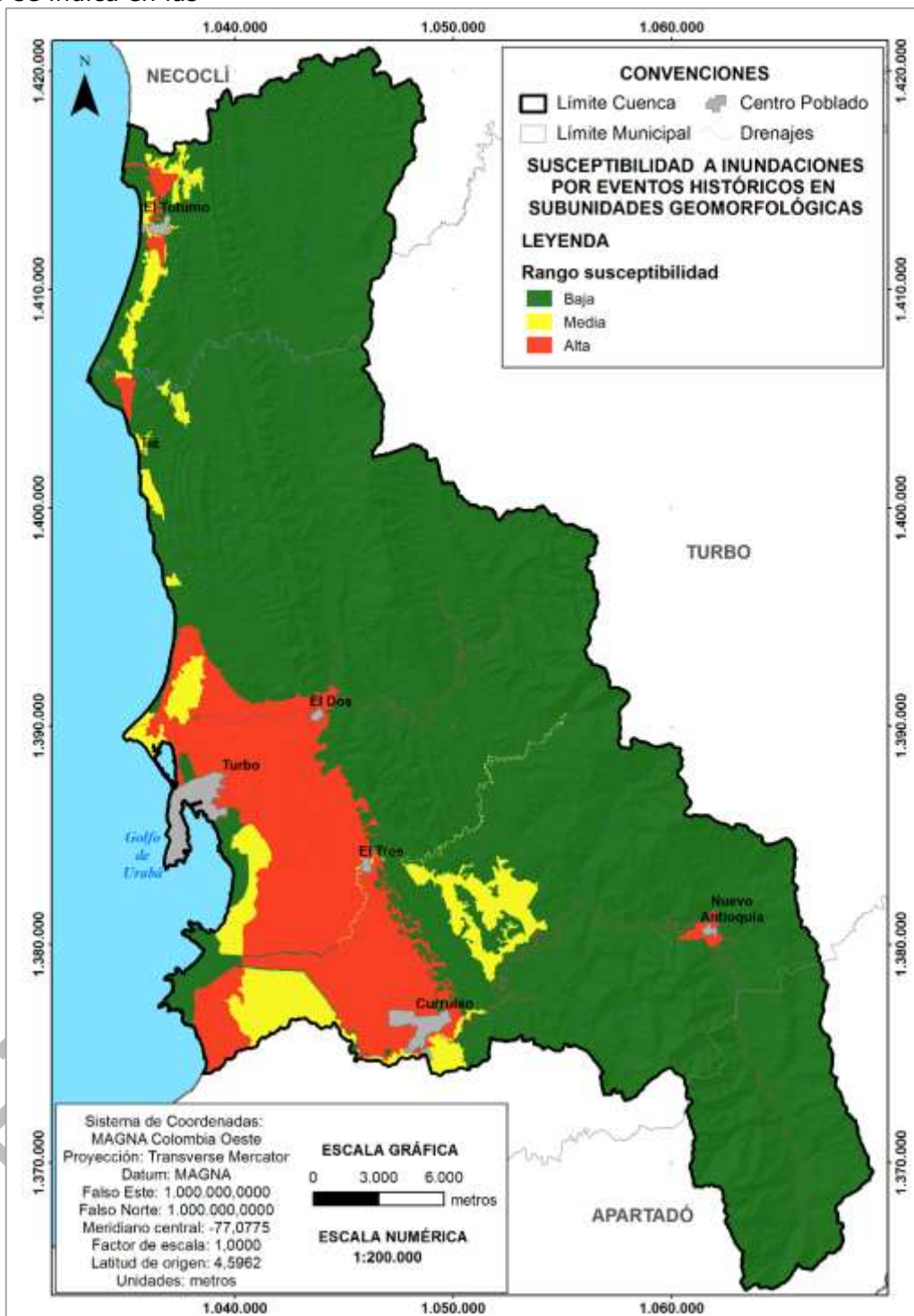


Figura 71. Susceptibilidad a inundaciones por eventos historicos en subunidades geomorfológicas



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

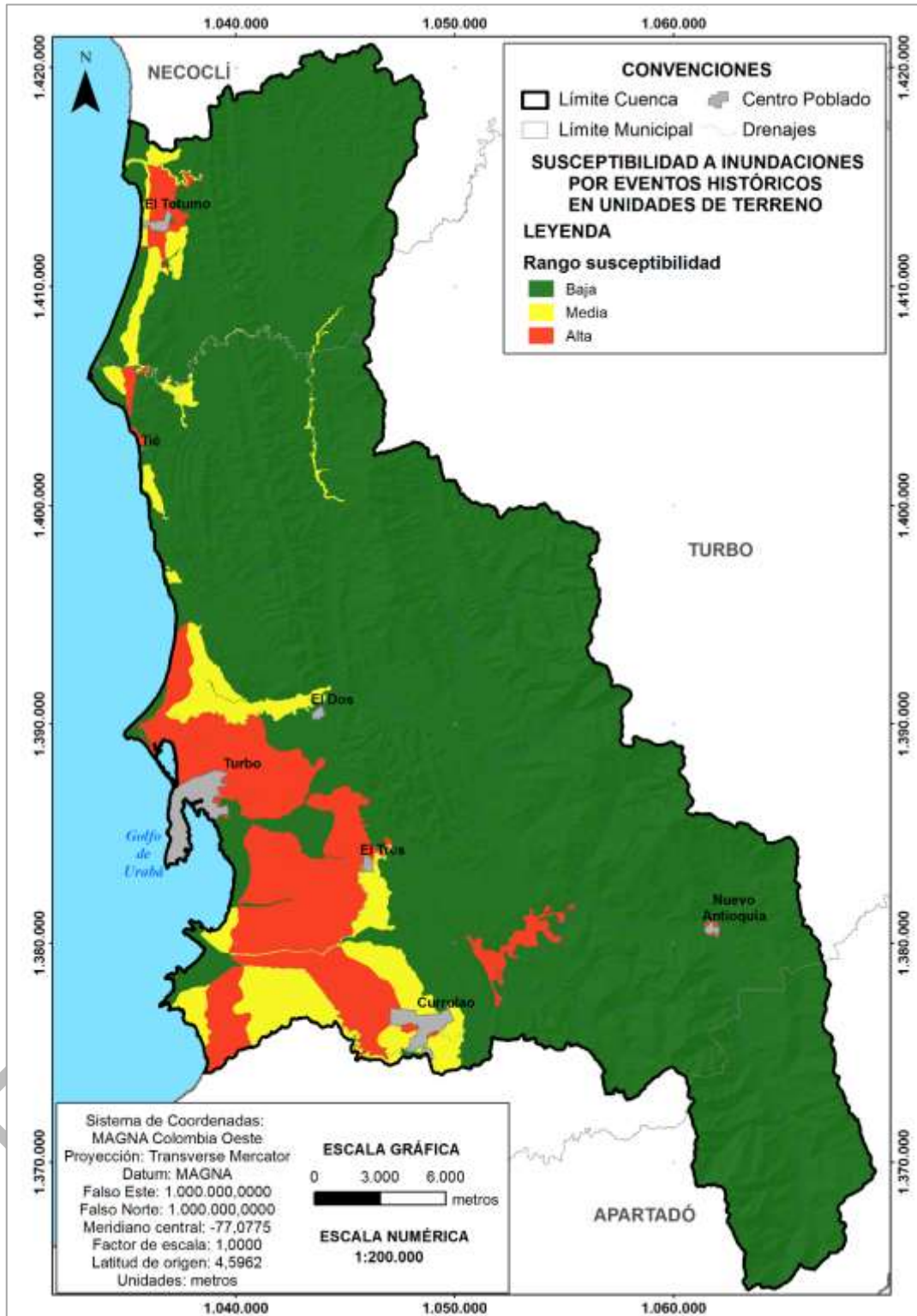


Figura 72. Susceptibilidad a inundaciones por eventos históricos en unidades de terreno.  
Fuente: Elaboración propia.



#### 7.6.2.4 Evaluación y zonificación de la susceptibilidad a inundaciones

Para el análisis de la caracterización de las áreas susceptibles a inundación en la cuenca hidrográfica río Turbo-Currulao el modelo de susceptibilidad se obtuvo por medio de la integración de la información referente a la localización de inundaciones (LIN) y los factores condicionantes (Subunidades Geomorfológicas y Unidades de Terreno) de las geoformas y tipos de relieve presentes en el área. En general la cuenca hidrográfica está caracterizada por presentar las mayores elevaciones hacia el este de la cuenca donde se localiza la serranía de Abibe, tiende a disminuir hacia el oeste en el paisaje de planicie del golfo de Urabá, alcanzando el nivel del mar en la terraza marinas y desembocadura de los ríos Currulao, Guadualito, Caiman Nuevo, Caiman Viejo y Turbo, este último en cercanías a la cabecera municipal de Turbo. Los ambientes fluvio-aluvial y marino – litoral costero predominantes en la zona han permitido (entre otros) el desarrollo de paisajes morfogenéticos de planicie aluvial y valle, así como terrazas marinas, donde las pendientes bajas favorecen la ocurrencia de eventos de inundación.

Como resultado de lo anterior se obtiene el mapa de susceptibilidad a inundaciones (ver Figura 73); en donde aproximadamente 7.233 hectáreas (es decir el 8,04% del área total) se catalogan con una susceptibilidad alta a inundaciones. Dentro de estas áreas se encuentran formas del terreno del paisaje morfogenético de valles aluviales, planos de inundación, terrazas bajas, albardón, trezado, entre otras, que cuentan con actividad hídrica reciente, las caracteriza como unidades con una alta susceptibilidad a fenómenos de inundación. En el caso puntual de los reportes de la población en donde el paisaje de planicie de los ríos Currulao, Guadualito, Turbo, Caiman Nuevo y Caiman Viejo recibe de sus tributarios durante la temporada de lluvias aportes fluviales y de sedimentos hacen que ciertas zonas (incluyendo algunos barrios y centros poblados del municipio de Turbo) estén expuestos a fenómenos de inundación.

El sistema de planicie marina, litoral y costera considerada con susceptibilidad alta por inundación está, esta conformada por una franja estrecha de terreno bajo y plano de forma alargada, adyacente y paralela a la línea de costa actual. Las geoformas (franjas estrechas de playas, barras litorales, espigas, terrazas, cordones litorales antiguos y actuales, lagunas y deltas) en este sistema están representadas por los diferentes deltas asociados a las desembocaduras de los principales ríos como: Currulao, Guadualito, Turbo, Caimán Nuevo y Caimán Viejo.

Por otro lado, aproximadamente 16.719 hectáreas (es decir el 18,58% del área total) se catalogan con una susceptibilidad media a inundaciones asociados a terrazas medias, meandros y planicies de inundaciones con poca actividad fluvial, o con un desarrollo de terracedo significativo que se encuentran a una posición distal al cuerpo de agua predominante.



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

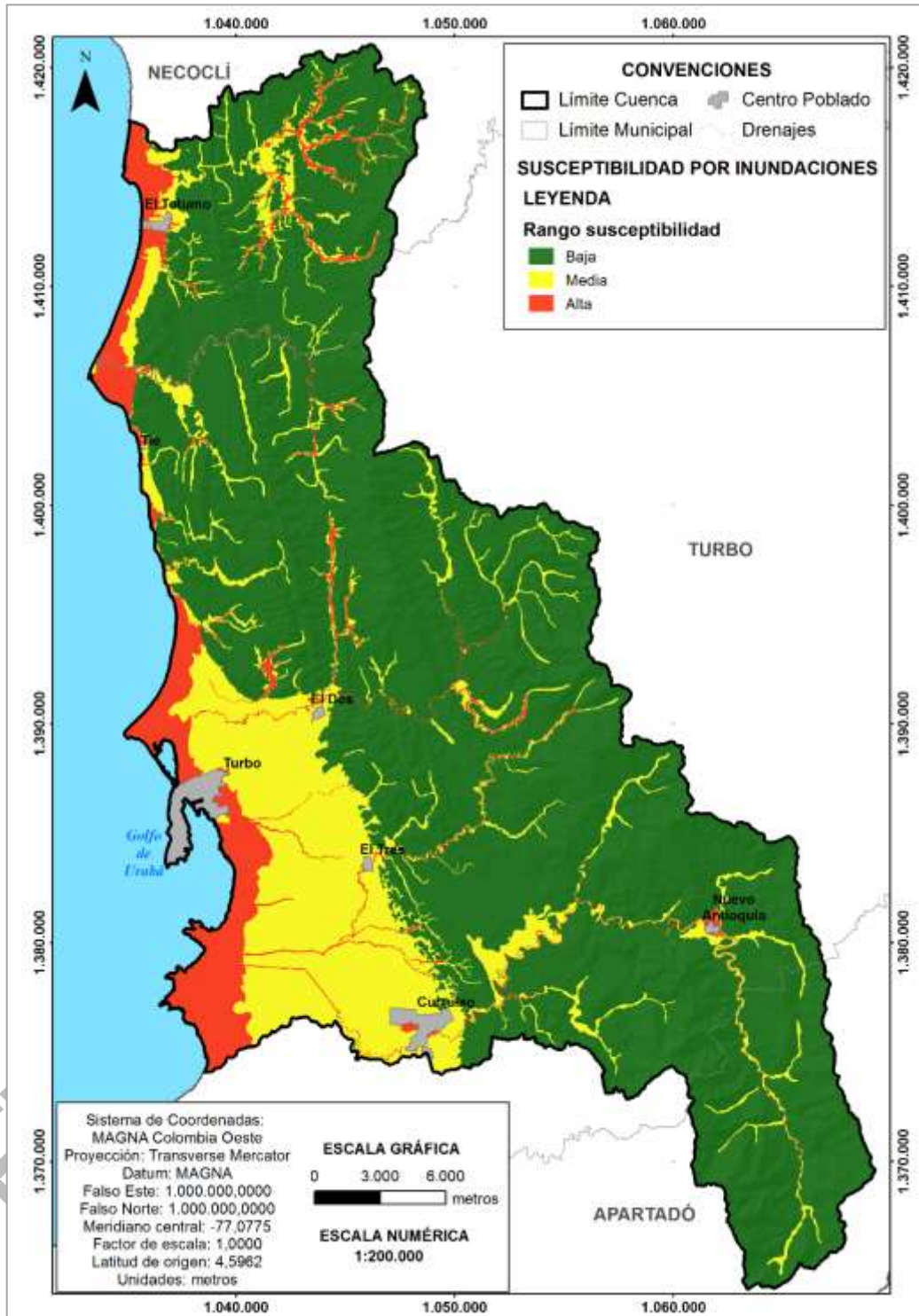


Figura 73. Susceptibilidades por inundaciones.  
Fuente: Elaboración propia





El análisis de eventos históricos refleja la existencia de inundaciones costeras, el cual se tuvo en cuenta en la propuesta del componente programático del POMCA. La delimitación de áreas susceptibles a inundarse por ascenso del mar, asociado a tormentas tropicales se realizó con la información geomorfológica y el inventario de eventos, para establecer las áreas que pueden ser cubiertas por este tipo de amenaza. Las inundaciones costeras, están relacionadas con las olas ciclónicas asociadas a huracanes y otras tormentas marítimas. La delimitación de áreas susceptibles a inundarse por desbordamiento de ríos se realiza la identificación y clasificación de las diferentes geoformas de acuerdo a su relevancia con la dinámica actual Figura 74, Figura 75 y Figura 76.



Figura 74. Delimitación de áreas susceptibles a inundarse.  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 75. Niveles de sedimentos aluviales sin consolidar en la margen derecha del río Guadalito. Estación SMAR-064.  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 76. Niveles de terrazas aluviales en la Quebrada Los Indios. Estación SMAR-076.  
Fuente: Elaboración propia.



#### **7.6.2.4.1 Susceptibilidad alta**

Se presenta principalmente hacia la zona costera principalmente, es decir el área oeste de la zona de estudio y está relacionada principalmente con los fenómenos de inundación costera, como ya se mencionó. La susceptibilidad alta, está relacionada con los ríos, en sus llanuras de inundación y terrazas. Geformas que denotan procesos activos o inundaciones periódicas (ej. valles aluviales, planos de inundación, terrazas bajas, albardón, trenzado, entre otras) y áreas en donde coincidan dos o más puntos o polígonos de eventos históricos.

#### **7.6.2.4.2 Susceptibilidad media**

Se presenta en la zona de transición entre el área costera y la zona montañosa, coincidiendo con la ubicación de los centros poblados y la infraestructura construida (vías, puentes). Geformas que denotan procesos intermitentes (ej. terrazas medias, meandros, entre otras), y áreas en donde al menos un punto o polígonos de evento histórico haya sido identificada.

#### **7.6.2.4.3 Susceptibilidad baja**

Se presenta hacia la zona este del área de interés del POMCA, relacionadas con las zonas de mayor altura, donde este fenómeno no se presenta de manera significativa. Geformas que denotan procesos antiguos (ej. terrazas altas).

#### **7.6.2.5 Descripción metodológica para obtener amenaza por inundaciones**

La zonificación de la amenaza de inundación considera los fenómenos de inundaciones lentas evaluadas a partir de criterios geomorfológicos y recurrencia de eventos históricos e inundaciones rápidas por recurrencia de eventos en las quebradas. El fenómeno que se analiza es inundación por desbordamiento de cauces y no por encharcamiento o sobrepaso de la capacidad hidráulica de la red de drenaje urbana, por ello las quebradas que han sido canalizadas en los cascos urbanos se consideran como red de drenaje pluvial urbana y deben aplicar para un análisis de mayor detalle en integralidad con la consolidación urbana. No se emplea información de mayor detalle por no tener cobertura espacial suficiente a lo largo de todo el cauce que permita realizar modelación hidrológica e hidráulica del cauce de los ríos Guadualito, Turbo, Caiman Nuevo y Caiman Viejo.

Para la zonificación de la amenaza por inundaciones se realizó una categorización y calificación para cada una de las variables que detonan la ocurrencia de inundaciones y se comparó con la zonificación de susceptibilidad generada. La zonificación de la amenaza consideró la siguiente información y los siguientes criterios:

- Análisis de susceptibilidad por geomorfología e histórico de eventos solicitado por los alcances técnicos del POMCA.
- Estudios hidrológicos y modelación hidráulica de los ríos Chigorodó y Currulao (CORPOURABA, Universidad Nacional de Colombia, 2014).

Los resultados del estudio mencionado como antecedentes de zonificaciones de amenaza por inundaciones aportan información complementaria sobre las posibles



manchas de inundación de algunos de los cuerpos de agua principales presentes en la cuenca.

El estudio para establecer ronda hídrica del río Currulao se realizó a través de un modelamiento hidráulico se calcularon las manchas de inundación para distintos periodos de retorno y se definieron zonas de amenaza por inundación en función de la velocidad y profundidad del flujo, lo cual representó un aporte bastante importante en la zonificación de amenaza por inundación presentada para la cuenca, específicamente del cauce principal del río Currulao.

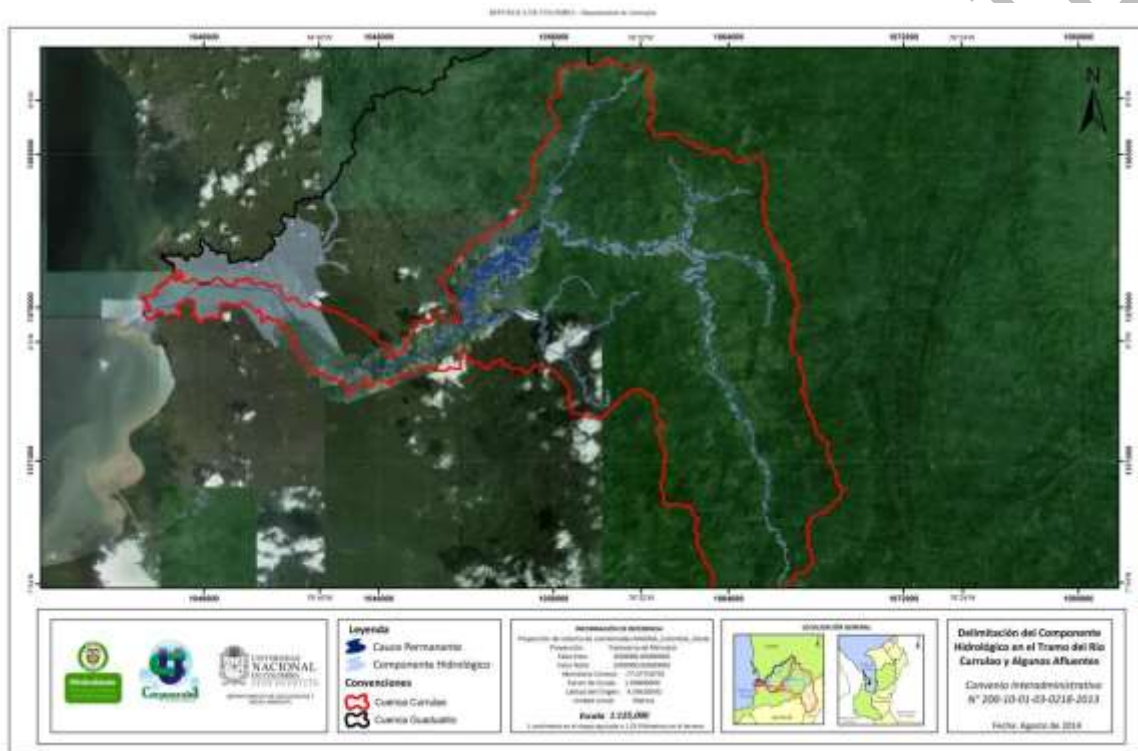


Figura 77. Delimitación del componente hidrológico en el tramo del río Currulao y algunos afluentes.

Fuente: (CORPOURABA, Universidad Nacional de Colombia, 2014)

### 7.6.2.6 Descripción de las variables para obtener amenaza por inundaciones

Las variables que se tuvieron en cuenta para definir la amenaza a inundaciones fueron la localización de las zonas de inundación y la categorización de los fenómenos de inundación que afectaron previamente el área, junto con la zonificación de susceptibilidad en la zona

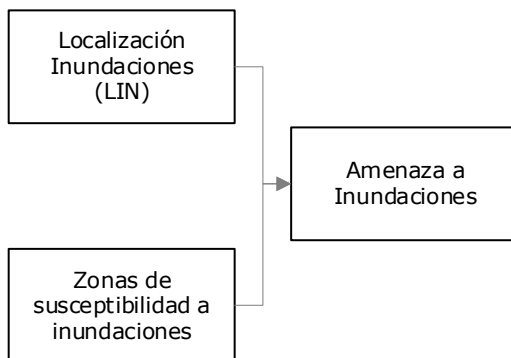


Figura 78. Variables para la modelación de la amenaza por inundaciones. Fuente: Elaboración propia.

- **Inundaciones históricas**

La consolidación de esta información se realiza a partir de la revisión de fuentes secundarias, en las que se describe su ubicación por asociación a proximidad de puntos o zonas de referencia. Permite identificar zonas de amenaza por inundación basada en la frecuencia de ocurrencia, que al integrarse con las zonas de susceptibilidad permite definir la zonificación de la amenaza.

Este análisis arrojó que en la Cuenca Río Turbo-Currulao, se han presentado al menos 66 eventos asociados a los fenómenos de inundación, durante el período comprendido entre los años 1931 a 2016, los cuales han afectado a más de 118.085 personas y 14.505 viviendas, se teniendo un total de 66 eventos de inundaciones espacializados, los cuales se utilizaron para la calificación de la amenaza por inundaciones.

El análisis de los eventos históricos, y su correspondiente análisis estadístico, revelan que el tipo de inundación que más se presenta en la cuenca es el inundaciones lentas por desbordamiento de los principales ríos presentes en la cuenca (Turbo, Currulao, Mulatos), solo se reportó un evento de creciente súbita en el corregimiento El Reposo por el río Vijagual.

Este parámetro fue analizado con ayuda de la base de datos recolectada en campo. La información se maneja en formato vector tipo punto y se categoriza de acuerdo a su recurrencia (alta, menor a 15 años; media, entre 15 y 50 años, y baja, mayor a 50 años) como se observa en la Tabla 38.

Tabla 38. Categorización de la recurrencia de los eventos de inundación

TEMPORALIDAD DEL EVENTO HISTÓRICO		CLASIFICACIÓN
Menor a 15 años	Alta	
Entre 15 y 50 años	Media	
Mayor a 50 años	Baja	

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

- **Zonas de susceptibilidad a inundaciones**



Proviene de la zonificación de la susceptibilidad a inundaciones en las categorías media y alta descritas en el capítulo anterior, la información se maneja en formato vector tipo polígono.

### 7.6.2.7 Zonificación de la amenaza a inundaciones

En virtud de la temporalidad de los eventos reportados y georreferenciados por inundaciones e incluyendo la modelación hidráulica para establecer la ronda hídrica del río Currulao, se obtiene el mapa de amenaza a inundaciones para la cuenca hidrográfica (ver Figura 79).

En general, las zonas de amenaza media abarcan 6.463 ha equivalente al 7% de la territorio en donde la recurrencia de los eventos es media. Adicional, zonas donde no hay registros históricos de inundaciones, donde el cuerpo hídrico asociado tiene una menor incidencia o donde hay un aumento en el índice de relieve, son catalogadas como zonas de amenaza baja, áreas que están principalmente relacionadas con crestones y lomas del paisaje morfogenético de montaña y lomerío.

Ya que la dinámica fluvial predominante de la cuenca hidrográfica media y baja del río Turbo-Currulao está orientada a fenómenos rápidos es importante tener en cuenta esta zonificación y otras realizadas en escalas de detalle que incluyan dentro de los criterios de evaluación variabilidad climática y capacidad hidráulica en zonas en las que se superen las cotas máximas de inundación en los cauces y se pueda o se haya causado desbordamientos en los mismos.

En la misma Figura 79 se puede observar con mayor detenimiento, así como en el mapa en el anexo 95 de amenaza por inundación el efecto del estudio antes descrito y aplicar criterios adicionales a los requeridos por el alcance del POMCA. La zonificación resultante permite identificar en escala regional las áreas de posible afectación por inundaciones en el caso de crecientes en temporadas de altas precipitaciones.

En términos generales de proporciones, la mayoría de la extensión de la cuenca (72% correspondiente a 64.669 ha) presenta amenaza baja por inundaciones. No obstante, las áreas de amenaza media (7% o 6.463 ha) y alta (21% o 18.787 ha), aun cuando no son proporcionalmente altas, deberá notarse que se encuentran en áreas urbanas y centros poblados y la parte baja de la cuenca, lo que representaría algunas condiciones de riesgo que se consideran más adelante.

Los rangos de la amenaza por inundación se derivan del análisis probabilístico de los eventos históricos validados, donde la frecuencia de este tipo de eventos esta relacionado con los períodos de lluvias, así como del análisis geomorfológico a través de las geoformas asociadas a procesos de inundación (VER 3.9 GEOMORFOLOGÍA 3.9\_Geomorfologia\_ Anexos 67 a 74). Las geoformas asociadas a procesos activos evidenciados con los depósitos sueltos, procesos de erosión- sedimentación, además de evidencias de inundaciones recientes o actividad fluvial reiterada identificadas en el análisis multitemporal y de eventos históricos con recurrencias menores a 15 años (amenaza alta). Las geoformas asociadas a procesos erosivos o sedimentarios suavizados (de baja pendiente) o flujos secundarios identificables en campo, además de eventos históricos con recurrencia de entre 15 y 100 años, son indicadores de áreas



susceptibles de inundación por eventos de moderada frecuencia de presentación (amenaza media) (Figura 79).

Zonas susceptibles a inundaciones: río Currulao y Guadualito sector bajo o Puerto Cesar (posible afectación de viviendas y cultivos), río Currulao y Caraballo en el sector de La Arenera (posible afectación de viviendas y cultivos).

EN ETAPA DE PUBLICIDAD



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

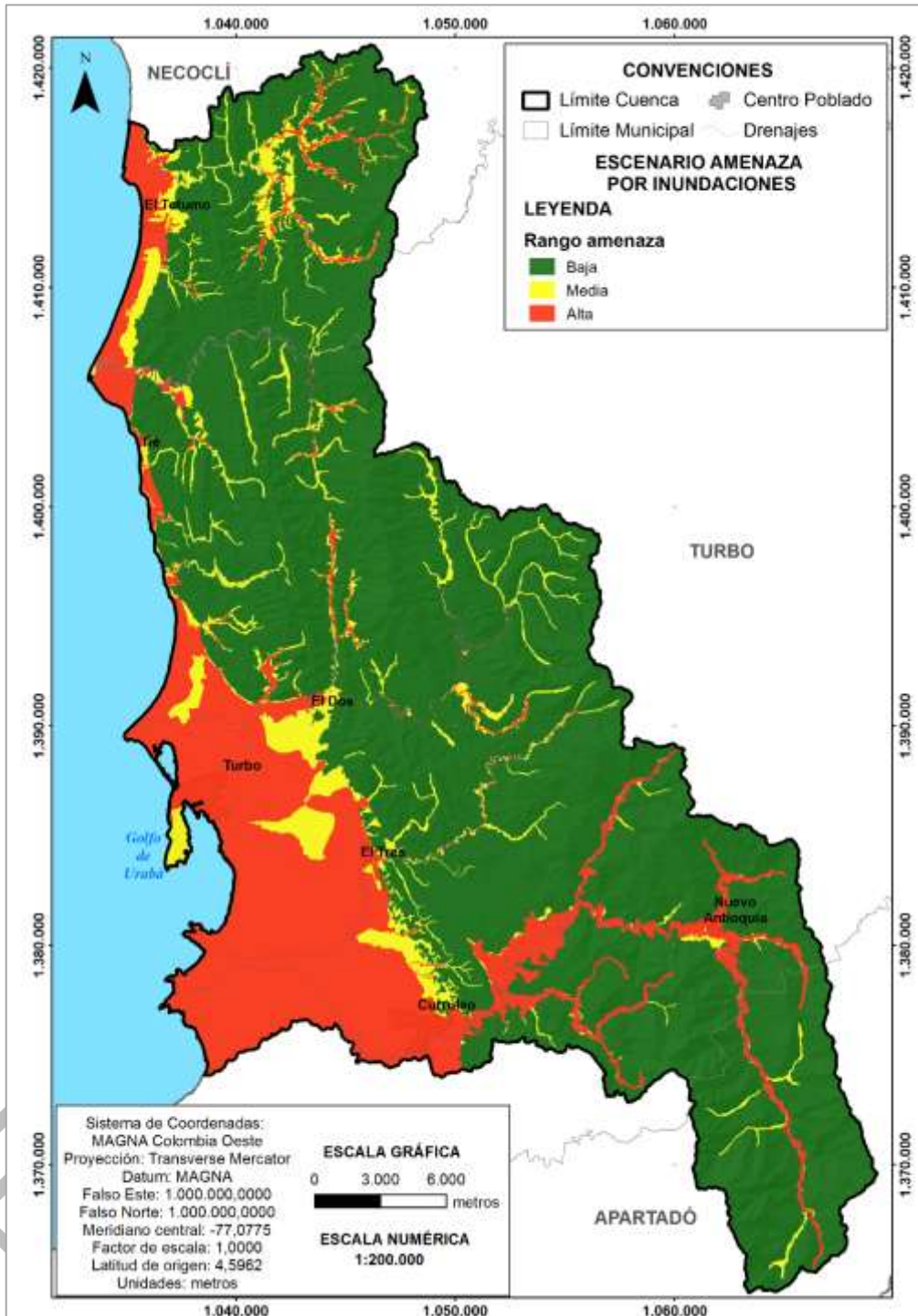


Figura 79. Amenaza por inundación en la Cuenca del Río Turbo-Currulao.  
Fuente: Elaboración propia.





#### 7.6.2.7.1 Amenaza alta

Coincide con las áreas de susceptibilidad alta a las inundaciones. La zona presenta eventos históricos registrados de inundaciones costeras y desbordamientos de los cauces principales. Geoformas asociadas a procesos activos (valles aluviales, planos de inundación, terrazas bajas, albardón, trenzado, entre otras), evidencias efímeras (restos flotantes o arribazones fluviales, depósitos sueltos de granulometría) o evidencias erosivas y sedimentarias nítidas (microtopografía muy irregular, altas pendientes y superposición de formas erosivas y sedimentarias, generalmente con morfologías de flujos secundarios representadas por morfologías canaliformes nítidas con un trazado continuo y marcado pero sin evidencias de actividad reciente), además de evidencias de inundaciones recientes o actividad fluvial reiterada identificadas en el análisis multitemporal y de eventos históricos con recurrencias menores o iguales a 15 años.

#### 7.6.2.7.2 Amenaza media

Coincide con las zonas de susceptibilidad media a inundaciones donde se ha presentado históricamente este fenómeno y donde se encuentran ubicados los centros poblados urbanos del municipio de Turbo. Geoformas asociadas a procesos intermitentes (terrazas medias, meandros, entre otros), procesos erosivos o sedimentarios suavizados (microtopografía irregular con límites suavizados y de baja pendiente) o flujos secundarios representados por evidencias de morfologías canaliformes de poca definición y continuidad, pero identificables en campo, además de eventos históricos con recurrencia mayor a 15 y hasta 100 años de período de retorno.

#### 7.6.2.7.3 Amenaza baja

Coincide con las zonas de susceptibilidad baja representada por las zonas del área de interés delimitada. Esta categoría que refleja la recurrencia de eventos mayores a 100 y hasta 500 años de período de retorno o mayores, se identificó con la ayuda de la información geomorfológico-histórica considerando los siguientes criterios: el análisis de eventos históricos señala una unidad inundable con una sola evidencia de evento ocurrido; evidencias topográficas en campo que señalen terrenos con mayor altura a las dos categorías anteriores y que sea coincidente con una geoforma asociada a procesos fluviales antiguos (terrazas altas).

#### 7.6.2.8 Necesidades de información

En cuanto a las necesidades de información, todas se sintetizan en la falta de estaciones de medición meteorológicas dentro de la cuenca. La única estación interna es Turbo representativa de la región, pero se encuentra suspendida desde el año 2011. Esta situación se cataloga como una potencial problemática de la cuenca ya que es necesario contar con información precisa de estaciones de lluvia y niveles de los ríos dentro de la cuenca, con lo cual se puede vigilar la cantidad de lluvia, los niveles de los ríos, para finalmente pronosticar crecidas en forma precisa.

Para la zona urbana de Turbo no existe una modelación hidrológica / hidráulica con fines de pronósticos hidrológicos para alertas temprana.



Es recomendable ejecutar estudios locales y puntuales que incluyan como mínimo topografía y batimetría de detalle, insumos necesarios para modelaciones hidrodinámicas y de capacidad hidráulica de la red de drenaje en los cauces principales que permitan delimitar con mayor precisión el área de influencia de este tipo de fenómenos y evaluar la pertinencia de medidas y obras de aumento de capacidad hidráulica (dragados del fondo de cauce, modificación de la sección transversal del cauce, ampliación y remplazo de superficie de márgenes, redistribución de pendientes, entre otras), protección de márgenes (caissons o pilotes, enrocados, bolsacretos, canalización rígida, etc.) y protección ante desbordamiento (jarillones, muros, canales paralelos de alivios de cauda, llanuras inundables, entre otras) o el reasentamiento de familias y relocalización de infraestructura estratégica.

También es importante contar con una red de propia de instrumentación hidrometeorológica con al menos una estación pluviográfica por cada subcuenca y sensores de nivel a lo largo del cauce principal de los ríos Turbo y Currulao y de la quebradas principales con las que se pueda recolectar información pluviométrica de detalle complementaria a información sinóptica por variabilidad climática y cambio climático. Con esta información se aporta a la modelación hidrológica e hidráulica de las condiciones de niveles y velocidad de flujo del cauce principal en función de las variaciones de caudal provocadas por eventos de variabilidad climática y cambio climático.

Adicionalmente formular mecanismos de adaptación a la amenaza por inundación dentro de las actividades o destinos de uso que se vaya establecer a cada sector de la cuenca. Las inundaciones pueden generar afectación en términos de gran extensión, pero la recuperación posevento para este tipo de amenaza es la más práctica con consecuencias controlables si se llevan a cabo los mecanismos de adaptación adecuados en lugar de establecer restricciones directas de uso.

### 7.6.2.9 Conclusiones

Para las poblaciones de Turbo y Currulao se reportan áreas con inundaciones de tipo pluvial (encharcamiento o insuficiencia de la red de drenaje de aguas pluviales), costera, que han tenido repercusiones en la población, en la economía e infraestructura, se recomienda realizar estudios de mayor detalle, realizar modelación hidrológica / hidráulica con fines de pronósticos hidrológicos para alertas temprana.

En el análisis de eventos históricos se refleja la existencia de inundaciones (pluviales, costeras u otras), estos fenómeno deben ser estudiados en detalle y por lo tanto serán propuestos en el componente programático del POMCA Río Turbo-Currulao.

### 7.6.3 Identificación, clasificación y caracterización de fenómenos amenazantes y evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales

El procedimiento para evaluar las características de la amenaza por avenidas torrenciales, se indica en la síntesis metodológica (Figura 80), en este caso se concentró en integrar información del catálogo de eventos, características morfológicas y morfométricas de la cuenca Río Turbo-Currulao.



El dato más importante para el POMCA es la identificación y caracterización de los eventos históricos de las áreas susceptibles de presentar esta tipología de fenómenos, principalmente geoformas como abanicos torrenciales, fondos de valles, flujo de tierra, flujo de detritos, flujo de lodo, alud torrencial, y zonas de avulsión o pérdida de confinamiento, además de canales por donde se puedan transportar flujos desde movimientos en masa.

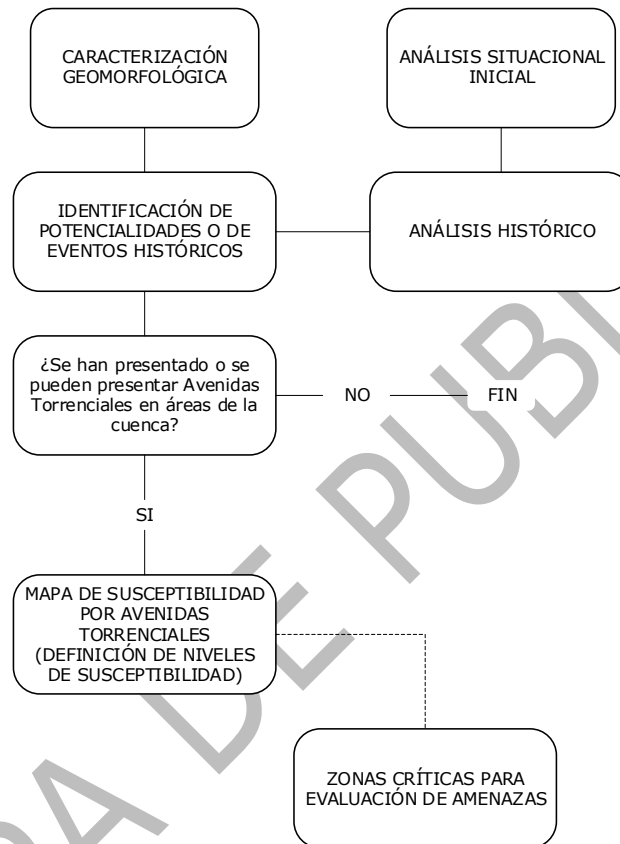


Figura 80. Diagrama de flujo para la evaluación de la susceptibilidad por avenidas torrenciales. Fuente: Recuperado de Fondo Adaptación (2014).

### 7.6.3.1 Información básica e insumos utilizados

A continuación, en la Tabla 39, se presenta una lista de la información que se usó para caracterizar las variables del modelo de susceptibilidad y amenaza por avenidas torrenciales en la cuenca Río Turbo-Currulao.

La base cartográfica para la cuenca Río Turbo-Currulao en escala 1:25.000 es la cartografía IGAC, comprende curvas de nivel, redes de drenaje, cuerpos de agua, orografía, límites administrativos, zonas urbanas, rurales dispersas e infraestructura, la cual se encuentra referenciada en el sistema Magna Sirgas.

Tabla 39. Información utilizada para la modelación de susceptibilidad y amenaza por avenidas torrenciales en la Cuenca Río Turbo-Currulao.



COMPONENTE	INSUMOS	ESCALA	FORMATO	FUENTE
General	Cartografía base	1:25000	GeoDataBase	IGAC
Modelo digital de elevación (DEM)	DEM de la cuenca	Píxeles de 5*5 metros	En dato continuo	IGAC
"Amenazas Costeras"	NA	pdf		Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM - SGC, 2014
Puntos SIMMA Inventario	NA Georeferenciación eventos de inestabilidad	Detalle	xlsx GeoDataBase	Propia
Geología	Mapa de la Cuenca Río Turbo-Currulao	1:25000	GeoDataBase	Propia
Geomorfología	Mapa de la Cuenca Río Turbo-Currulao (Geomorfología_SGC) Estudio evolutivo del medio fluvial mediante análisis multitemporal de imágenes de sensores remotos y fotografías aéreas del área.	1:25000	GeoDataBase	Propia
Cobertura y usos del suelo	Mapa de la Cuenca Río Turbo-Currulao	1:25000	GeoDataBase	Propia
Amenaza Detonante lluvia	Detonante sismo Datos Pluviométricos	1:25000	GeoDataBase Shapefile	Propia SGC

Fuente: Fondo Adaptación (2014).

### 7.6.3.2 Descripción metodológica para obtener susceptibilidad por avenidas torrenciales

La zonificación de la susceptibilidad se realizó a través del análisis de las características morfométricas e hidrológicas de cada sub cuenca y/o microcuenca hidrográfica, identificada y caracterizada dentro de la cuenca hidrográfica del río Turbo-Currulao.

Otra variable evaluada fue el Índice de Variabilidad a Eventos Torrenciales (IVET), el cual se calculó para las subcuencas y representa el grado de susceptibilidad de una cuenca a presentar eventos de carácter torrencial. Este índice varía cualitativamente desde bajo a muy alto. Particularmente, el IVET depende de dos variables: El Índice de Variabilidad (IV) y el índice morfométricos descritos a continuación:

$$IV = (\log Qi - \log Qf) / (\log Xi - \log Xf)$$

Donde, Qi y Qf = Dos caudales tomados de la curva de duración de caudales y Xi y Xf = Porcentajes de tiempo en que se exceden los caudales Qi y Qf.



El índice morfométrico se calculó teniendo en cuenta la matriz de relaciones de categorías descritas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, para la metodología ERA que se ilustran en la Tabla 40. La correlación de estas tres categorías define el índice morfométrico

#### ■ Índice morfométrico de torrencialidad

Relación entre los parámetros morfométricos como el coeficiente de compacidad o de forma, la pendiente media de la cuenca y la densidad de drenaje, los cuales son indicativos de la forma como se concentra la escorrentía, la oportunidad de infiltración, la velocidad y capacidad de arrastre de sedimentos, la eficiencia o rapidez de la escorrentía y de los sedimentos para salir de la cuenca luego de un evento de precipitación y con ello inferir cuál podría ser el nivel de susceptibilidad a procesos torrenciales, en la Tabla 40 se puede consultar las relaciones propuestas para categorizar este índice.

Tabla 40. Relaciones para categorizar el índice morfométrico.

Índice morfométrico	Escala	Área de la cuenca de drenaje (km <sup>2</sup> )	Categorías				
			1	2	3	4	5
Densidad de drenaje (km/km <sup>2</sup> )	1:10.000	<15	<1,50	1,51 - 2,00	2,01 - 2,50	2,51 - 3,00	>3
	1:25.000	16 a 50	<1,20	1,21 - 1,80	1,81 - 2,00	2,01 - 2,50	>2,5
	1:100.000	>50	<1,00	1,01 - 1,50	1,51 - 2,00	2,01 - 2,50	>2,5
			Baja	Moderada	Moderada	Alta	Muy Alta
Pendiente media de la cuenca (%)	1:10.000	<15	<20	21 - 35	36 - 50	51 - 75	>75
	1:100.000	>50	<15	16 - 30	30 - 45	46 - 65	>65
			Accidentado	Fuerte	Muy Fuerte	Escarpado	Muy Escarpado
Coeficiente de compacidad			<1,625	1,376 - 1,500	1,251 - 1,375	1,126 - 1,250	1,00 - 1,125
			Oval-oblonga a rectangular-oblonga	Oval redonda a oval-oblonga		Casi redonda a oval-redonda	

Fuente: IDEAM (2013).

En la Tabla 41 se presentan las categorías del índice morfométrico que van desde muy alta hasta muy baja, en función de los parámetros pendiente media de la cuenca, densidad de drenaje y coeficiente de forma.

Una condición muy alta para el índice morfométrico corresponde a áreas que se caracterizan por ser inestables y potencialmente inestables, que responden rápidamente y violentamente a lluvias de alta intensidad y corta duración, generando avenidas torrenciales de forma frecuente.

La categoría alta muestra áreas con una respuesta hidrológica rápida con una cobertura de suelo que permite procesos torrenciales que se presentan frecuentemente en periodos lluviosos. La condición media, en cambio, presenta una respuesta a procesos



hidrológicos de moderada a rápida y los eventos se presentan generalmente en las épocas de las mayores precipitaciones al año.

En la Tabla 42 se puede consultar los resultados del índice morfométrico para las cuencas jerarquizadas.

Tabla 41. Relaciones entre variables para el índice morfométrico.

		Pendiente media de la cuenca						
		1	2	3	4	5		
DENSIDAD DE DRENAJE	1	111	121	131	141	151	1	COEFICIENTE DE FORMA (Kc)
		112	122	132	142	152	2	
		113	123	133	143	153	3	
		114	124	134	144	154	4	
		115	125	135	145	155	5	
	2	211	221	231	241	251	1	
		212	222	232	242	252	2	
		213	223	233	243	253	3	
		214	224	234	244	254	4	
		215	225	235	245	255	5	
	3	311	321	331	341	351	1	
		312	322	332	342	352	2	
		313	323	333	343	353	3	
		314	324	334	344	354	4	
		315	325	335	345	355	5	
	4	411	421	431	441	451	1	
		412	422	432	442	452	2	
		413	423	433	443	453	3	
		414	424	434	444	454	4	
		415	425	435	445	455	5	
	5	511	521	531	541	551		
		512	522	532	542	552		
		513	523	533	543	553		
		514	524	534	544	554		
		515	525	535	545	555		

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM (2013).

Tabla 42. Cálculo del índice morfométrico para las subcuencas jerarquizadas.

Subcuenca	Densidad de drenaje [Km/Km <sup>2</sup> ]	Pendiente media de la cuenca (%)	Coeficiente Compacidad [Kc]	Clases morfométricas			Índice morfométrico
				Densidad	Pendiente	[Kc]	
Río Currulao	7.23	9.26	2.22	5	1	1	Moderado
Río Guadualito	6.99	7.04	1.86	5	1	1	Moderado
Quebrada Guadualito	6.92	5.00	1.56	5	1	2	Moderado
Quebrada El Cuna	7.17	6.38	1.42	5	1	2	Moderado
Zona Urbana Turbo	6.27	5.00	2.07	5	1	1	Moderado
Río Turbo	6.79	9.61	1.82	5	1	1	Moderado
Quebrada Aguas Claras - Estorbo	6.53	7.69	1.57	5	1	2	Moderado
Quebrada Cope	5.68	6.95	1.51	5	1	2	Moderado



Subcuenca	Densidad de drenaje [Km/Km <sup>2</sup> ]	Pendiente media de la cuenca (%)	Coeficiente Compacidad [Kc]	Clases morfométricas			Índice morfométrico
				Densidad	Pendiente	[Kc]	
Quebrada NN1	6.56	6.63	1.19	5	1	4	Moderado
Río Punta de Piedra	5.97	10.14	1.69	5	1	1	Moderado
Quebrada NN2	6.08	7.02	1.36	5	1	3	Moderado
Río Cirilo	5.87	10.31	1.57	5	1	2	Moderado
Quebrada NN3	6.51	7.44	1.30	5	1	3	Moderado
Quebrada Tié	5.32	9.51	1.76	5	1	1	Moderado
Quebrada NN4	5.68	6.68	1.68	5	1	1	Moderado
Río Caiman Nuevo	6.85	8.56	1.49	5	1	2	Moderado
Quebrada Seca	7.02	6.80	1.31	5	1	3	Moderado
Río Totumo	6.34	8.02	1.52	5	1	2	Moderado
Quebrada Manuela	6.29	7.74	1.62	5	1	1	Moderado
Quebrada La Anguilla	6.14	6.04	1.73	5	1	1	Moderado
Río Caimán Viejo - Tigre	6.30	7.72	1.59	5	1	2	Moderado

Fuente: Elaboración propia.

Una vez categorizado tanto el índice morfométrico como el índice de variabilidad (IV), es posible definir (mediante su relación) el Índice de Variabilidad a Eventos Torrenciales (IVET), como se observa en la Tabla 43.

Tabla 43. Clasificación del Índice de Vulnerabilidad Frente a Eventos Torrenciales-IVET

Índice de variabilidad	Índice morfométrico de torrencialidad				
	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Muy baja	Muy baja	Muy baja	Media	Alta	Alta
Baja	Baja	Media	Media	Alta	Muy alta
Media	Baja	Media	Alta	Alta	Muy alta
Alta	Media	Media	Alta	Muy alta	Muy alta
Muy alta	Media	Alta	Alta	Muy alta	Muy alta

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM (2013).

Finalmente, para zonificar la susceptibilidad se utilizan pruebas lógicas de tipo OR en donde se seleccionan zonas que presenten calificaciones de IVET medias, altas y muy altas.

### 7.6.3.3 Descripción de las variables para obtener susceptibilidad por avenidas torrenciales



Las variables que se tienen en cuenta para determinar las zonas en las cuales el caudal y la forma puedan generar eventos torrenciales son el Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET), como se ilustra en la Figura 81.

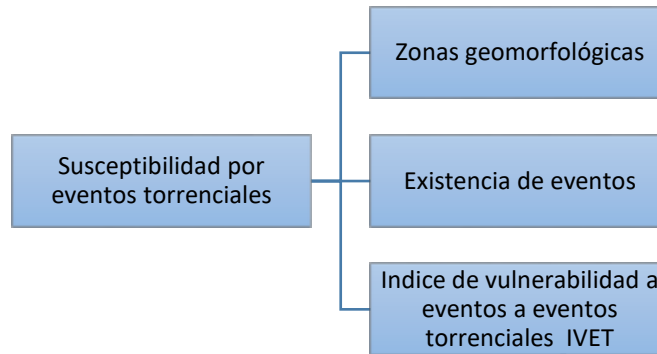


Figura 81. Variables que determinan a la zonificación de la susceptibilidad por avenidas torrenciales.

- **Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET)**

Hace referencia al grado de susceptibilidad de una cuenca, o en este caso microcuencas y subcuencas, a presentar eventos torrenciales. Este índice depende de dos variables, el índice de variabilidad (IV) y el índice morfométrico, por medio de los cuales se estima la influencia de la morfometría y de los caudales en la existencia de un evento torrencial (Figura 82).

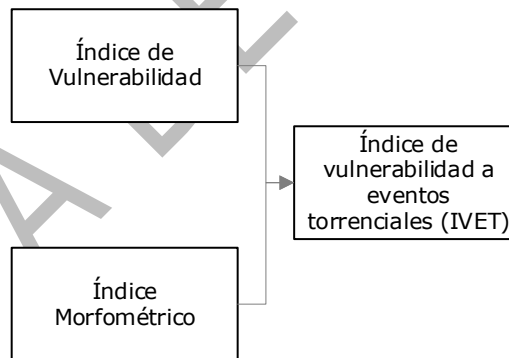


Figura 82. Índices implícitos en el cálculo del Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales – IVET

- Formato: vector.
- Fuente: componentes morfometría, hidrología e hidrografía.

- Índice de variabilidad

Este índice se obtiene de la curva de duración de caudales (CDC); muestra como es la variabilidad de los caudales en una determinada cuenca. Una cuenca torrencial es aquella que presenta una mayor variabilidad, es decir, existen diferencias grandes entre los caudales mínimos y los valores máximos (Tabla 44). Cuencas con variabilidades pequeñas muestran que los caudales tienden a mantenerse y los cauces por los que





existe flujo, generalmente tienen la capacidad para transportar estos caudales. El comportamiento con variabilidad pequeña es típico de cauces de llanuras, los cuales generalmente no presentan procesos torrenciales.

Tabla 44. Caudales máximos evaluados para diversos periodos de retorno en subcuencas

Subcuenca	Tr (Caudales máximos)								
	2.33	5	10	15	20	30	50	100	500
Río Currulao	52.88	77.98	107.00	127.92	144.95	172.60	214.70	288.19	569.02
Río Guadualito	20.48	32.23	46.62	57.41	66.43	81.44	105.05	148.10	327.53
Quebrada Guadualito	0.72	1.48	2.65	3.68	4.63	6.38	9.53	16.37	57.20
Quebrada El Cuna	5.21	9.07	14.27	18.42	22.03	28.28	38.64	58.88	155.82
Zona Urbana Turbo	1.39	2.70	4.63	6.27	7.75	10.44	15.13	24.96	79.41
Río Turbo	24.90	38.64	55.27	67.64	77.91	94.92	121.50	169.51	365.93
Quebrada Aguas Claras - Estorbo	1.28	2.50	4.31	5.86	7.27	9.81	14.27	23.67	76.18
Quebrada Cope	0.61	1.27	2.30	3.21	4.06	5.63	8.47	14.71	52.63
Quebrada NN1	0.13	0.30	0.61	0.90	1.19	1.75	2.82	5.40	24.10
Río Punta de Piedra	0.76	1.55	2.76	3.83	4.81	6.62	9.87	16.90	58.62
Quebrada NN2	0.06	0.15	0.31	0.48	0.64	0.97	1.63	3.26	16.22
Río Cirilo	0.86	1.72	3.05	4.21	5.28	7.23	10.72	18.22	62.16
Quebrada NN3	0.09	0.22	0.44	0.66	0.88	1.31	2.16	4.22	19.89
Quebrada Tie	0.09	0.21	0.43	0.65	0.87	1.29	2.12	4.16	19.65
Quebrada NN4	0.22	0.50	0.96	1.39	1.81	2.61	4.11	7.61	31.51
Río Caiman Nuevo	13.07	21.24	31.56	39.45	46.12	57.38	75.39	108.94	255.08
Quebrada Seca	0.37	0.79	1.48	2.11	2.71	3.82	5.90	10.57	40.69
Río Totumo	0.69	1.41	2.54	3.53	4.45	6.14	9.20	15.85	55.78
Quebrada Manuela	0.24	0.54	1.04	1.51	1.95	2.80	4.40	8.10	33.08
Quebrada La Anguilla	0.28	0.63	1.19	1.72	2.21	3.16	4.93	8.97	35.83
Río Caimán Viejo - Tigre	15.22	24.46	36.00	44.78	52.17	64.58	84.31	120.81	277.40

Fuente: Elaboración Propia (capítulo hidrología).

Las cuencas de área pequeña con pendientes altas, por lo general presentan caudales de creciente, alternado de caudales medios y bajos con magnitudes muy inferiores a las de los caudales máximos, que hacen que la CDC muestre una gran variabilidad, en la Ecuación 2, se puede consultar el índice.

La curva de duración de caudales al ser graficada en escala logarítmica muestra una tendencia lineal, de la cual se puede obtener el índice de variabilidad que se expresa mediante la siguiente ecuación.

Ecuación 2. Índice de variabilidad

$$\text{Índice de variabilidad} = \frac{(\log Q_i - \log Q_f)}{(\log X_i - \log X_f)}$$

Dónde:

$Q_i$  y  $Q_f$ : Caudales tomados de la curva de duración de caudales.



$X_i$  y  $X_f$ : Porcentajes de tiempo en que se exceden los caudales  $Q_i$  y  $Q_f$ .

Tabla 45. Clasificación del índice de vulnerabilidad (IV).

Índice de variabilidad	Vulnerabilidad
<10	Muy baja
10,1 – 37	Baja
37,1 – 47	Media
47,1 – 55	Alta
>55	Muy alta

Fuente: IDEAM (2013).

En la Tabla 46 se pueden consultar los resultados del IV (Figura 83), sin embargo, se deja dicho que este índice no es muy claro en su procedimiento como lo expresa (IDEAM, 2013). Dado que la curva de duración de caudales (CDC) no se linealiza con procedimientos de logaritmos en sus ejes para la totalidad de la curva, solo para la franja de caudales medios, y la filosofía del IV es identificar las diferencia entre caudales mínimos y máximos. Por lo anterior esto se considera como una limitante en el procedimiento; no obstante, se toman dos caudales extremos y se presenta la vulnerabilidad de las subcuencas.

Tabla 46. Resultados del índice de variabilidad para las subcuencas jerarquizadas.

Subcuenca	Índice Variabilidad (°)	Vulnerabilidad
Río Currulao	35.87	Baja
Río Guadualito	48.97	Alta
Quebrada Guadualito	49.06	Alta
Quebrada El Cuna	49.04	Alta
Zona Urbana Turbo	49.06	Alta
Río Turbo	43.73	Media
Quebrada Aguas Claras - Estorbo	43.81	Media
Quebrada Cope	43.82	Media
Quebrada NN1	43.83	Media
Río Punta de Piedra	43.77	Media
Quebrada NN2	43.84	Media
Río Cirilo	43.76	Media
Quebrada NN3	43.83	Media
Quebrada Tie	43.80	Media
Quebrada NN4	43.83	Media
Río Caiman Nuevo	43.78	Media
Quebrada Seca	43.83	Media
Río Totumo	40.44	Media
Quebrada Manuela	40.45	Media
Quebrada La Anguilla	40.47	Media
Río Caimán Viejo - Tigre	40.39	Media

Fuente: Elaboración propia.

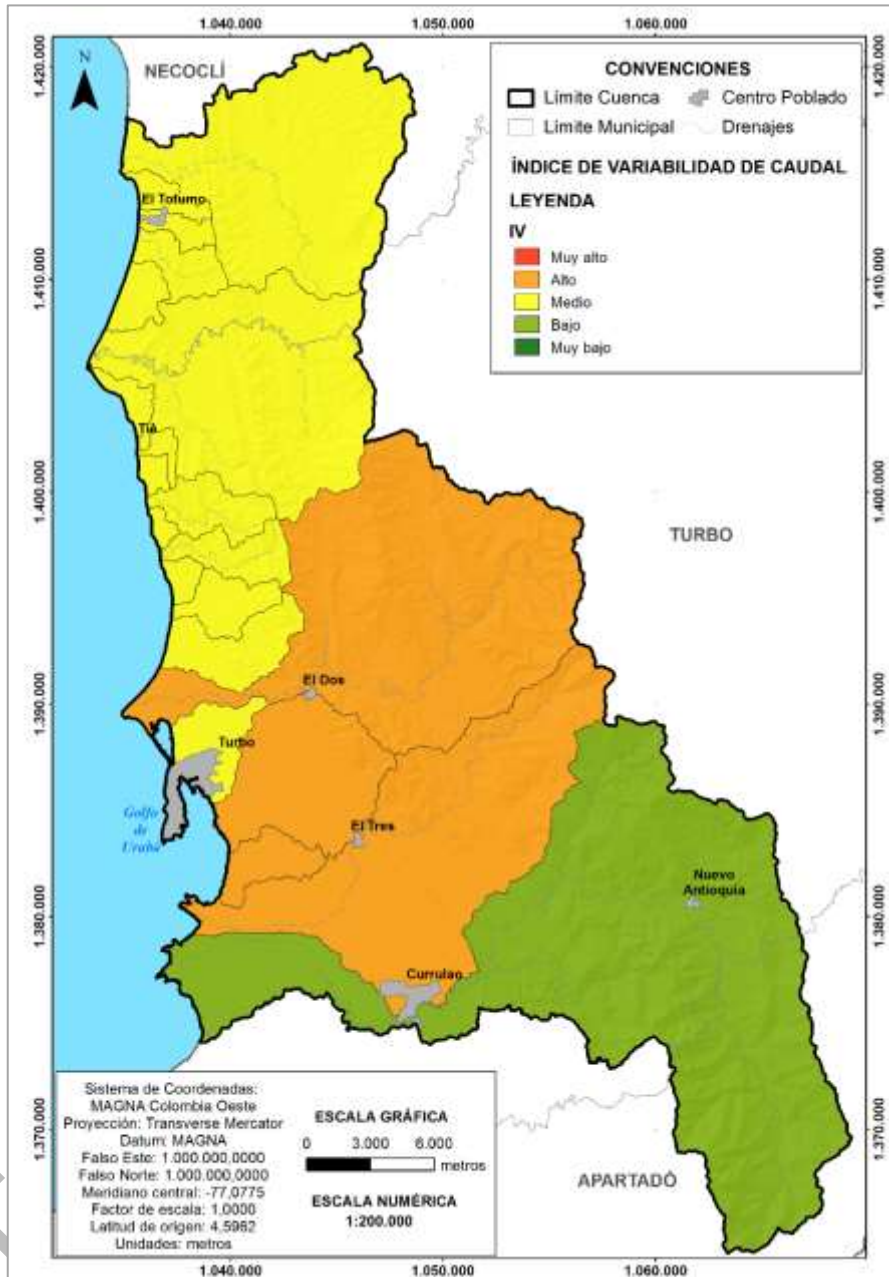


Figura 83. Índice de variabilidad de caudal. Fuente: Elaboración propia.

- Índice morfométrico

El índice morfométrico se estima teniendo en cuenta tres categorías fundamentales (densidad de drenaje, pendiente media y coeficiente de compacidad) como se ilustra en la Figura 84. Las microcuencas presentan alta densidad de drenaje, moderada densidad de disección y, según Horton, respuesta hidrológica rápida con grandes contrastes topográficos entre ellas (ver Figura 85).

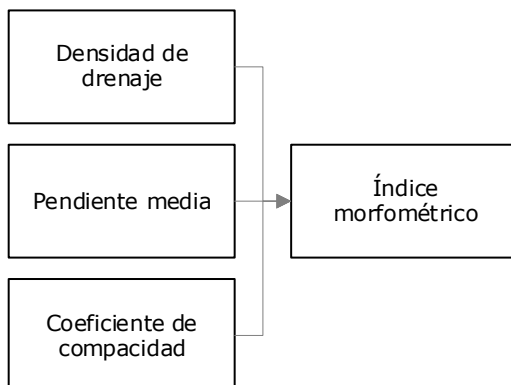


Figura 84. Categorías necesarias para calcular el índice morfométrico

- Análisis del índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET)

Teniendo en cuenta que el índice morfométrico presenta valores moderados a muy bajos y que el índice de variabilidad es predominantemente medio y alto, la mayoría de microcuencas que la integran tienen en general una alta susceptibilidad a presentar eventos torrenciales, como se observa en la Figura 86

El índice de variabilidad frente a eventos torrenciales, indica la relación existente entre las características de la forma de una cuenca que son indicativos de la torrencialidad en la misma, en relación con las condiciones hidrológicas en dicha cuenca. Los resultados del IVET para las subcuencas jerarquizadas se presentan en la Tabla 47.

Tabla 47. Resultados del Índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales IVET para las subcuencas jerarquizadas.

Subcuenca	Índice morfométrico	Vulnerabilidad	IVET
Río Currulao	Moderado	Baja	Media
Río Guadualito	Moderado	Alta	Alta
Quebrada Guadualito	Moderado	Alta	Alta
Quebrada El Cuna	Moderado	Alta	Alta
Zona Urbana Turbo	Moderado	Alta	Alta
Río Turbo	Moderado	Media	Alta
Quebrada Aguas Claras - Estorbo	Moderado	Media	Alta
Quebrada Cope	Moderado	Media	Alta
Quebrada NN1	Moderado	Media	Alta
Río Punta de Piedra	Moderado	Media	Alta
Quebrada NN2	Moderado	Media	Alta
Río Cirilo	Moderado	Media	Alta
Quebrada NN3	Moderado	Media	Alta
Quebrada Tie	Moderado	Media	Alta
Quebrada NN4	Moderado	Media	Alta
Río Caiman Nuevo	Moderado	Media	Alta
Quebrada Seca	Moderado	Media	Alta
Río Totumo	Moderado	Media	Alta
Quebrada Manuela	Moderado	Media	Alta



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

Subcuenca	Índice morfométrico	Vulnerabilidad	IVET
Quebrada La Anguilla	Moderado	Media	Alta
Río Caimán Viejo - Tigre	Moderado	Media	Alta

Fuente: Elaboración propia.

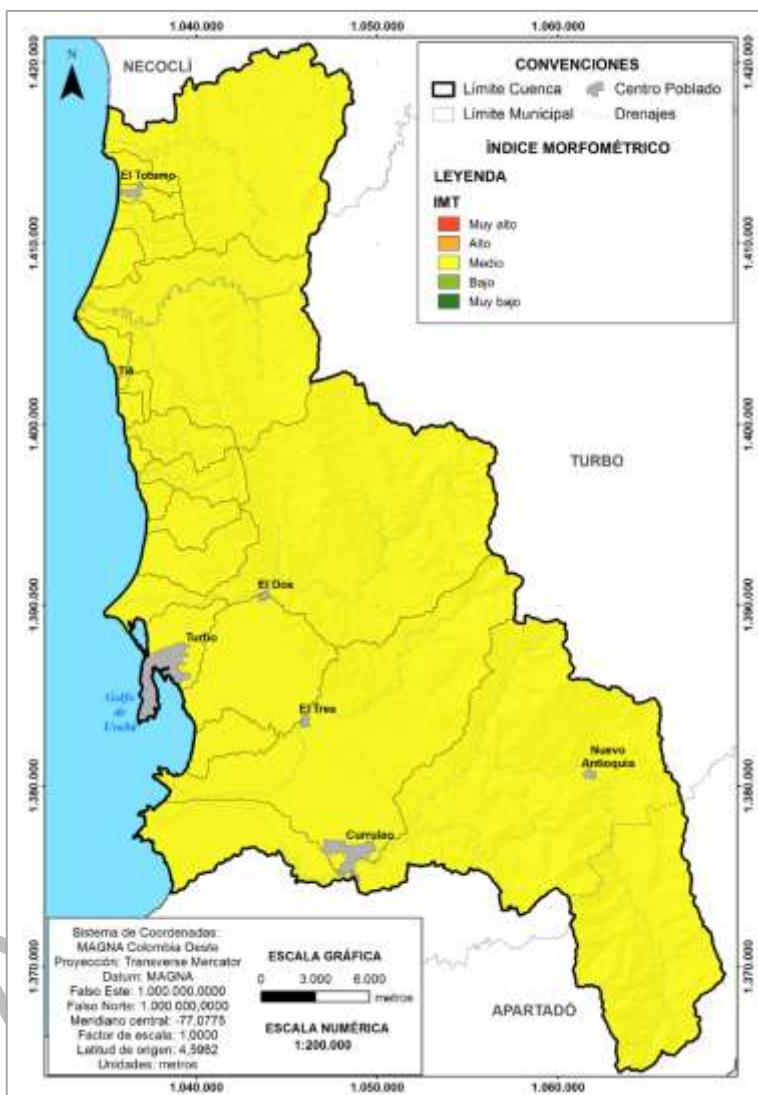


Figura 85. Índice morfométrico.  
Fuente: Elaboración propia

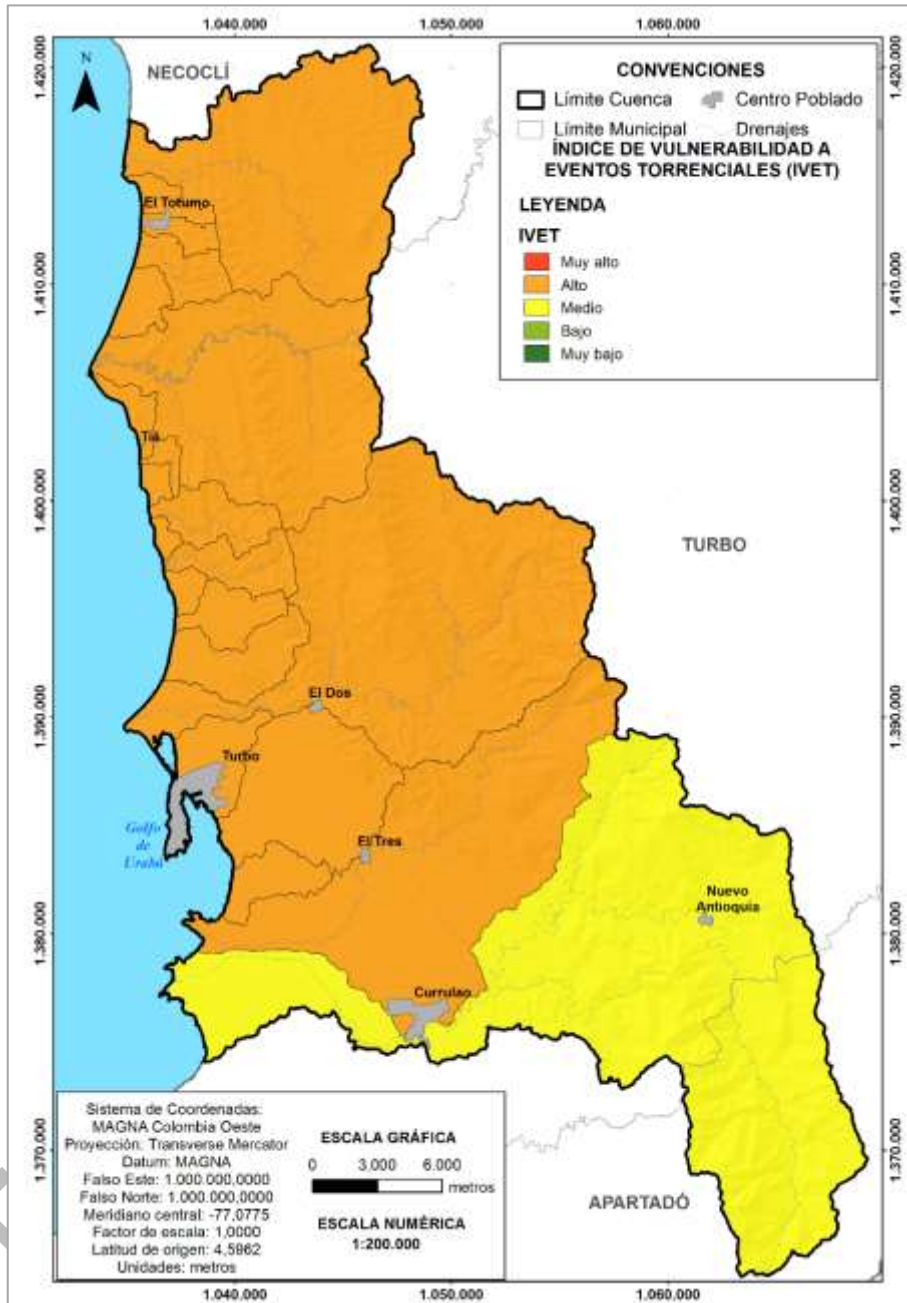


Figura 86. Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales.  
Fuente: Elaboración propia

- **Unidades geomorfológicas**

Corresponde a geformas generadas a lo largo de un sistema fluvial como resultado de los procesos erosivos y de acumulación torrenciales que varían en función de su pendiente, caudal y carga de sedimentos. Cada subunidad se identifica según el material del depósito, morfogénesis, pendientes, contrastes morfológicos (rugosidad, curvatura, etc.) y cronología (Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2012); siendo esta última



característica la que permite determinar las área susceptibles a presentar un evento torrencial.

Este parámetro fue analizado con base en las unidades geomorfológicas según Carvajal, para el área de la cuenca hidrográfica Turbo-Currulao, y unidades de terreno según Zinck.

○ Subunidades Geomorfológicas (SG)

Corresponde a geformas generadas a lo largo de un sistema fluvial como resultado de los procesos erosivos y de acumulación que varían en función de su pendiente, caudal y carga de sedimentos. Cada subunidad se identifica según el material del depósito, morfogénesis, pendientes, contrastes morfológicos (rugosidad, curvatura, etc.) y cronología (Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2012); siendo esta última característica la que permite determinar las área susceptibles a presentar un evento torrencial según la temporalidad del procesos (activos, intermitentes o antiguos). Este parámetro fue analizado con base en las unidades geomorfológicas según Carvajal (ver Figura 87 y Tabla 48. Susceptibilidad de subunidades geomorfológicas a eventos torrenciales). La información se maneja en formato vector tipo polígono.

Tabla 48. Susceptibilidad de subunidades geomorfológicas a eventos torrenciales

ID_UN_GEOM	Unidad	Región	Calif
Sbh	Barra Homoclinal	Origen estructural (S)	Baja
Ssh	Sierra Homoclinal	Origen estructural (S)	Baja
Sss	Sierra Sinclinal	Origen estructural (S)	Baja
Ssan	Sierra anticlinal	Origen estructural (S)	Baja
Sshlc	Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal	Origen estructural (S)	Baja
Sshle	Ladera estructural de Sierra homoclinal	Origen estructural (S)	Baja
Ssslc	Ladera de contrapendiente de sierra sinclinal	Origen estructural (S)	Baja
Sssle	Laderas estructurales de sierra sinclinal	Origen estructural (S)	Baja
Sc	Cuesta	Origen estructural (S)	Baja
Scle	Ladera estructural de cuesta	Origen estructural (S)	Baja
Sele	Ladera estructural de espinazo	Origen estructural (S)	Baja
Se	Espinazo	Origen estructural (S)	Baja
Sle	Ladera estructural	Origen estructural (S)	Baja
Slf	Lomo de falla	Origen estructural (S)	Baja
Slcp	Ladera de contrapendiente	Origen estructural (S)	Baja
Sclc	Ladera de contrapendiente de cuesta	Origen estructural (S)	Baja
Selc	Ladera de contrapendiente de espinazo	Origen estructural (S)	Baja
Sles	Ladera escalonada	Origen estructural (S)	Baja
Sp	Planchas estructurales	Origen estructural (S)	Baja
Sbf	Terraza o berma de fallamiento	Origen estructural (S)	Baja
Svl	Volcán de lodo	Origen estructural (S)	Baja
Dco	Cono o lóbulo coluvial	Origen denudacional (D)	Baja
Dcr	Colina residual	Origen denudacional (D)	Baja
Dcrem	Cerro remanente o relicto	Origen denudacional (D)	Baja
Dcrs	Cerro residual	Origen denudacional (D)	Baja
Deem	Escarpe de erosión mayor	Origen denudacional (D)	Baja
Deeme	Escarpe de erosión menor	Origen denudacional (D)	Baja
Dga	Glacís de acumulación	Origen denudacional (D)	Baja
Dge	Glacis de erosión	Origen denudacional (D)	Baja
Dlcr	Ladera cóncava de retroceso	Origen denudacional (D)	Baja
Dld	Loma denudada	Origen denudacional (D)	Baja
Dldemm	Loma denudado moderado de longitud media	Origen denudacional (D)	Baja



**FASE DE DIAGNÓSTICO**  
**PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO**

ID UN GEOM	Unidad	Región	Calif
Dle	Ladera erosiva	Origen denudacional (D)	Baja
Dlo	Ladera ondulada	Origen denudacional (D)	Baja
Dlor	Loma residual	Origen denudacional (D)	Baja
Dlres	Lomo residual	Origen denudacional (D)	Baja
	Montículos y ondulaciones		
Dmo	denudacionales	Origen denudacional (D)	Baja
Dsd	Sierra denudada	Origen denudacional (D)	Baja
Fa	Dique natural o albardón	Origen Fluvial (F)	Alta
	Abanicos fluviotorrenciales de		
Faa	Piedemonte	Origen Fluvial (F)	Alta
Fat	Abanicos terraza	Origen Fluvial (F)	Media
Fbl	Barra longitudinal	Origen Fluvial (F)	Alta
Fca	Cauce activo actual	Origen Fluvial (F)	Alta
Flg	Lagunas	Origen Fluvial (F)	Baja
Fma	Meandro abandonado	Origen Fluvial (F)	Baja
Fpac	Plano aluvial confinado	Origen Fluvial (F)	Media
Fpi	Plano o llanura de inundación	Origen Fluvial (F)	Media
Fta	Terraza de acumulación	Origen Fluvial (F)	Alta
Fta1	Terraza de acumulación nivel 1	Origen Fluvial (F)	Alta
Fta2	Terraza de acumulación nivel 2	Origen Fluvial (F)	Media
Fta3	Terraza de acumulación nivel 3	Origen Fluvial (F)	Media
Ftas	Terraza de acumulación subreciente	Origen Fluvial (F)	Media
Ftan	Terraza de acumulación antigua	Origen Fluvial (F)	Media
Mbl	Barras litorales	origen marino, litoral costero (M)	Baja
Mcc	Crestas y artesas de playa antiguas	origen marino, litoral costero (M)	Baja
Mci	Canales Intermareales	origen marino, litoral costero (M)	Baja
Mcpy	Complejo de crestas y artesas de playa	origen marino, litoral costero (M)	Baja
Mdf	Delta de flujo de marea	origen marino, litoral costero (M)	Baja
Mdr	Delta de reflujo de marea	origen marino, litoral costero (M)	Baja
Mlc	Laguna costera	origen marino, litoral costero (M)	Baja
Mlli	Llanura intermareal	origen marino, litoral costero (M)	Baja
Mpl	Playas	origen marino, litoral costero (M)	Baja
Mpv	Planos y llanuras con vegetación halófila	origen marino, litoral costero (M)	Baja
Mtm	Terrazas marinas	origen marino, litoral costero (M)	Baja
Ac	Cantera	Origen antrópico (A)	Baja
Aca	Canales artificiales	Origen antrópico (A)	Baja

Fuente: Elaboración propia

Las subunidades geomorfológicas presentes que generalmente son susceptibles a presentar un eventos torrencial, son aquellas que presentan moderadas pendientes y están ligadas en su desarrollo a un sistema fluviotorrencial relacionadas con la inundación de zonas con un bajo índice de relieve durante la época de alta pluviosidad asociadas al desborde temporal de los ríos Currulao, Guadualito y Turbo sobre terrazas, abanicos aluviales o planos de inundación; estas unidades, al estar asociadas a las corrientes hídricas y estar constituidas por materiales finos arcillosos aumentan su cota de nivel, durante las temporadas de lluvias y afectan planos anegadizos, constituyéndolos como depósitos fluvio-lacustres (limosos y arcillosos con tendencia heterogranulométrica poco sorteada) de encharcamiento temporal, que de manera general bordean las cuencas de decantación, generados por el desbordamiento y dinámica natural de los ríos.

De acuerdo con la salida cartográfica geomorfológica basada en el método de Carvajal, se consideró las formas de terreno correspondiente a las unidades de tipo fluvial asociadas a eventos torrenciales como son: Dique natural o albardón (Fa), Abanicos fluviotorrenciales de piedemonte (Faa), Abanicos terraza (Fat), Barra Longitudinal (Fbl), Cauce activo actual (Fca), Plano aluvial confinado (Fpac), Plano o llanura de inundación





(Fpi), Terraza de acumulación (Fta), Terraza de acumulación nivel 1 (Fta1), Terraza de acumulación nivel 2 (Fta2), Terraza de acumulación nivel 3 (Fta3), Terraza de acumulación subreciente (Ftas), y Terraza de acumulación antigua (Ftan), unidades que corresponde al área de cambio brusco de pendiente del cauce donde se surte la descarga principal de la avenida torrencial.

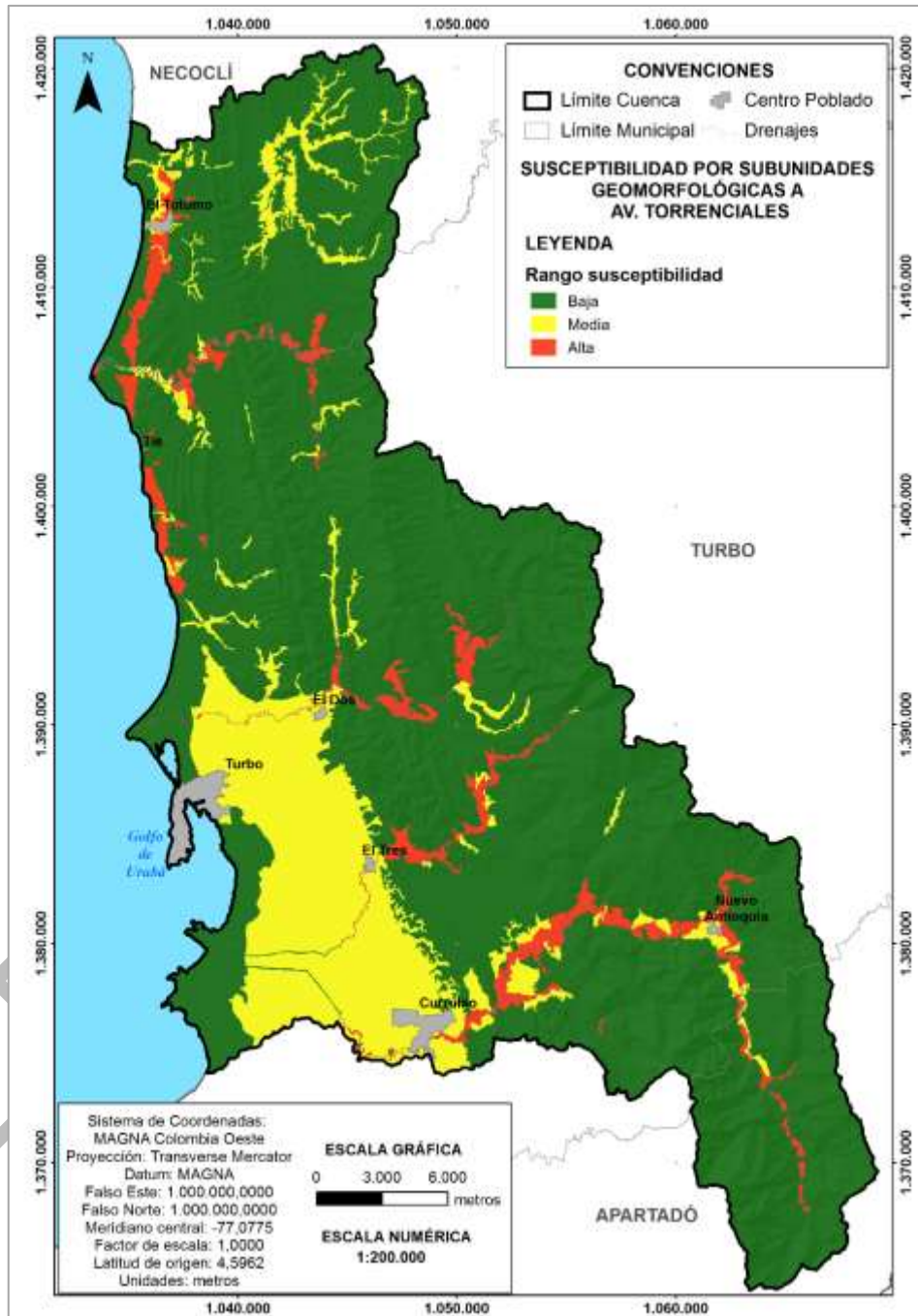


Figura 87. Susceptibilidad por unidades geomorfológicas a avenidas torrenciales.  
Fuente Elaboración propia



o Unidades de terreno

Corresponde a geoformas particulares del terreno consideradas dentro de un nivel del sistema jerárquico, relacionada con las formas de relieve: ambientes morfogenéticos y sistemas de terreno (Zinck, 2012). Cada geoforma se clasifica según su génesis, morfología y geometría del relieve. Su análisis permite identificar geoformas asociada a procesos de inundación y subsiguientemente determinar zonas susceptibles a esta amenaza. Este parámetro fue analizado con base en las unidades de terreno según Zinck (1989), definidas para el área de la cuenca hidrográfica río Turbo-Currulao (Figura 81 y Tabla 27). Para el análisis geomorfológico se tienen en cuenta las subunidades geomorfológicas o formas de terreno asociadas a procesos de avenidas torrenciales. De acuerdo con la salida cartográfica geomorfológica basada en el método de zinck para la cuenca objeto de ordenación, se considero las formas de terreno como: Montaña con valle estrecho y plano de terraza 1 (MVP1), : Montaña con valle estrecho y plano de terraza 2 (MVP2), montaña con valle estrecho y vega (MVV), montaña con vallecito y vega (MZV), Lomerio con valle estrecho y bajo de terraza (LVD1), Lomerio con valle estrecho y plano de terraza 1 (LVP1), Lomerio con valle estrecho y plano de terraza 1 (LVP2), lomerio con vallecito y vega (MZV), lomerio con vallecito y vega (LZV), piedemonte con avinico y apice (PARA), Piedemonte con bajo abanico (PARD), piedemonte con cuerpo abanico (PARC), piedemonte con vallecitos y vega (PZV), y planicie con vallecitos y vega (RZV).

Tabla 49. Susceptibilidad de unidades del terreno a eventos torrenciales

ID_UN_GEOM	Forma de terreno	Tipo de relieve	Paisaje	Calif.
MCaR	Ladera estructural o Revés	Crestón (MC)	Montaña (M)	Baja
MCaF	Ladera erosional o Frente	Crestón (MC)	Montaña (M)	Baja
MLaL	Cima y ladera	Lomas (ML)	Montaña (M)	Baja
MGP	Plano inclinado	Glacis (MG)	Montaña (M)	Baja
MVP1	Plano de Terraza 1	Valle Estrecho (Mv)	Montaña (M)	Alta
MVP2	Plano de Terraza 2	Valle Estrecho (Mv)	Montaña (M)	Alta
MVV	Vega	Valle Estrecho (Mv)	Montaña (M)	Alta
MZV	Vega	Vallecito (MZ)	Montaña (M)	Alta
LKF	Ladera erosional o Frente	Crestón (LK)	Lomerio (L)	Baja
LKR	Ladera estructural o Revés	Crestón (LK)	Lomerio (L)	Baja
LEF	Ladera Erosional o Frente	Espinazo-hog back (LE)	Lomerio (L)	Baja
LER	Ladera estructural	Espinazo-hog back (LE)	Lomerio (L)	Baja
LLaL	Cima y ladera	Lomas (LL)	Lomerio (L)	Baja
LLiL	Cima y ladera	Lomas (LL)	Lomerio (L)	Baja
LLD	Domo Diapírico	Lomas (LL)	Lomerio (L)	Baja
LGP	Plano inclinado	Glacis (LG)	Lomerio (L)	Baja
LVD1	Bajo de terraza	Valle estrecho (LV)	Lomerio (L)	Media
LVP1	Plano de Terraza 1	Valle estrecho (LV)	Lomerio (L)	Media
LVP2	Plano de Terraza 2	Valle estrecho (LV)	Lomerio (L)	Media
LVV	Vega	Valle estrecho (LV)	Lomerio (L)	Media
LZV	Vega	Vallecitos (LZ)	Lomerio (L)	Alta
PARa	Ápice o parte proximal	Abanico (PA)	Piedemonte (P)	Baja
PARd	Bajo de abanico	Abanico (PA)	Piedemonte (P)	Baja
PARc	Cuerpo de abanico	Abanico (PA)	Piedemonte (P)	Baja
PZV	Vega	Vallecitos (PZ)	Piedemonte (P)	Baja
RRB	Cordón de playa	Plano de marea (RR)	Planicie (R)	Baja
RRL	Albufera o Laguna costera	Plano de marea (RR)	Planicie (R)	Baja
RMM	Marisma	Plano de marea (RR)	Planicie (R)	Baja
RTeD1	Bajo de Plano	Terraza marina (RT)	Planicie (R)	Baja
RTeP1	Plano de terraza	Terraza marina (RT)	Planicie (R)	Baja
RZV	Vega	Vallecitos (RZ)	Planicie (R)	Baja



Fuente: Elaboración propia

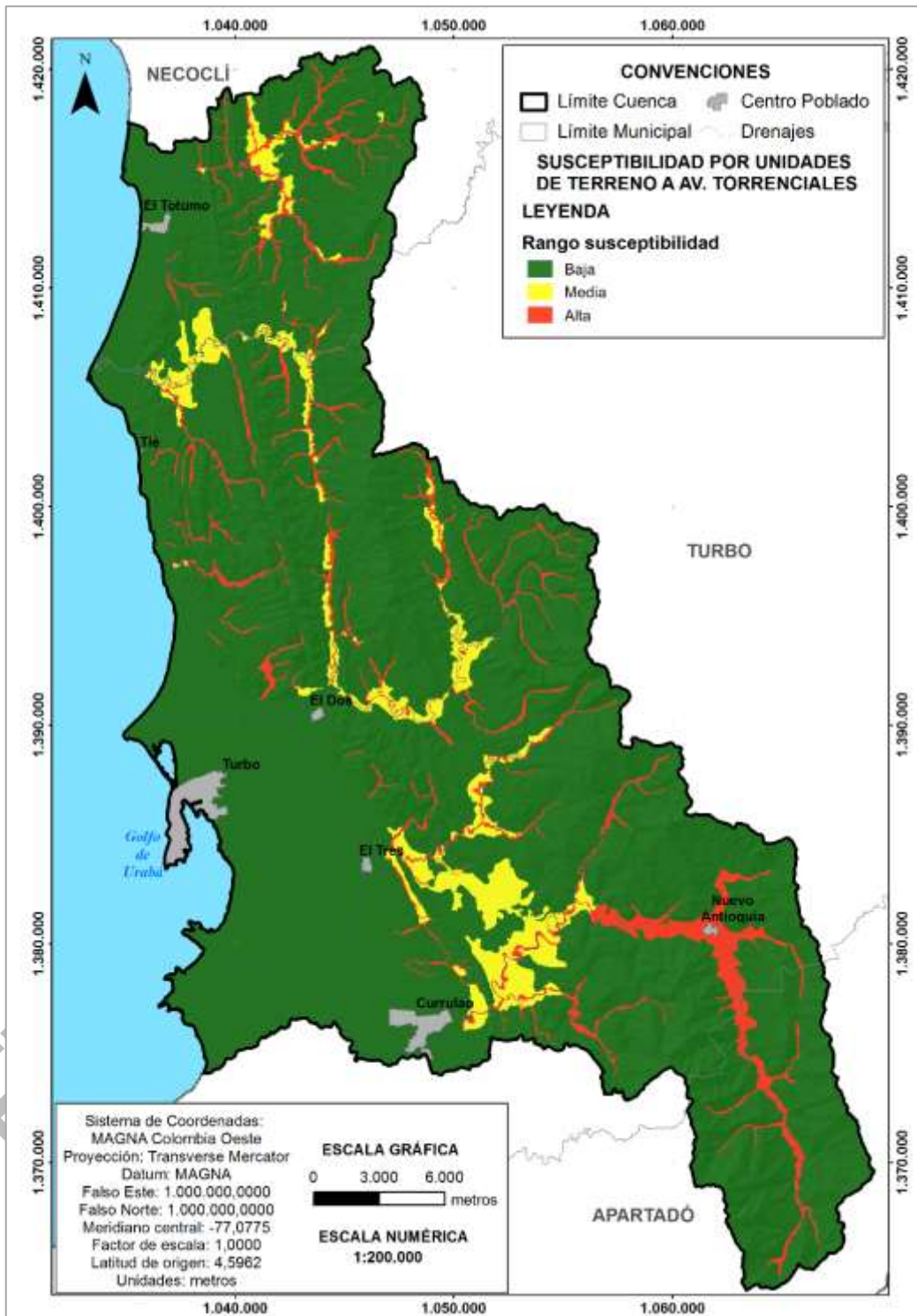


Figura 88. Susceptibilidad de unidades del terreno a eventos torrenciales.

Fuente: Elaboración propia.






- **Eventos**

La existencia de eventos torrenciales marca el valor de existencia de la misma y describe zonas susceptibles a presentar una avenida torrencial ya que han ocurrido dentro de la cuenca. La consolidación de esta información se realiza a partir de la revisión de fuentes secundarias y primarias en las que se describe su ubicación por asociación a proximidad de puntos o zonas de referencia. Permite identificar zonas de susceptibilidad por avenidas torrenciales basada en la frecuencia de ocurrencia, que al integrarse con las zonas de susceptibilidad y relacionarlas con la geomorfología y factores morfométricos permite definir la zonificación de la susceptibilidad.

Este parámetro fue analizado con ayuda de la base de datos recolectada en campo. La información se maneja en formato vector tipo polígono y se categoriza de acuerdo a su recurrencia (alta, menor a 15 años; media, entre 15 y 50 años, y baja, mayor a 50 años) como se observa en la Tabla 28.

Tabla 50. Categorización de la recurrencia de los eventos de avenidas torrenciales

TEMPORALIDAD DEL EVENTO HISTÓRICO	CLASIFICACIÓN	
Menor a 15 años	Alta	
Entre 15 y 50 años	Media	
Mayor a 50 años	Baja	

Fuente: Protocolo de incorporación de la Gestión del riesgo, 2015.

En el numeral de identificación de eventos históricos se documentó los registros históricos de avenidas torrenciales en los municipios de Turbo, Apartado y Necocli, en donde se identificaron siete eventos en el periodo de 1967-2016. Las afectaciones se encuentran en el área rural, en la cuenca solo se lograron espacializar cuatro eventos, localizados en el río Currulao, río Tío Lopez (afluente del Currulao), y quebrada la Anguilla en el corregimiento el Totumo (ver Figura 9).

Se realizó un cruce entre las unidades geomorfológicas antes indicadas y los eventos históricos para calificar las unidades geológicas que contaran con eventos históricos de avenidas torrenciales y de esta manera obtener una nueva capa de susceptibilidad, en la Figura 89 y Figura 90 se presentan los resultados.



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

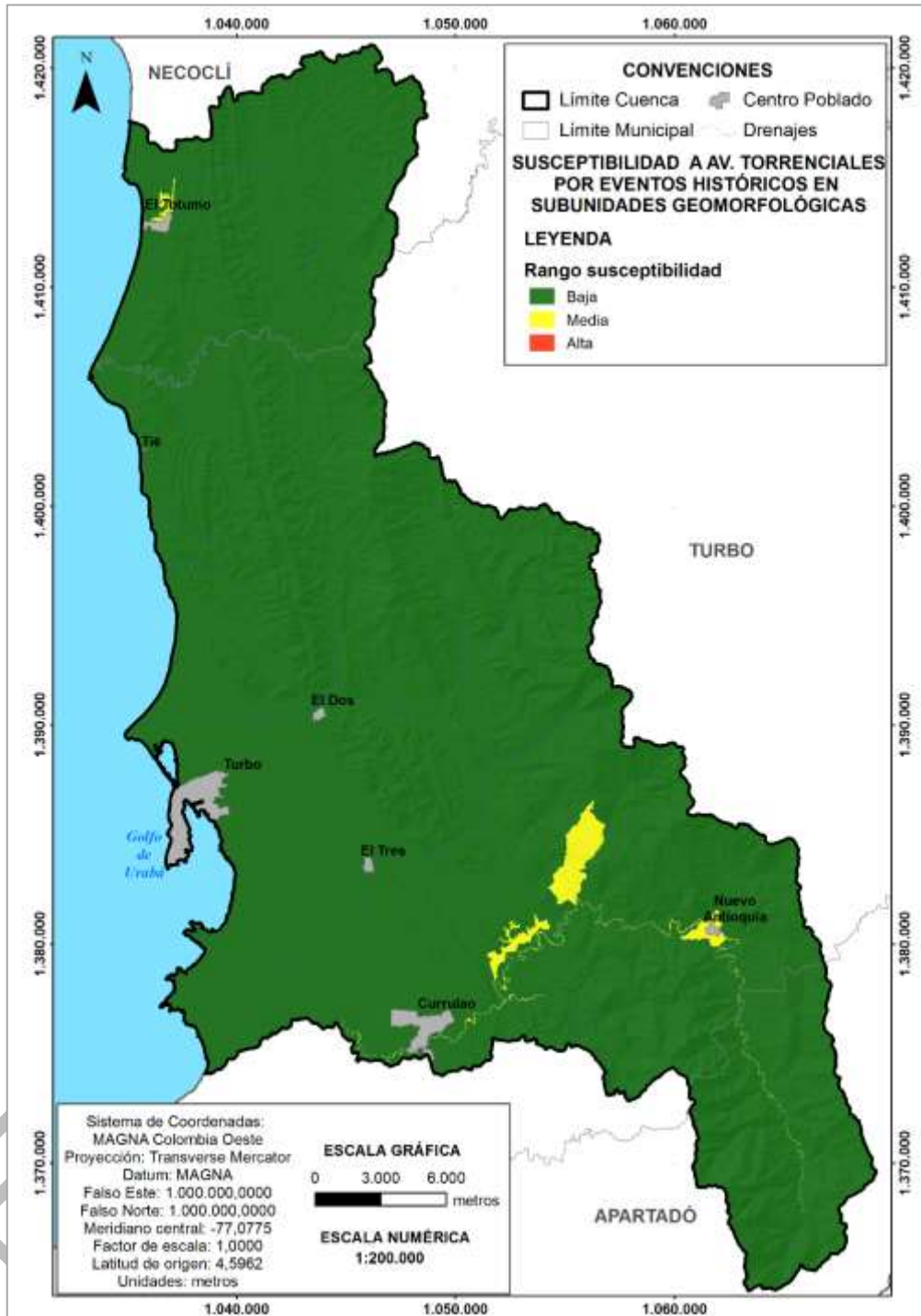


Figura 89. Susceptibilidad a avenidas torrenciales por eventos históricos en subunidades geomorfológicas.

Fuente: Elaboración propia

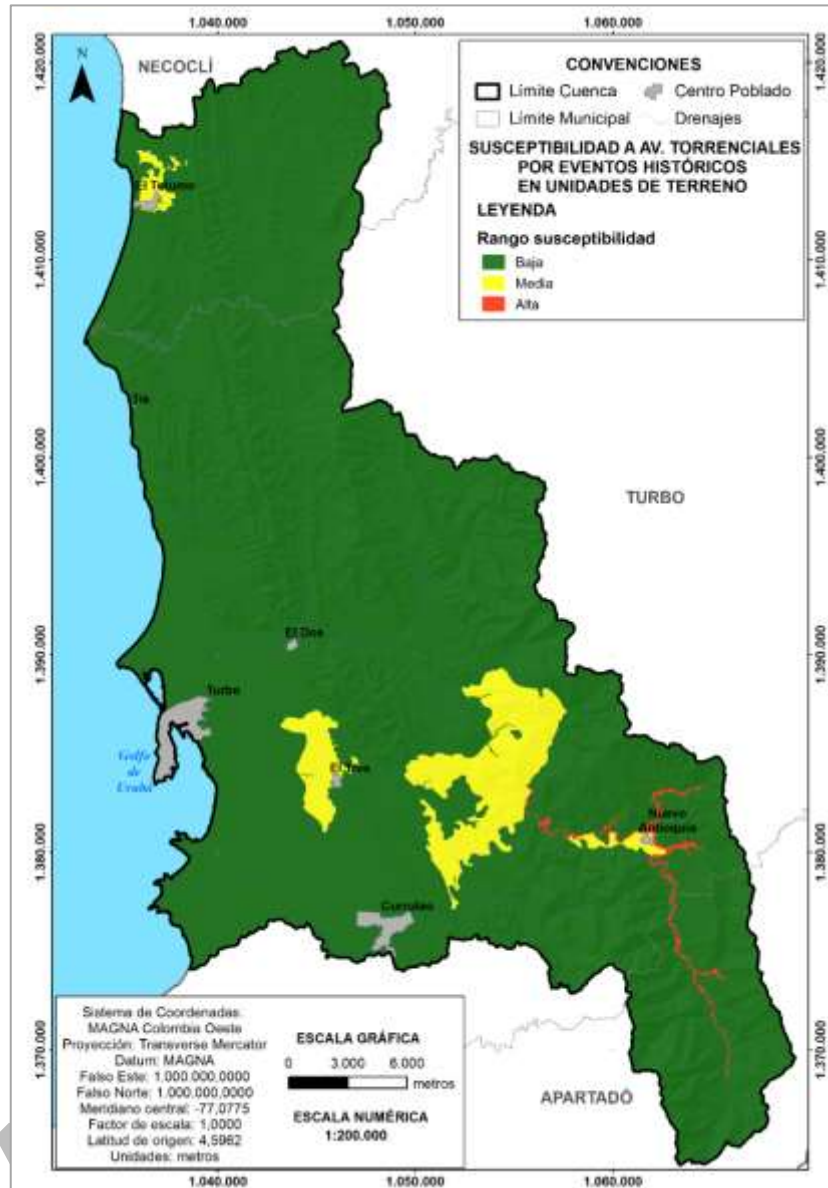


Figura 90. Susceptibilidad a avenidas torrenciales por eventos históricos en unidades de terreno.  
Fuente: Elaboración propia

#### 7.6.3.4 Zonificación de la susceptibilidad por avenidas torrenciales

Las avenidas torrenciales se caracterizan por su carácter súbito o impredecible, alta velocidad y corta duración, arrastran gran volumen de sedimento con relación al flujo de agua, incluido material de arrastre de gran tamaño (rocas, troncos); frecuencia de recurrencia baja para una misma localización comparado con las inundaciones fluviales lentas; en general no existe una llanura de inundación bien establecida debido a que la distribución espacial y temporal suele ser errática, los desbordamientos son extensos y violentos, los procesos de erosión y sedimentación son bruscos, en ocasiones se dan procesos de profundización de cauce dentro de una misma zona de depósito de eventos previos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).



Con base en el índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET), la existencia de unidades geomorfológicas relacionadas con eventos de avenidas torrenciales y la presencia de eventos históricos, se categoriza en general a todas las subcuencas que componen la cuenca hidrográfica del río Turbo-Currulao con susceptibilidad baja, media y alta por avenidas torrenciales (Figura 91).

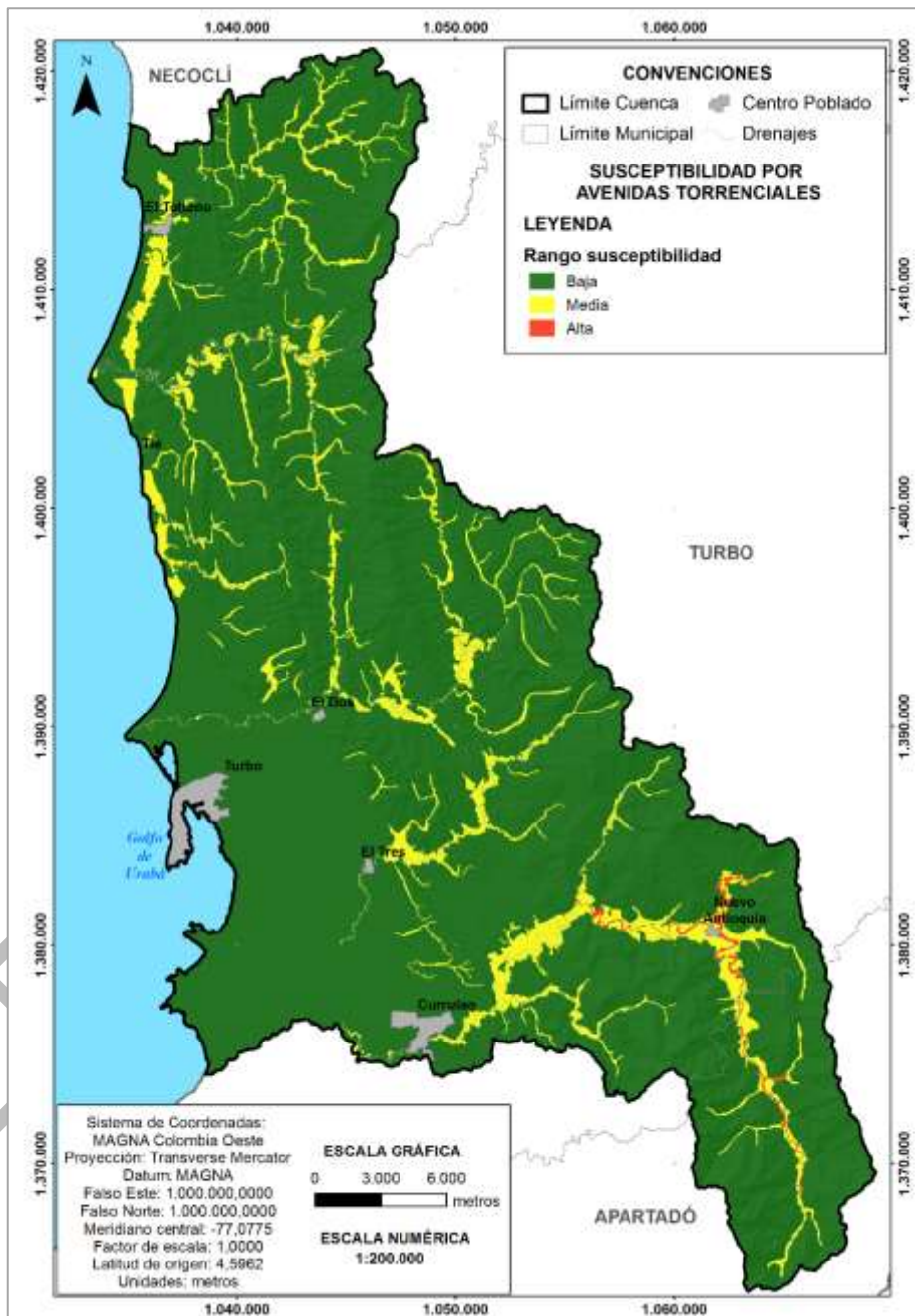


Figura 91. Susceptibilidad por avenidas torrenciales.  
Fuente: Elaboración propia.



Trabajo de campo. Evidencia de depósito aluviotorrencial durante el recorrido de campo (Figura 92).



Figura 92. Identificación de unidad de origen fluvial, se trata de un abanico aluvial. Estación SMAR-005 del recorrido geomorfológico. Deposito aluvial o aluvio-torrencial en la margen izquierda del río currulao.

Validación de eventos históricos: comparación de diferentes fuentes de información

Tabla 51. Registro historico de eventos por avenidas torrenciales – Cuenca Río Turbo-Currulao.

Fecha de Ocurrencia	Tipo de evento	Región		No. Personas	No. Viviendas	Tipo de causa	Observaciones de causa
28/04/1967	Avenida torrencial	Apartado	Río Apartadó.	1010	160	Lluvias	Fuertes llluvias.
16/07/1971	Avenida torrencial	Turbo Currulao	S/I	101	16	Lluvias	FUERTE INVIERNO.
05/08/1984	Avenida torrencial	Turbo	LA ARENERA Y PUERTO COREA.	191	0	Lluvias	EL FUERTE INVIERNO.
04/06/2005	Avenida torrencial	Apartadó	S/I	13000	47	Lluvia	18 BARRIOS INUNDADOS POR AVALANCHA DEL RIO APARTADO: EL DORADO, CONSEJO BAJO, ALFONSO LOPEZ, SAN FERNANDO, LAS BRISAS, PRIMERO DE MAYO, LA ESPERANZA, LA CADENA, LA ESMERALDA, LA LIBERAD, FUNDADORES, PUEBLO QUEMADO, DANEN, LOS PINOS, LOS ALMENDROS, VELEZ Y ORTIZ. REPORTE DEL CLOPAD. ADEMAS INFORMAN QUE EXISTEN 421 VIVIENDAS POR REUBICAR.
17/08/1999	Avenida torrencial	Necolí	S/I	0	0	Lluvia	LOS ELEMENTOS ESTABAN EN STOCK EN EL CRE Y





FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

25/08/1999	Avenida torrencial	Necolí	S/I	865	0	Lluvia	FUERON ENTREGADOS EN LA EMERGENCIA DE NECOCLI DEL 25 DE AGOSTO RIOS MULATO Y TULAPA. INFORME DE RED DE SOLIDARIDAD SOCIAL. REPORTA AVALANCHA OCACIONANDO DESTRUCCION DE DOS PUENTES VEREDALES DEJANDO DOS VEHICULOS EN MEDIO, NO SE TIENE DATOS DE AFECTACION, CMGRD.
26/04/2013	Avenida torrencial	Turbo	S/I	0	0	Lluvia	

Fuente: DESINVENTAR 2017.

Los principales factores que favorecen la ocurrencia de este tipo de fenómeno estan representados en el IVET:

**Tamaño de la cuenca:** Las avenidas torrenciales se presentan en cuencas pequeñas, de entre 0,3 y 150 km<sup>2</sup>, para que ésta pueda ser afectada por una sola lluvia al mismo tiempo, puesto que para áreas más grandes la probabilidad es muy baja de que sean cubiertas en su totalidad por un solo aguacero (Riedl y Zachar, 1984 en Universidad Nacional, 2009).

**Forma de la cuenca:** Cuencas con formas circulares presentan mayores posibilidades de generar avenidas torrenciales que cuencas alargadas. La causa es que las líneas de flujo de escorrentía siguen una trayectoria corta y son más sincrónicas en cuencas con forma circular. La relación de circularidad es un indicador morfométrico de cuencas con perímetros aproximadamente circulares.

**Pendiente:** La pendiente de la cuenca y del perfil longitudinal del cauce, influyen en la velocidad de la escorrentía y la cantidad de infiltración. Es por ello que las cuencas de mayor pendiente media y con cambios drásticos en la gradiente en diferentes segmentos del cauce principal o sus tributarios, son más susceptibles a la ocurrencia de avenidas torrenciales.

**Densidad de drenaje:** Una red densa de drenaje contribuye significativamente a la reducción en el tiempo de concentración, lo que significa un rápido escurrimiento y formación de crecientes súbitas en poco tiempo.

**Cantidad y aporte de sedimentos:** Para la generación de un flujo torrencial, es indispensable una combinación de materiales gruesos heterométricos y finos especialmente arenas y limos. Por el esta razón el tipo de material geológico superficial es determinante en la ocurrencia y tipo de fenómeno. La Cuenca Río Turbo-Currulao esta conformada por materiales finos.

**Permeabilidad y humedad del suelo:** La humedad del suelo es considerado como el factor importante en la generación de avenidas torrenciales, especialmente en zonas húmedas con suelos profundos. Si el suelo está saturado durante una precipitación, no permitirá infiltración adicional y toda la lluvia se convierte en escorrentía. Por otro en



zonas secas se tiene una tasa específica a la que puede absorberse la lluvia, llamada la capacidad de infiltración. Si el índice de pluviosidad excede la capacidad de infiltración, conduce a una producción rápida y eficiente de escorrentía superficial. La tasa de infiltración también se ve afectada por la permeabilidad del suelo (University Corporation for Atmospheric Research, 2010)

Las arcillas de la cuenca están compuestas principalmente por minerales de montmorillonitas, ilitas y algo de caolinitas en su respectiva proporción. De acuerdo a los análisis de laboratorio de las muestras recolectadas en la campaña geotécnica, la humedad natural es menor que la humedad de equilibrio, por lo tanto, el suelo se expandirá para buscar la cantidad de agua y alcanzar la humedad de equilibrio especialmente en temporadas de lluvias, aumentando los procesos de remoción de masas, es decir las subcuencas de la Cuenca Río Turbo-Currulao tienen una alta probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa, lo cual favorece el aporte de sedimentos, árboles y demás desechos, así como formación de represamientos en los cauces.

Alta precipitación: La Cuenca Río Turbo-Currulao esta localizada en un clima semi-húmedo, donde los aguaceros son frecuentes y presentan alta intensidad y duración, son propensas a la generación de avenidas torrenciales.

Teniendo en cuenta el anterior análisis, las subcuencas de la cuenca del río Turbo - Currulao, en su mayoría presentan vulnerabilidad alta a eventos torrenciales. Esto significa que la cuenca tiene una densidad de drenaje muy alta, muy bien desarrollada, que hace que cualquier lluvia encuentre rápidamente un camino para llegar al cauce principal y causar avenidas torrenciales, con una pendiente accidentada que facilita el proceso. Los cauces de acumulación se identificaron con el análisis geomorfológico y morfométrico.

#### **7.6.3.5 Descripción metodológica para obtener amenaza por avenidas torrenciales**

La zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales se realizó considerando los siguientes antecedentes y criterios:

- Clasificación de los drenajes de las microcuencas o subcuencas calificadas con susceptibilidad media, alta y muy alta.
- Análisis de eventos históricos discriminados por recurrencia.
- Calificación de los drenajes (fase líquida) de las subcuencas con susceptibilidad a eventos torrenciales con la influencia de amenaza por movimientos en masa en las laderas con potencial de aportar materiales (fase sólida) a las crecientes torrenciales.
- Análisis de confinamiento en la parte alta y media de la cuenca y desconfinamiento en la parte baja para definición de la torrencialidad del cauce y área de influencia o alcance posible.



Cada uno de los drenajes que conforma las subcuencas susceptibles a eventos torrenciales se calificó según la zonificación de la amenaza por movimientos en masa, como factor que permite identificar la existencia de carga de sedimentación que podía contribuir a la ocurrencia del fenómeno estudiado y la condición de pendiente evalúa hasta donde podría haber energía para el transporte del material torrencial generado en cuencas con morfometría torrencial. Luego de tener la zonificación torrencial se realiza una modelación semicuantitativa para determinar el comportamiento geométrico de la avenida torrencial en cada cauce y la extensión de la misma siguiendo el procedimiento Luengas & Perico (2017) desarrollado para POMCAS.

### 7.6.3.6 Descripción de las variables para obtener susceptibilidad por avenidas torrenciales

Las variables que se tuvieron en cuenta para definir la amenaza por avenidas torrenciales en la cuenca hidrográfica del río Turbo-Currulao fueron la localización de las zonas susceptibles a eventos torrenciales, la categorización del mapa de amenaza por movimientos en masa, el inventario de procesos con su respectiva recurrencia y los cuerpos de agua de la cuenca hidrográfica (ver Figura 83).

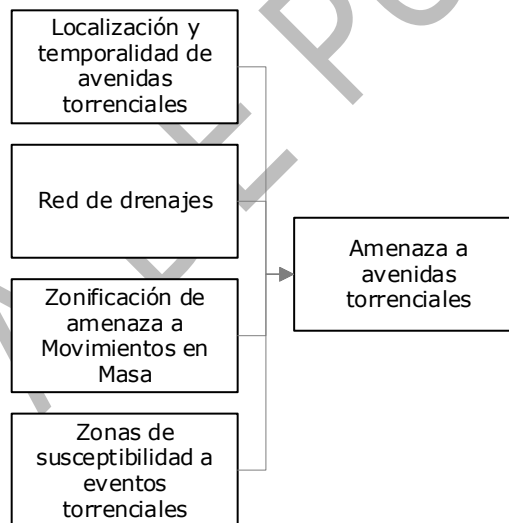


Figura 93. Variables para la modelación de la amenaza por avenidas torrenciales

- **Localización de avenidas torrenciales**

Los fenómenos localizados y evaluados son todos aquellos que hacen parte del inventario producto de la recopilación e identificación de avenidas torrenciales en la cuenca hidrográfica del río Turbo-Currulao. Estos registros son fundamentales pues a partir de ellos se castiga y valida la zonificación de amenaza.

Las avenidas torrenciales históricas son el consolidado de la revisión de fuentes secundarias, en las que se describe su ubicación por asociación a proximidad de puntos



o zonas de referencia (trabajadas en formato vector tipo punto) y la información extraída de la visita de campo.

**Avenidas Torrenciales Históricas:** La consolidación de esta información se realiza a partir de la revisión de fuentes secundarias, en las que se describe su ubicación por asociación a proximidad de puntos o zonas de referencia. Permite identificar zonas de amenaza por avenidas torrenciales basada en la frecuencia de ocurrencia, que al integrarse con las zonas de susceptibilidad y relacionarlas con la zonificación de amenaza por movimientos en masa permite definir la zonificación de la amenaza. Este parámetro fue analizado con ayuda de la base de datos recolectada en campo. La información se maneja en formato vector tipo punto y se categoriza de acuerdo a su recurrencia (alta, menor a 15 años; media, entre 15 y 50 años, y baja, mayor a 50 años) como se observa en la Tabla 52.

Tabla 52. Categorización de la recurrencia de los eventos de avenidas torrenciales

TEMPORALIDAD DEL EVENTO HISTÓRICO	CLASIFICACIÓN
Menor a 15 años	Alta
Entre 15 y 50 años	Media
Mayor a 50 años	Baja

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

- **Zonas de susceptibilidad a avenidas torrenciales:**

Proviene de la zonificación de la susceptibilidad a avenidas torrenciales en las categorías media y alta descritas en el capítulo anterior, la información se maneja en formato vector tipo polígono.

- **Zonificación de amenaza a movimientos en masa.**

Si bien es claro que una avenida torrencial es el producto de un flujo hiperconcentrado de detritos, rocas y otros materiales que se puedan arrastrar a lo largo de una corriente de agua es importante aclarar que la avenida torrencial tiene limitaciones de espacio y causalidad (no se presenta una avenida torrencial en donde no haya aporte de material mediante un movimiento en masa, la avenida torrencial sólo se produce a lo largo del cuerpo de agua) razón por la cual es importante tener en cuenta la zonificación de amenaza a movimientos en masa descrita en el capítulo del análisis de la zonificación por dicha amenaza, la información se maneja en formato vector tipo polígono.

### 7.6.3.7 Evaluación de de la amenaza por avenidas torrenciales

Una vez identificada la susceptibilidad por avenidas torrenciales, las subcuencas pueden ser calificadas con amenaza media o alta en función de la existencia y temporalidad de eventos históricos y a la carga de sedimentos.

La amenaza por avenidas torrenciales no es propia de las subcuencas sino del cuerpo de agua directamente calificado como torrencial. Por lo tanto, para calificar la amenaza en los cuerpos de agua se debe tener en cuenta la susceptibilidad encontrada de la subcuenca, la influencia de la amenaza por movimientos en masa y la pendiente del terreno. Los cuerpos de agua que tengan susceptibilidad media, alta o muy alta y que



al tiempo se relacionen con zonas de amenaza media o alta por movimientos en masa, se califican con amenaza media o alta por avenidas torrenciales y baja si tienen alguna susceptibilidad pero se relacionan con amenaza baja por movimientos en masa (Figura 84).

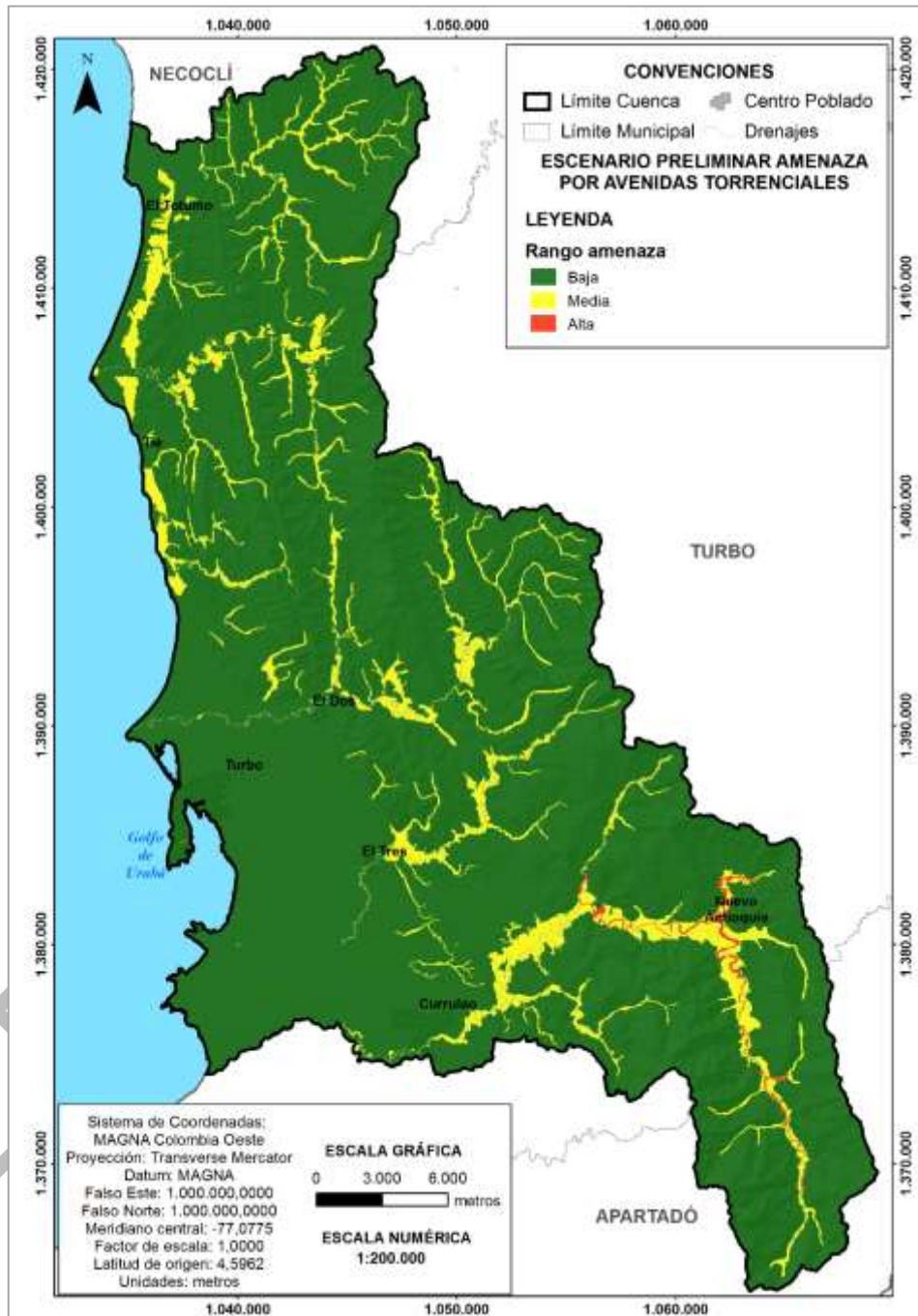


Figura 94. Amenaza por avenidas torrenciales según el Protocolo para la incorporación de riesgos en los POMCA (2014).

Fuente: Elaboración propia



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

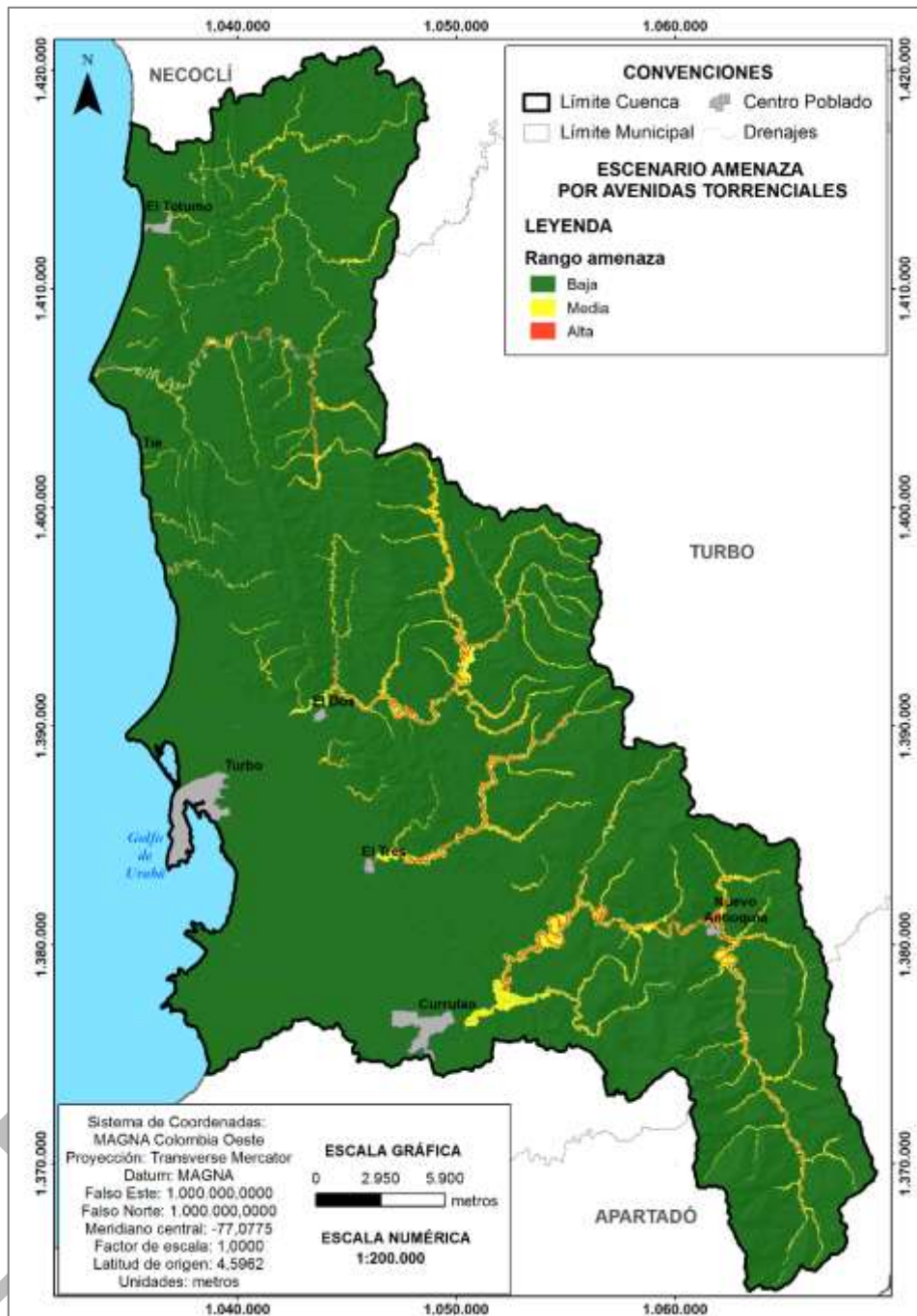


Figura 95. Amenaza por avenidas torrenciales final.  
Fuente: Elaboración propia

La amenaza por avenidas torrenciales es específica en la cuenca pues la mayoría del área realmente está expuesta a amenaza baja (94,9% correspondiente a 85.304 ha). Particularmente, la condición de amenaza se centra en cuerpos de agua de comportamiento torrencial y que en su área de influencia se encuentran materiales de



arrastré generados por movimientos en masa. Esta condición sucede en la mayoría de cuerpos de agua, siendo algunos de ellos verdaderamente efectivos en el desplazamiento de escombros, sólidos disueltos y sólidos arrastrados de todos los tamaños de grano (inclúyase rocas de dimensiones importantes) como el caso del río Currulao, Guadualito, Turbo y Caiman Nuevo, entre otros. La condición de amenaza alta se extiende en 977 ha (1,09%) y media en 3.638 ha (4,04%).

Aspectos que se revisaron en campo

1. Textura de los depósitos torrenciales formados por diferentes mecanismos de transporte (depósitos formados por flujos de detritos, flujos de lodo, flujos de tierra o depósitos de origen fluvio-torrenciales);
2. Morfologías superficiales: presencia de diques o muros naturales de material de arrastre, lóbulos frontales, daños a la vegetación, canal trapezoidal. Este análisis tuvo como soporte la información de la cartografía geomorfológica y geológica del área en evaluación.
3. Además de considerar los siguientes aspectos adicionales a partir de una adaptación de la propuesta de (Parra E. V., 1995) que se resume en la, respecto a la cronología de los eventos:
4. Años: Huellas en el cauce, sin vegetación o rastrojo bajo en márgenes, depósito y cicatrices de movimientos en masa asociados, afectación de la corteza de árboles mayores, ausencia de líquenes en bloques de roca, ausencia de horizontes A y B de suelo. Coronas de cicatrices agudas.
5. Decenas de años: Rastrojo alto o árboles mayores en márgenes, depósito y cicatrices de movimientos en masa asociados, líquenes en bloques, matriz fresca, coronas de cicatrices subredondeadas.

En la Cuenca Río Tirbo-Currula, se evidencia procesos de inestabilidad en las subcuencas, principalmente en aquellas márgenes de pendientes escarpadas, en donde el volumen de sedimentos fluye hacia los ríos principales (Figura 96, Figura 97, Figura 97, Figura 98, Figura 99 y Figura 100), como consecuencia de los procesos morfodinámicos presentes en toda el área de la cuenta descrito en el capítulo de movimientos en masa. De acuerdo a lo anterior se debe contemplar la ocurrencia flujos densos en la cuenca, además las rocas presentes en la cuenca están compuestas principalmente por arcillas. La muestra una cárcava formada por concentración de aguas que bajan desde la corona de la ladera y labran el fondo.



Figura 96. Cárcava y erosión de fondo de un drenaje en el sector Alto de Mulatos – Caracolí.  
Fente: Elaboración propia



Figura 97. Deslizamiento en la margen derecha del río Currulao, sector Playa Larga. Fuente: Elaboración propia.



Figura 98. Deslizamientos por socavación lateral en la margen izquierda del río Currulao vía a Playa Larga. Fuente: Elaboración propia.





Figura 99. Deslizamientos Margen Izquierda río Guadualito, sector Alto de Mulatós – Quebrada El Volcán. Fuente: Elaboración propia.



Figura 100. Panorámica sector Manuel Cuello. Fuente: Elaboración propia.

Las condiciones morfométricas, geológicas e hidrológicas activan la susceptibilidad a la ocurrencia de flujos: a) de escombros; b) de lodos; c) hiperconcentrados; d) turbulentos. Los flujos hiperconcentrados son los que tienen mayor probabilidad de ocurrencia, lo cual ha sido evidenciado en el recorrido campo, especialmente en la planicie aluvial de los ríos con la presencia de gravas finas y arenas en una matriz limo-arcillosa (Figura 101).



Figura 101. Socavación lateral margen derecha río Guadualito – Caracolí. Fuente: Elaboración propia

El segundo tipo torrencial que se presenta en la cuenca son los flujos turbulentos, evidenciado por la presencia de bloques y clastos en contactos tangenciales entre sí, limos de desborde en los de menor contenido de sólidos, se pueden dar por crecientes con bajo contenido de sólidos (Figura 102, Figura 103 y Figura 104).



Figura 102. Presencia de bloque de mediana dimensión y clastos en la planicie de inundación evidenciados en el recorrido de campo de geomorfología. Estación SMAR-024.



Figura 103. Clastos en contactos tangenciales entre sí en la planicie de inundación evidenciados en el recorrido de campo de geomorfología. Estación SMAR-024.



Figura 104. Río Tío López, en la vía Currulao – Nuevo Antioquia

En la época invernal, con lluvias intensas se incrementa considerablemente el caudal sólido y por ende, el poder abrasivo de una corriente, lo que hace que estos eventos constituyan pulsos erosivos muy fuertes. Como consecuencia de ello, el proceso de degradación se caracteriza por; 1) saltación pluvial intensa y deslave en toda la ladera expuesta; 2) incremento notable del carcavamiento general con gran aporte de sólidos incorporados en los flujos de detritos y de lodos; 3) el consiguiente sobre empinamiento de las laderas en el pie del frente de erosión, con posible inducción de movimientos en masa; y 4) notable trabajo de los sedimentos de fondo a lo largo de toda la red de drenaje, con fuerte eliminación de soporte, principalmente desde el fondo del cauce principal, con activación de los movimientos en masa, principalmente hacia la zona de corona y en el contorno de toda la ladera afectada. El efecto general de cada uno de estos pulsos de degradación, se traduce en un significativo avance retrogresivo y lateral de la inestabilidad, un incremento importante del socavamiento y un nuevo aporte de



sedimentos en la zona de acumulación en la parte baja (UNAL, 2011). Todos estos procesos han sido identificados en la cuenca en los recorridos de campo, evidenciados en las fotografías y anexos del trabajo de campo. Teniendo en cuenta el anterior análisis para la Cuenca Río Turbo-Currulao se han definido tres rangos de amenazas.

#### **7.6.3.7.1 Amenaza alta**

Zonas identificadas con actividad reciente y con evidencias históricas claras (más de un evento histórico identificado). Indicadores cronológicos en la categoría de reciente, áreas del territorio susceptibles de presentar tipología de fenómenos de movimientos en masa, identificación de geformas como abanicos torrenciales y zonas de avulsión o pérdida de confinamiento, además de canales por donde se puedan transportar flujos desde movimientos en masa, como lo evidenciado en las subcuencas de los ríos Turbo, y Currulao en el municipio de Turbo y la quebrada Anguilla en el corregimiento del Totumo municipio de Necocli.

#### **7.6.3.7.2 Amenaza Media**

Zonas con actividad torrencial que cumplen al menos uno de los siguientes aspectos: existencia de evidencias históricas de al menos una avenida torrencial; elevación insuficiente por encima del canal torrencial de acuerdo con las características de la cuenca, principalmente del área de drenaje (en general diferencias de elevaciones menores a 1.5 m); aguas abajo de un punto de avulsión potencial (disminución brusca de la sección, puentes o entubaciones de poca sección que puedan ser obstruidos por el material arrastrado).

#### **7.6.3.7.3 Amenaza baja**

Áreas torrenciales identificadas por fotointerpretación (a la escala de trabajo o mayores), las cuales no pueden ser identificadas dentro de las categorías anteriores (zonas alejadas de los canales torrenciales y sin evidencias claras de eventos históricos y sus afectaciones).

Los procesos dominantes, para las áreas críticas establecidas en el análisis de amenaza en las zonas torrenciales, se observa actividad reciente y con evidencias históricas, siendo el evento predominante las crecientes torrenciales que provocan socavación lateral en algunos ríos principales, en los cuales se evidenció:

#### **7.6.3.8 Necesidades de información**

A pesar que se lograron buenos resultados de zonificación de amenaza por avenidas torrenciales y se hicieron análisis adicionales a los métodos exigidos en los alcances técnicos, estos tienen un enfoque de identificación de los cuerpos de agua que pueden presentar este tipo de fenómenos físicos y su posible afectación en caso de ocurrencia. De manera que se deben adelantar estudios locales y puntuales que incluyan topografía y batimetría de detalle y todos los insumos necesarios para modelaciones hidrodinámicas y de capacidad hidráulica de la red de drenaje en cada subcuenca orientados a delimitar con mayor precisión el área de influencia de este tipo de fenómenos.



Dentro de las zonas en las que por estudios en escala de detalle se confirme la condición de amenaza alta se deberán ejecutar programas de reasentamiento, recuperación ambiental y renaturalización de áreas expuestas por este tipo de amenaza. También es importante contar con una red propia de instrumentación hidrometeorológica con al menos una estación pluviográfica por cada subcuenca y sensores de nivel a lo largo del cauce principal de cada río y de sus principales afluentes con las que se pueda recolectar información pluviométrica de detalle complementaria a información sinóptica por variabilidad climática y cambio climático.

De manera similar a las zonas de amenaza alta por avenidas torrenciales, las de amenaza media deben ser sometidas a estudios locales y puntuales que incluyan como mínimo topografía y batimetría de detalle y todos los insumos necesarios para modelaciones hidrodinámicas y de capacidad hidráulica de la red de drenaje en cada subcuenca que permitan delimitar con mayor precisión del área de influencia de este tipo de fenómenos y evaluar la inminente necesidad de reasentamiento de familias y relocalización de infraestructura estratégica o la posibilidad del diseño de obras de drenaje, estructuras de contención, recuperación natural del cauce y manejo de aguas residuales que permitan mitigar las condiciones de amenaza en algunos sectores para condicionar su uso y aprovechamiento.

Adicionalmente se deben ejecutar tareas de identificación de vulnerabilidad y riesgo que se muestran al final del capítulo de identificación de las condiciones de amenaza y riesgo que aplican para todos los fenómenos amenazantes, por lo cual es recomendable considerarlas también de manera específica para avenidas torrenciales.

En la Tabla 53 se presentan las necesidades de estudios de detalle identificadas en la cuenca.

Tabla 53. Necesidades de estudios de detalle

Municipio	Sitio	Drenaje	Necesidad Estudio de Detalle
Apartado	Vereda Playa larga corregimiento de San Jose de Apartado	Quebrada La Mina	En el año 2016 una avenida torrencial se llevo parte de la infraestructura de la bocatoma del acueducto del centro poblado del corregimiento de Nueva Antioquia, se debe evaluar las alternativas de establecer el acueducto en otro sitio o definir obras de contención para mitigar este tipo de eventos.
Turbo	Centro poblado del corregimiento de Nueva Antioquia	Río Currulao	En el paso del río Currulao por el centro poblado de Nueva Antioquia se han presentado avenidas torrenciales con afectación a viviendas, se debe realizar estudios de detalle a escala 1:5.000 para definir el área de amenaza alta por este evento en dicho sitio
	Vereda Boca Limón corregimiento de Nueva Antioquia	Río Currulao	El punte que cruza el río Currulao a la altura de la vereda Boca Limón, presenta un descubrimiento del estribo debido a la acción del agua, se requiere realizar un estudio de detalle que defina el grado de afectación del puente y el reforzamiento del mismo.
	Vereda Bocas de Tío Lopez	Río Tío Lopez	Una avenida torrencial se llevo el puente y actualmente se encuentra un puente militar provisional el cual se encuentran las bases socavadas. Se requiere realizar un estudio de detalle para la construcción de un nuevo puente
	Vereda la arenera corregimiento de Currulao	Río Currulao	Las viviendas nucleadas de esta vereda han presentado afectaciones por avenidas torrenciales del



			río currulao por lo que se requiere un estudio detallado en estas áreas de amenaza alta.
Corregimiento Tres y Alto Mulatos	el Río de Guadualito		El río Guadualito presenta erosión por socavación lateral situación que afecta la vía que conduce del municipio de Turbo al municipio de San Pedro de Uraba, por la caída de la banca, se requiere realizar estudios de detalle en esta zona y definir obras de contención para controlar el avance de la erosión en esta zona.
Necocli	Centro poblado del corregimiento Totumo	Quebrada El Anguilla	La quebrada Anguilla a generado afectaciones a viviendas aledañas a este por lo que se debe evaluar la necesidad de generar proceso de reubicación o de contención para evitar daños futuros

Fuente: Elaboración propia

#### 7.6.4 Identificación, clasificación y caracterización de fenómenos amenazantes y evaluación de la amenaza por incendios forestales

Un incendio forestal se define como el fuego que se propaga, sin control sobre la cobertura vegetal, cuya quema no estaba prevista.

La amenaza por incendio forestal constituye un peligro latente que representa la posible manifestación de un incendio de cobertura vegetal, de origen natural, socio-natural o antropogénico, en un territorio particular, que puede producir efectos adversos en las personas, la producción, la infraestructura, los bienes y servicios y el ambiente.

Para el análisis de la amenaza por incendios forestales se toma como base la metodología propuesta por el IDEAM en el "Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal - Escala 1:100.000 Bogotá, D. C., 2011". Se realizó a partir de la información obtenida del análisis de la condición pirogénica de la vegetación colombiana, basado en el modelo de combustibles desarrollado por Páramo 2007.

Como primer paso se revisaron los factores históricos, los factores que influyen en el comportamiento de los incendios forestales, y los productos intermedios para la obtención de la susceptibilidad por incendios, que se consiguen con la clasificación de las coberturas presentes en el área de estudio con el fin de conocer el tipo de combustible predominante en cada una de ellas, con esta clasificación se pueden obtener los planos de Tipo, Duración y Carga Total de combustibles, con los cuales se genera el plano de Susceptibilidad de la Vegetación a Incendios Forestales. De acuerdo con los registros de las estaciones meteorológicas, del sector se realizan los planos de Isotermas e Isoyetas, con los cuales se puede tener datos de temperatura y precipitación media para la cuenca.

##### 7.6.4.1 Factores que influyen en el comportamiento de los incendios de la cobertura vegetal.

El comportamiento de un incendio forestal es función de las condiciones en las cuales se sucede el fenómeno. Las adaptaciones ecológicas de la vegetación y de los ecosistemas al fuego, las características del material combustible, el clima, las condiciones meteorológicas y la topografía son los principales factores que influyen y determinan su comportamiento (Paramo Rocha, 2007).



#### Adaptaciones ecológicas de los ecosistemas y de la vegetación al fuego

Al analizar el fuego y los incendios de la cobertura vegetal, es importante reconocer y comprender los diferentes papeles que el fuego cumple en los diferentes ecosistemas. En su evaluación mundial preliminar del fuego como una amenaza a la conservación, (The Nature Conservancy, 2006), identificó cuatro categorías amplias de respuestas de la vegetación al fuego:

- Dependientes del fuego, son aquéllos donde el fuego es esencial y las especies han desarrollado adaptaciones para responder positivamente al fuego y para facilitar su propagación, es decir, la vegetación es inflamable y propensa al fuego. A menudo se los denomina ecosistemas adaptados al fuego o mantenidos por el fuego
- Sensibles al fuego e no se han desarrollado con el fuego como un proceso importante y recurrente. Las especies de estas áreas carecen de las adaptaciones para responder a los incendios y la mortalidad es alta incluso cuando la intensidad del fuego es muy baja. La estructura y la composición de la vegetación tienden a inhibir la ignición y la propagación del fuego. En otras palabras, no son muy inflamables. Los incendios se convierten en un problema sólo cuando las actividades humanas fragmentan estos ecosistemas, los combustibles se alteran y las igniciones aumentan. A medida que los incendios se vuelven frecuentes y extendidos, el ecosistema se desplaza hacia una vegetación más propensa al fuego. Este es el caso de la cuenca objeto de ordenación en la cual los procesos de la ampliación de la frontera agropecuaria, han afectado la composición de la vegetación por los efectos de las quemadas y el aprovechamiento forestal que a ocurrido en la zona por décadas.
- independientes del fuego, son aquéllos en los cuales el fuego juega un papel muy pequeño o nulo. Son demasiado fríos, húmedos o secos para quemarse.
- influidos por el fuego. Esta categoría incluye tipos de vegetación que se encuentran frecuentemente en la zona de transición entre los ecosistemas dependientes del fuego y los ecosistemas sensibles al fuego o independientes del fuego pero en última instancia puede incluir tipos de vegetación más amplios en los cuales las respuestas de las especies al fuego todavía no han sido documentadas y el papel del fuego en el mantenimiento de la biodiversidad no se reconoce.

#### 7.6.4.2 Descripción metodológica para obtener susceptibilidad a incendios forestales

La zonificación de la susceptibilidad se realizó a través del análisis de las características intrínsecas de la vegetación y los ecosistemas (carga de combustibles, disposición y combustibilidad), que le brindan cierto grado de probabilidad de incendiarse, propagar y mantener el fuego dentro de la cuenca hidrográfica del río Turbo-Currulao dentro de la metodología establecida por el IDEAM en el Protocolo para La realización de mapas de Zonificación de Riesgos a Incendios de la Cobertura Vegetal (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2011) y lo establecido en los Términos de Referencia para el desarrollo del POMCA, la escala de trabajo ha sido adaptada a 1:25.000 y el proceso metodológico ha sido ajustado de acuerdo a la disponibilidad de información y a las características particulares que fueron valoradas independientemente, aplicando obteniendo calificaciones y a partir de estas,



zonificaciones parciales en términos de mayor o menor probabilidad de ser afectadas o de facilitar o dificultar la formación y/o propagación de incendios en la cobertura vegetal presente en el área objeto de estudio.

Luego de calificar y categorizar las variables implícitas en la evaluación de la susceptibilidad de la cobertura vegetal a sufrir un incendio forestal se normalizan éstas variables para facilitar el proceso de la implementación de la función de pesos para dicho modelo.

#### 7.6.4.3 Descripción de las variables para el cálculo de susceptibilidad a incendios forestales

La susceptibilidad de la cobertura vegetal, se analiza mediante la identificación y valoración de la condición pirogénica de la vegetación, según lo propuesto en el modelo de combustibles desarrollado para Colombia por Páramo, 2007.

El modelo de combustibles representa la condición pirogénica de la vegetación colombiana, aspecto clave en la evaluación del comportamiento de nuestros ecosistemas frente al fuego, tanto en el inicio de un incendio, como en la modelación del comportamiento del fuego, en caso de presentarse eventos de esta índole (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2011).

El modelo de combustibles implementado, se estructuró mediante una clasificación jerárquica, conformada por los siguientes factores Figura 105.

- Tipo de combustible vegetal predominante por bioma y ecosistema: Tipo de cobertura vegetal y biotipo dominante.
- Duración del tipo de combustible dominante: duración en horas de cada tipo de combustible, definidos en horas de ignición (1 h, 10 h, 100 h).
- Carga total de combustibles: caracterización cualitativa dependiente de la correlación de la altura en metros, cobertura en valores porcentuales, biomasa aérea en t/ha.

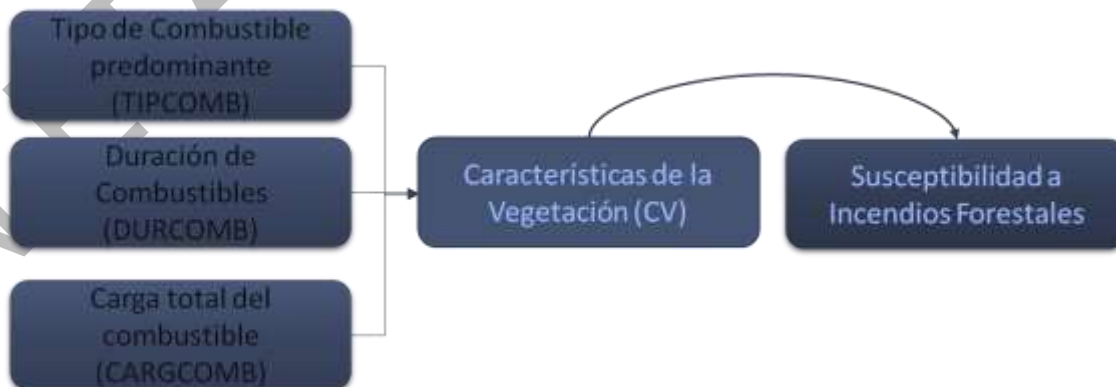


Figura 105. Variables que determinan a la zonificación de la susceptibilidad de la cobertura vegetal





a sufrir incendios forestales

#### 7.6.4.4 Características de la Vegetación (CV)

Según el tipo de vegetación y su grado de humedad, es más fácil que se encienda o que no se inicie un incendio. Además, la cantidad y la continuidad (tanto vertical como horizontal) favorecen el crecimiento del incendio. El combustible es uno de los factores más importantes y muchas veces es el factor decisivo para el comportamiento de un incendio (Páramo, 2007). Las propiedades extrínsecas más importantes que afectan la intensidad y velocidad de propagación, relacionadas con el combustible son:

- Tipo de Combustible (TDC)

Las características geométricas de forma y tamaño del combustible (cilíndrica, esférica, irregular, grueso, ancho, largo), son importantes en la definición del tipo de combustible ya que de manera general se observa que el tiempo de ignición decrece conforme el tamaño del combustible quemado y que la velocidad de propagación de un incendio varía directamente con la relación superficie volumen del combustible.

El tipo de combustible predominante (TDC) corresponde a la reclasificación del material vegetal vivo (predominante), en relación con la resistencia que éste puede tener a la combustión de acuerdo con su contenido de humedad, composición química, etc. Por lo tanto, puede variar entre no combustibles a combustibles pesados (Parra Lara, 2011).

- Formato: Vector tipo Polígono.
- Fuente: Cobertura vegetal, Consultor.

Las coberturas dominadas por hierbas y pastos presentaron mayor influencia del fuego que las demás, poseen en promedio una carga total de combustibles moderada a baja y una susceptibilidad a incendios de alta a muy alta, contrario a lo que sucede con las coberturas sensibles al fuego (dominadas por árboles y arbustos), que presentaron una carga alta de combustibles pero susceptibilidad en general baja y muy baja, con base solamente en las características intrínsecas de la vegetación sin tener en cuenta factores externos tales como los antrópicos.

Este parámetro fue analizado con base en la interpretación de la cobertura vegetal definidas para el área de la cuenca hidrográfica del río Turbo-Currulao (Ver Tabla 54).

Tabla 54. Tipo de combustible predominante

Código Cobertura	Tipo de Combustible	Calificación TDC	Categoría de susceptibilidad
1112	Áreas urbanas	1	Muy baja
1122	Hierbas	1	Muy baja
1131	Áreas urbanas	1	Muy baja
1132	Áreas urbanas	1	Muy baja
1211	No combustibles	1	Muy baja
1212	No combustibles	1	Muy baja



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

122111	Áreas urbanas	1	Muy baja
122112	Áreas urbanas	1	Muy baja
12212	Áreas urbanas	1	Muy baja
1232	No combustibles	1	Muy baja
1241	No combustibles	1	Muy baja
1315	No combustibles	1	Muy baja
1324	No combustibles	1	Muy baja
1422	Hierbas	1	Muy baja
1423	Hierbas	1	Muy baja
211	Hierbas	4	Alta
2213	Hierbas	4	Alta
2221	Árbustos	4	Alta
2231	Árboles	2	Baja
231	Pastos	5	Muy alta
232	Pastos	5	Muy alta
233	Pastos	5	Muy alta
241	Hierbas	4	Alta
242	Pastos/hierbas	5	Muy alta
243	Pastos/hierbas	5	Muy alta
244	Pastos/hierbas	5	Muy alta
245	Pastos/hierbas	5	Muy alta
3121	Árboles	2	Baja
3142	Árboles	2	Baja
3143	Árboles y arbustos	3	Moderada
3144	Árboles	2	Baja
3152	Árboles	2	Baja
3153	Árboles	2	Baja
3211	Hierbas	4	Alta
3231	Árbustos	4	Alta
3232	Árbustos	4	Alta
3311	No combustibles	1	Muy baja
3312	No combustibles	1	Muy baja
3332	No combustibles	1	Muy baja
411	No combustibles	1	Muy baja
421	No combustibles	1	Muy baja
511	No combustibles	1	Muy baja
512	No combustibles	1	Muy baja
513	No combustibles	1	Muy baja
521	No combustibles	1	Muy baja
523	No combustibles	1	Muy baja



Fuente: Elaborado a partir de (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2011)

Los tipos de coberturas menos resistentes a procesos de combustión son aquellos cultivos o zonas de pastos con baja capacidad de retención de agua susceptibles al momento de comenzar un proceso de ignición se han desarrollado como resultado de condiciones de terreno que influye directamente en el tipo de vegetación presente en la cuenca hidrográfica del río Turbo-Currulao, como se observa en la Figura 106 la parte alta, media y baja de la cuenca presenta vegetación altamente combustible y por ende susceptible a procesos de combustión.

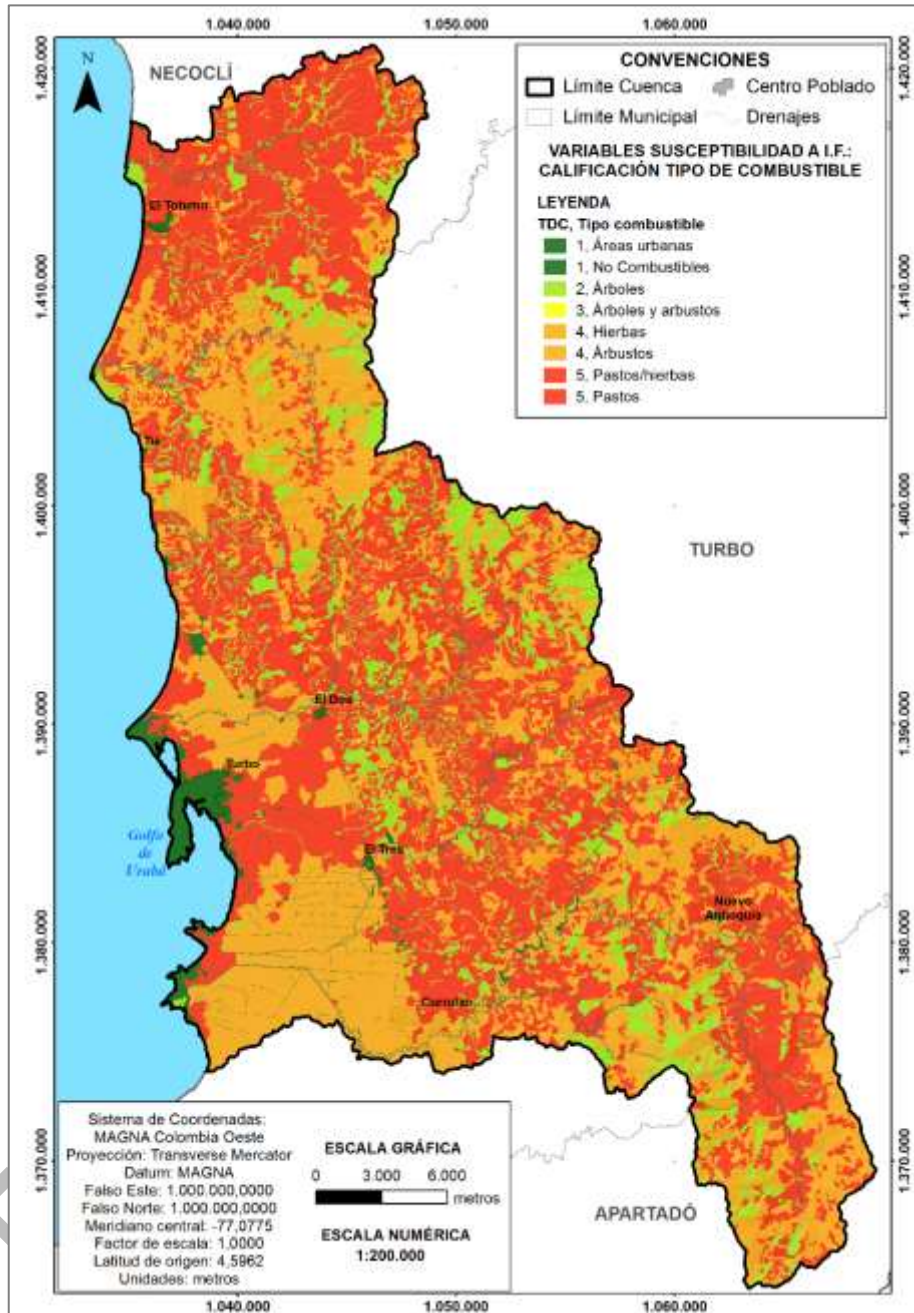


Figura 106. Tipo de combustible predominante en la cuenca Río Turbo-Currulao.  
Fuente: Elaboración propia.

- Duración de los combustibles (DDC)

Corresponde a la reclasificación de la vegetación de acuerdo a la duración del proceso de ignición que puede tener cada tipo de cobertura vegetal, a partir de características como la humedad y el área foliar, pues la dificultad de control sobre un incendio es mayor cuando la cobertura se quema más rápido, es decir cuando la rapidez de ignición del combustible es mayor. Por lo tanto se reclasifica la vegetación desde no combustibles



hasta combustibles con duración para su ignición entre 1 hora, 10 horas y 100 horas (Parra Lara, 2011).

- Formato: Vector tipo Polígono.
- Fuente: clasificación del tipo de cobertura vegetal.

Este parámetro fue analizado con base en el tipo de cobertura definida para el área de la cuenca hidrográfica del río Turbo-Currulao (ver Tabla 55).

Tabla 55. Calificación de la duración de combustibles

Código de Cobertura	Duración del Combustible	Calificación DDC	Categoría de Susceptibilidad
1112	Áreas urbanas	1	Muy baja
1122	Áreas urbanas	1	Muy baja
1131	Áreas urbanas	1	Muy baja
1132	Áreas urbanas	1	Muy baja
1211	No Combustibles	1	Muy baja
1212	No Combustibles	1	Muy baja
122111	Áreas urbanas	1	Muy baja
122112	Áreas urbanas	1	Muy baja
12212	Áreas urbanas	1	Muy baja
1232	No Combustibles	1	Muy baja
1241	No Combustibles	1	Muy baja
1315	No Combustibles	1	Muy baja
1324	No Combustibles	1	Muy baja
1422	Áreas urbanas	1	Muy baja
1423	Áreas urbanas	1	Muy baja
211	10 horas	3	Moderada
2213	10 horas	3	Moderada
2221	100 horas	2	Baja
2231	100 horas	2	Baja
231	1 hora	4	Alta
232	1 hora	4	Alta
233	1 hora	4	Alta
241	10 horas	3	Moderada
242	1 hora	4	Alta
243	1 hora	4	Alta
244	1 hora	4	Alta
245	1 hora	4	Alta
3121	100 horas	2	Baja
3142	100 horas	2	Baja
3143	100 horas	2	Baja



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

3144	100 horas	2	Baja
3152	100 horas	2	Baja
3153	100 horas	2	Baja
3211	10 horas	3	Moderada
3231	100 horas	2	Baja
3232	100 horas	2	Baja
3311	No Combustibles	1	Muy baja
3312	No Combustibles	1	Muy baja
3332	No Combustibles	1	Muy baja
411	No Combustibles	1	Muy baja
421	No Combustibles	1	Muy baja
511	No Combustibles	1	Muy baja
512	No Combustibles	1	Muy baja
513	No Combustibles	1	Muy baja
521	No Combustibles	1	Muy baja
523	No Combustibles	1	Muy baja

Fuente: (Paramo Rocha, 2007)

Como se indico anteriormente las coberturas dominadas por hierbas y pastos presentaron mayor influencia del fuego debido principalmente a la duración del combustible (referida al tiempo necesario para que el contenido de humedad de este se equilibre con la humedad del aire que lo rodea y pueda mantener su ignición). Ya que los pastos se caracterizan por ser combustibles de rápida ignición (Parra A. , 2011) que pueden quemarse en una hora o menos, debido a su bajo contenido de humedad, poca área foliar y altos porcentajes de material fibroso (lignina) en sus tejidos. En estos el control del fuego es más difícil ya que se queman muy rápido y el impacto en términos de áreas afectadas es mayor, lo cual hace que dicha cobertura sea más susceptible a incendios que los bosques.

Los bosques y rastrojos son de más lenta ignición, lo que significa que la duración de combustión es de 100 horas o más debido a la alta humedad intersticial de los tejidos, la alta área foliar y a su localización en zonas con alta humedad ambiental y del suelo, lo que hace que los bosques presenten baja susceptibilidad a los incendios; además porque el control del fuego sería menos difícil comparado con los pastos si se atiende de manera inmediata (Jimenez G, Urrego G, & Toro, 2016).

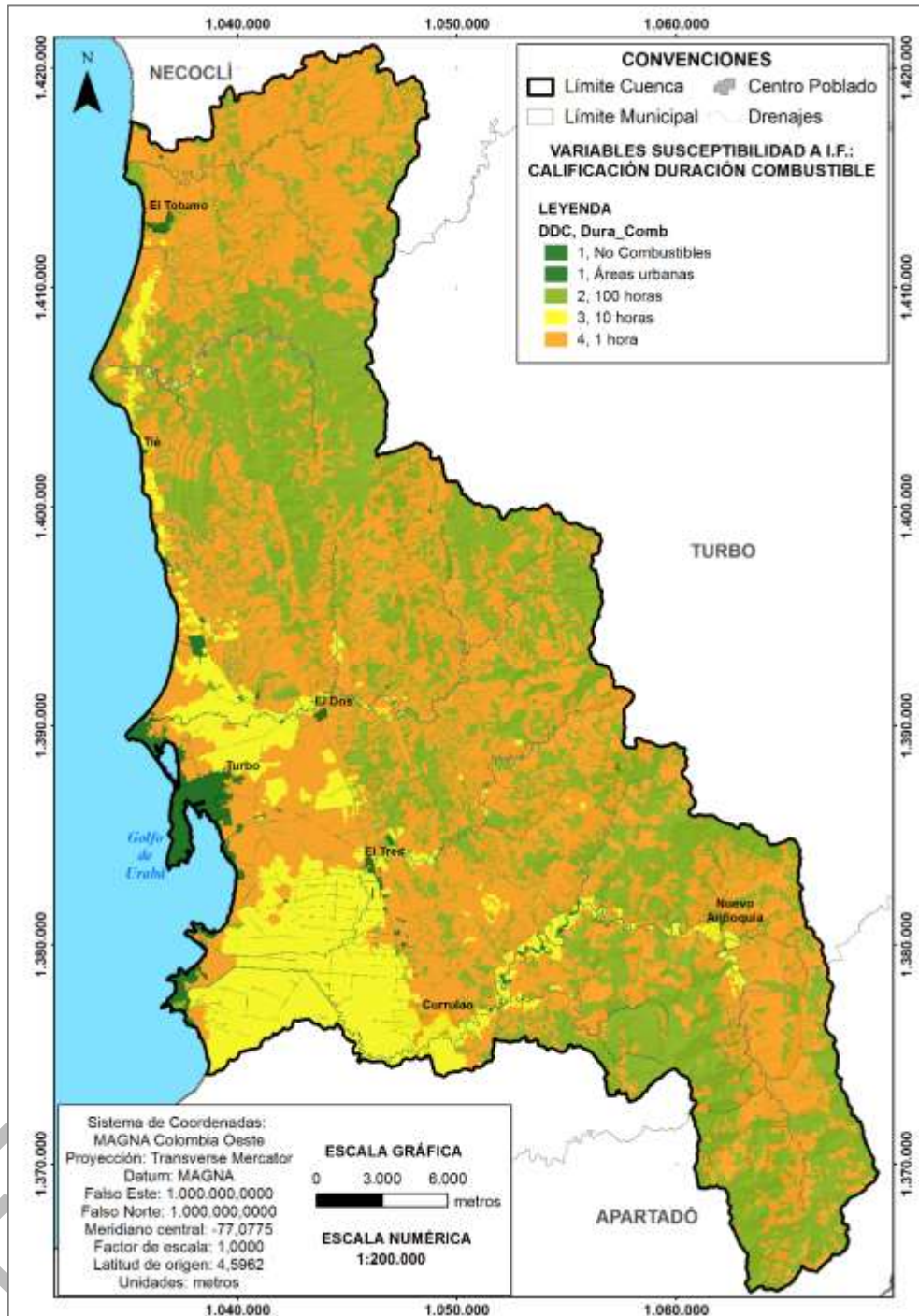


Figura 107. Duración combustible.  
Fuente: Elaboración propia.

- Carga del combustible (CTC)

Se refiere al peso aproximado (relacionado con el grado de compactación y continuidad) de cada cobertura vegetal que corresponde al combustible predominante, asociado con



sus características de altura, cobertura, biomasa y humedad de la vegetación, de acuerdo con un análisis multicriterio desarrollado en la metodología planteada por Parra Lara (2011) en el tomo 1 de su libro Incendios de la cobertura vegetal en Colombia.

- Formato: Vector tipo polígono.
- Fuente: clasificación del tipo de cobertura vegetal.

se define también como la cantidad de combustible (en base seca) por unidad de área, es decir en el caso de la cobertura vegetal, la cantidad de biomasa tanto viva (vegetación en pie) como muerta (ramas, hojas muertas, material vegetal en descomposición, hojarasca, mantillo y humus), que se encuentra en una superficie determinada. Se expresa generalmente en toneladas por hectárea (T/ha) o kilogramos por metro cuadrado (Kg/m<sup>2</sup>). Las áreas de la cuenca que presenta mayor biomasa están representadas en los bosques y vegetación secundaria que presenta un área de 32.607 ha equivalentes al 36,3% de la cuenca.

Este parámetro fue analizado con base en el tipo de cobertura definida para el área de la cuenca hidrográfica del río Turbo-Currulao (ver Tabla 56).

Tabla 56. Tipo de cobertura y su carga de combustible

Código de Cobertura	Carga Total de Combustible (toneladas/hectárea)	Calificación CTC	Categoría de susceptibilidad
1112	Áreas urbanas (menos de 1 ton/ha)	1	Muy baja
1122	Áreas urbanas (menos de 1 ton/ha)	2	Muy baja
1131	Áreas urbanas (menos de 1 ton/ha)	1	Muy baja
1132	Áreas urbanas (menos de 1 ton/ha)	1	Muy baja
1211	No combustibles	1	Muy baja
1212	No combustibles	1	Muy baja
122111	Áreas urbanas (menos de 1 ton/ha)	1	Muy baja
122112	Áreas urbanas (menos de 1 ton/ha)	1	Muy baja
12212	Áreas urbanas (menos de 1 ton/ha)	1	Muy baja
1232	No combustibles	1	Muy baja
1241	No combustibles	1	Muy baja
1315	No combustibles	1	Muy baja
1324	No combustibles	1	Muy baja
1422	Áreas urbanas (menos de 1 ton/ha)	2	Muy baja
1423	Áreas urbanas (menos de 1 ton/ha)	2	Muy baja
211	Baja (1-50 ton/ha)	2	Baja
2213	Baja (1-50 ton/ha)	2	Baja
2221	Muy alta (más de 100 ton/ha)	4	Alta
2231	Muy alta (más de 100 ton/ha)	4	Alta
231	Baja (1-50 ton/ha)	2	Baja
232	Baja (1-50 ton/ha)	2	Baja
233	Baja (1-50 ton/ha)	2	Baja





FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

241	Baja (1-50 ton/ha)	2	Baja
242	Moderada (50-100 ton/ha)	3	Moderada
243	Moderada (50-100 ton/ha)	3	Moderada
244	Moderada (50-100 ton/ha)	3	Moderada
245	Moderada (50-100 ton/ha)	3	Moderada
3121	Muy alta (más de 100 ton/ha)	4	Alta
3142	Muy alta (más de 100 ton/ha)	4	Alta
3143	Muy alta (más de 100 ton/ha)	4	Alta
3144	Muy alta (más de 100 ton/ha)	4	Alta
3152	Muy alta (más de 100 ton/ha)	4	Alta
3153	Muy alta (más de 100 ton/ha)	4	Alta
3211	Baja (1-50 ton/ha)	2	Baja
3231	Muy alta (más de 100 ton/ha)	4	Alta
3232	Muy alta (más de 100 ton/ha)	4	Alta
3311	No combustibles	1	Muy baja
3312	No combustibles	1	Muy baja
3332	No combustibles	1	Muy baja
411	No combustibles	1	Muy baja
421	No combustibles	1	Muy baja
511	No combustibles	1	Muy baja
512	No combustibles	1	Muy baja
513	No combustibles	1	Muy baja
521	No combustibles	1	Muy baja
523	No combustibles	1	Muy baja

Fuente: Elaboración propia a partir de (Paramo Rocha, 2007)

Los bosques, las plantaciones forestales, vegetación secundaria y los cultivos permanentes arbustivos identificados en la cuenca del río Turbo-Currulao presentan los mayores rangos de carga de combustible como se observa en la Tabla 56 que a su vez cuentan con una alta distribución espacial a lo largo de la cuenca alta (ver Figura 108).



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

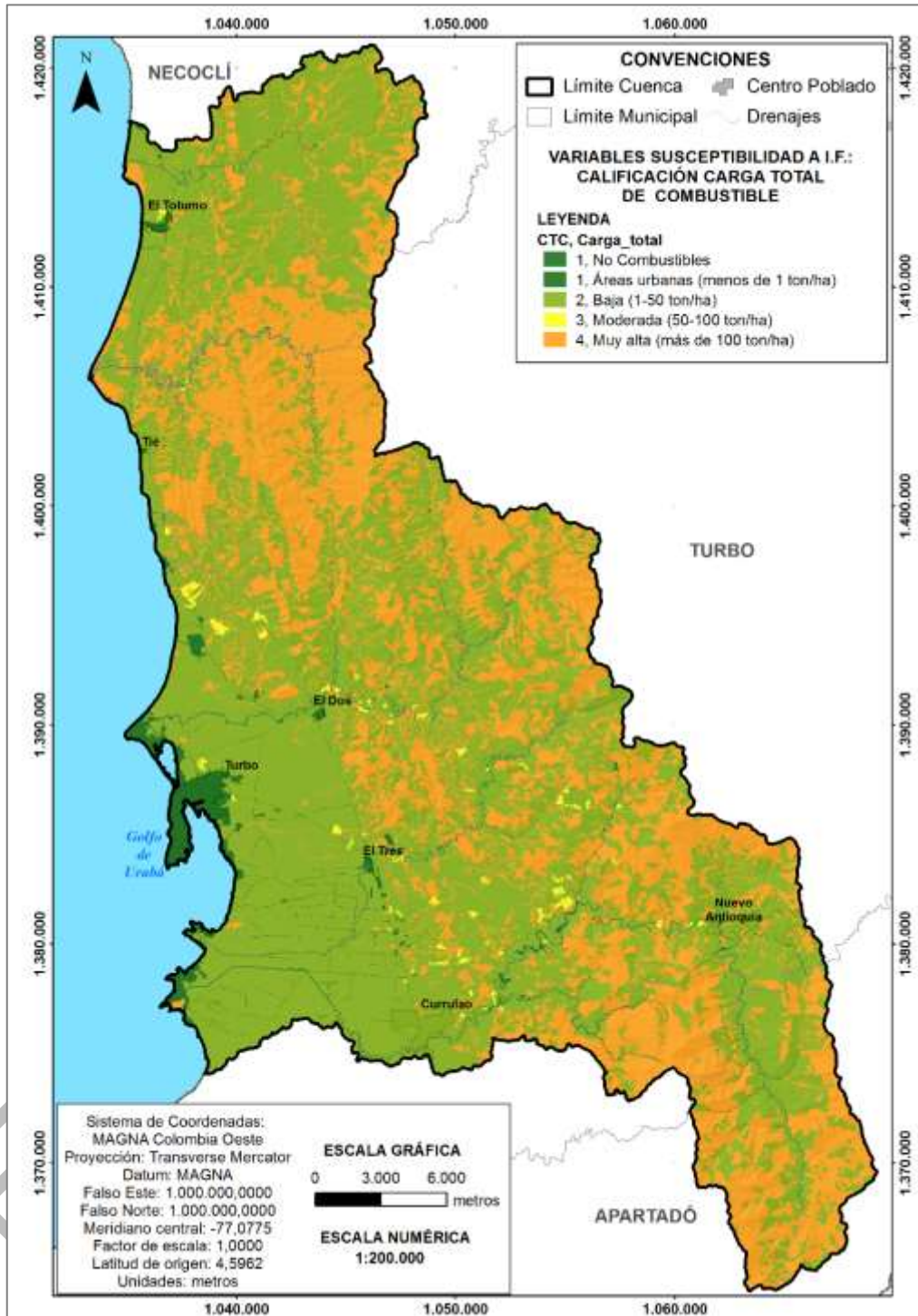


Figura 108. Carga total combustible.  
Fuente: Elaboración propia.



#### 7.6.4.5 Análisis de la zonificación de la susceptibilidad de la vegetación a incendios forestales

Para el análisis de la caracterización de las coberturas vegetales susceptibles a incendios forestales en la cuenca hidrográfica del río Turbo-Currulao, el modelo de susceptibilidad se obtuvo por medio de la integración de la información referente a los factores condicionantes de la vegetación a sufrir un proceso de ignición (Carga total combustible, duración y tipo del combustible), por medio de la integración (cruce) de todas variables normalizadas de la vegetación susceptible a incendios forestales.

Con base en las zonas susceptibles a incendios forestales se agrupa en tres categorías (agrupando alta y muy alta, baja y muy baja), en general la cuenca hidrográfica del río Turbo-Currulao con 43.721 hectáreas en susceptibilidad alta (49% aproximado), 43.264 hectáreas en susceptibilidad media (48,11%) y 2.935 hectáreas en susceptibilidad baja (3,3%) por incendios forestales (ver Figura 109).

Los pastos que se caracterizan por ser un tipo de vegetación de alta carga, buena combustión y duración de la misma. Los bosques con espacios naturales y la vegetación secundaria alta y baja son coberturas con un combustible de moderada a baja categoría de amenaza y de moderada duración de carga de combustión. Los cultivos presentan un tipo de combustible de categoría moderada y una duración de combustión moderada a baja. Basados en estos valores, la cuenca presenta una cobertura vegetal muy susceptible a inicio de eventos de ignición y a su posterior propagación por la presencia de materiales que se caracterizan por tener una carga alta de material combustible los cuales son de larga duración de ignición.

Los pastos y vegetación secundaria categorizados como la vegetación que aportan los aumentos más altos en los valores de la susceptibilidad, se encuentran generalizados en toda la cuenca, coincidiendo con la zona de mayor susceptibilidad a incendios forestales por condiciones climáticas (precipitación y clima), exceptuando el casco urbano del municipio de Turbo.

Una vez asignadas las respectivas calificaciones y generados los mapas de tipo, duración y carga de combustibles, se realiza un álgebra de mapas; el resultado obtenido se agrupa posteriormente en 5 categorías mediante una distribución de frecuencias y a cada grupo se le asigno una calificación de alta, media y baja, mediante la siguiente ecuación:

$$SUSC = CAL(tc) + CAL(dc) + CAL(ct)$$

Donde:

SUSC: Susceptibilidad de la vegetación (susceptibilidad bruta)

CAL(tc): Calificación por tipo de combustible

CAL(dc): Calificación de la duración de los combustibles

CAL(ct): Calificación de la carga total de combustibles

En la Figura 109, se presenta el mapa de susceptibilidad por incendios forestales.

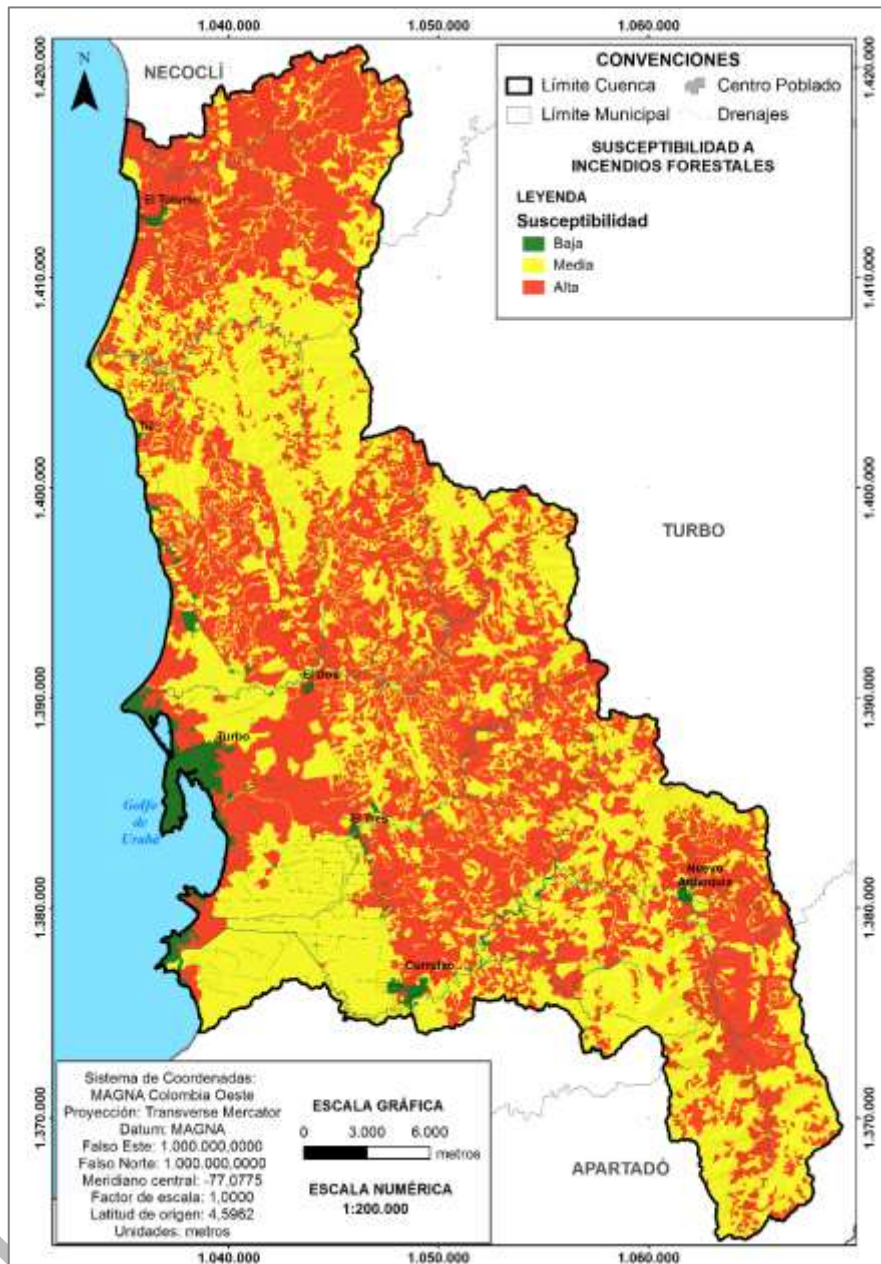


Figura 109. Mapa de susceptibilidad por incendios forestales

#### 7.6.4.6 Descripción metodológica para obtener amenaza por incendios forestales

La zonificación de la amenaza por incendios forestales se realizó teniendo en cuenta que la susceptibilidad de la vegetación se ve afectada por factores externos de tipo climático, histórico, de relieve y de la condición de accesibilidad que están íntimamente ligados a ella generando variaciones intrínsecas de sus cualidades principalmente en lo que hace



referencia al grado de afectación y variación de las características intrínsecas a la dinámica de la cuenca para potenciar o disminuir el avance de un incendio forestal.

Luego de analizar, categorizar y normalizar las variables intrínsecas en la evaluación de la amenaza a incendios forestales se utiliza la función de pesos descrita en el Protocolo para La realización de mapas de Zonificación de Riesgos a Incendios de la Cobertura Vegetal (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2011).

$$\text{AMENAZA\_IF} = (\text{SUSCEPTIBILIDAD} * 0.25) + (\text{TEMPERATURA} * 0.15) + (\text{PRECIPITACIÓN} * 0.15) + (\text{ACCESIBILIDAD} * 0.14) + (\text{PENDIENTES} * 0.16) + (\text{FACTOR HISTÓRICO} * 0.15)$$

Finamente, se procede a realizar el análisis de la zonificación de la amenaza por incendios forestales para la cuenca del río Turbo-Currulao.

#### 7.6.4.7 Descripción de las variables de amenaza por incendios forestales

Las variables que se tuvieron en cuenta para definir la amenaza a incendios forestales en la cuenca hidrográfica del río Turbo-Currulao aquellos factores que contribuyen y detonan un evento por este tipo de amenaza (ver Figura 110).

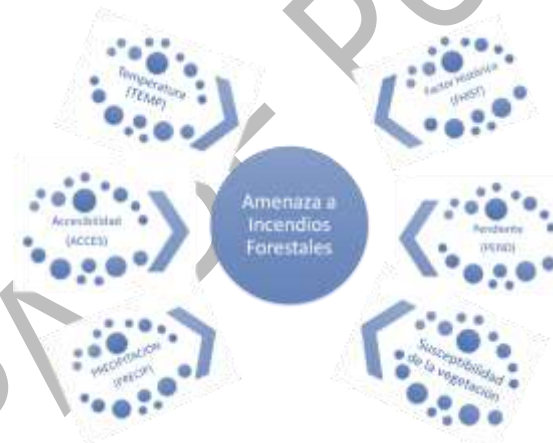


Figura 110. Variables para la modelación de la amenaza por incendios forestales

- **Precipitación (PRECIP)**

Teniendo en cuenta, que la susceptibilidad de la vegetación se ve afectada por factores externos de tipo climático, que están íntimamente ligados a ella generando variaciones intrínsecas de sus cualidades principalmente en lo que hace referencia a la humedad contenida en los tejidos vegetales (influida directamente por la precipitación, humedad del suelo y temperatura ambiental), se consideró necesario generar una calificación de la susceptibilidad bajo las condiciones normales de precipitación y temperatura imperantes en la cuenca, teniendo en cuenta la información consignada en el análisis realizado en el numeral de los factores que influyen en el comportamiento de los incendios forestales.



**FASE DE DIAGNÓSTICO**  
**PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO**

La precipitación para la Cuenca del Río Turbo–Currulao, permiten inferir que su régimen de lluvia varía desde los 1500-3620 mm/año, la estación más representativa localizada dentro del polígono es Turbo y registra un promedio de 2180 mm/año. La clasificación de la precipitación media anual para la cuenca es de humedad (2.000-3.000 mm). Por lo tanto de acuerdo con la Tabla 57, la categoría de amenaza es moderada y alta en la zona norte de la cuenca ver Figura 111.

Tabla 57. Calificación de la precipitación media anual de la cuenca

PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (mm)	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
Árido (0-500)	Muy baja	1
Pluvial (>7000)	Muy baja	1
Muy húmedo (3000-7000)	Moderada	2
Húmedo (2000-3000)	Moderada	3
Seco (1000-2000)	Alta	4
Muy seco (500-1000)	Muy Alta	5

Fuente: Elaboración propia.

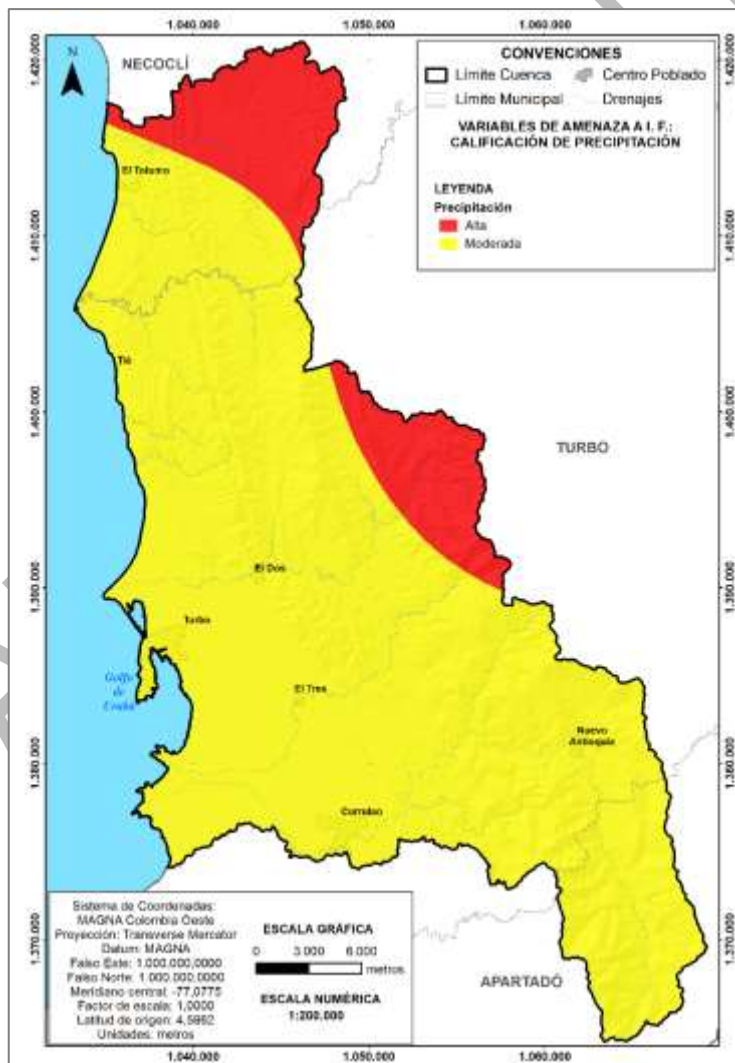


Figura 111. Propensividad de acuerdo con la precipitación media anual.

Fuente: Elaboración propia



- **Temperatura (TEMP)**

Como fue descrita en la susceptibilidad, las altas temperaturas presentan una importante relación con la ocurrencia de incendios (Moreno Rodriguez, Rodriguez-Urbieto, Zabala Espiñeira, & Martín, 2015), e incluida dentro de la amenaza por participar como un factor detonante. La temperatura corresponde a una característica cualitativa que mide el grado de calor, esta variable tiene una alta importancia dentro de la susceptibilidad para incendios forestales debido a que “las radiaciones térmicas producidas por su aumento, al llegar a una longitud de onda determinada, producen un fenómeno luminoso que se conoce como llama” (Dirección General de Protección Civil y emergencias - España, s.f.).

La temperatura oscila entre los 25.5 °C a los 28 °C en la cuenca en ordenación. En cuanto a la temperatura máxima absoluta, es clara la tendencia que marcan las series al ascenso desde el periodo 2002 y 2003. En estos dos años se evidenció un salto en todas las series de hasta 1 °C, el registro histórico de temperaturas máximas promedio antes de este evento estaba en 34 °C, para el periodo actual se presenta un valor cercano a los 35 °C, siendo el año 2015 el más cálido. La clasificación de la temperatura media anual para la cuenca es de Cálido (>24), la categoría de amenaza es de muy alta como se indica en la Tabla 58. Calificación de la temperatura media anual de la cuenca

Tabla 58. Calificación de la temperatura media anual de la cuenca

TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
Nival (<1.5)	Muy Baja	1
Extremadamente frío (1.5 - 6)	Muy Baja	1
Muy frío (6 - 12)	Moderada	2
Frío (12 - 18)	Moderada	3
Templado (18 - 24)	Alta	4
Cálido (>24)	Muy Alta	5

Fuente: Elaboración propia

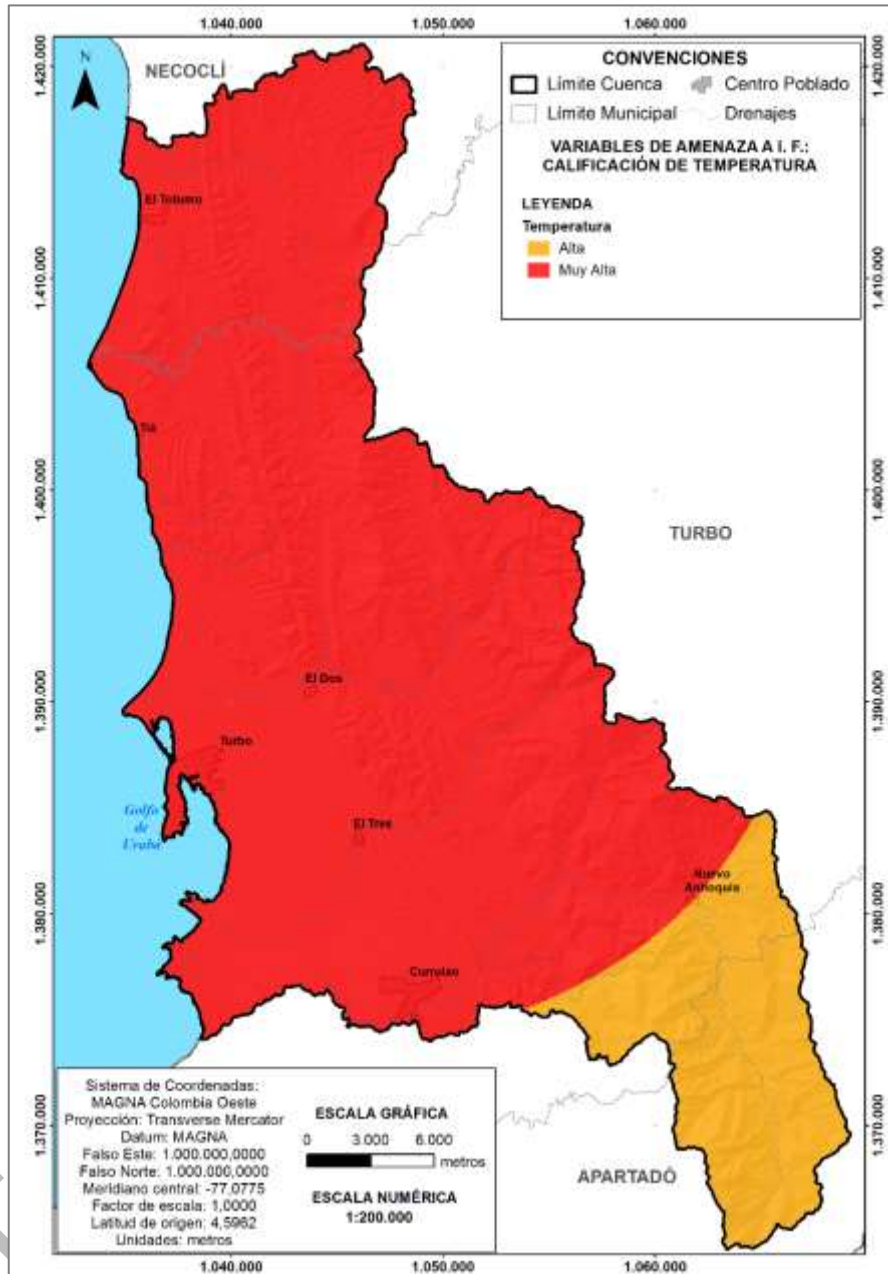


Figura 112. Propensividad de acuerdo con la temperatura media anual.  
Fuente: Elaboración propia

- **Anomalías climáticas fenómeno del niño:**

La variabilidad climática se refiere a las fluctuaciones observadas en el clima durante periodos relativamente cortos. Durante un año en particular, se registran valores por encima o por debajo de lo normal. La normal climatológica o valor normal se utiliza para comparar el clima y generalmente representa el valor promedio de una serie de mediciones. A la diferencia entre el valor registrado de una variable y su promedio se le conoce como anomalía (IDEAM, 2006).





Dentro de las anomalías que mayor efecto tienen en la generación de amenazas de incendios forestales o de la cobertura vegetal en la cuenca, está el denominado fenómeno del Niño, que causa grandes y a veces extremas perturbaciones climáticas. Se caracteriza por la aparición de aguas superficiales relativamente más cálidas de lo normal frente a las costas del norte de Perú, asociadas a cambios en los vientos, las temperaturas y el régimen de lluvias, que a su vez originan alteraciones importantes en la flora y fauna de varios países de América Latina.

Hoy se sabe que El Niño es la resultante de la interacción de dos fenómenos, el oceánico, la corriente del Niño (originada por ciertas variaciones de la temperatura superficial del mar), y el atmosférico, la llamada Oscilación Sur (debida a cambios en la presión atmosférica), que explican la denominación actual del fenómeno: El Niño, Oscilación Sur (ENOS).

Los cambios relacionados con ENOS producen grandes variaciones en las condiciones del tiempo y del clima en todo el planeta. A su vez, en algunas ocasiones estas repercuten profundamente al causar sequías, inundaciones, olas de calor y otros meteoros que pueden desorganizar gravemente la agricultura, la pesca, las condiciones ambientales en general y, por ende, la salud, el suministro de energía y la calidad del aire (OPS, 2000).

Los efectos producidos por este tipo de fluctuaciones climáticas en la cuenca se manifiestan por el cambio de humedad, la evaporación, la precipitación y variaciones en los regímenes de vientos.

A continuación se presenta en la Figura 113 con las anomalías de la precipitación identificadas en las 9 estaciones climatológicas monitoreadas en la cuenca.

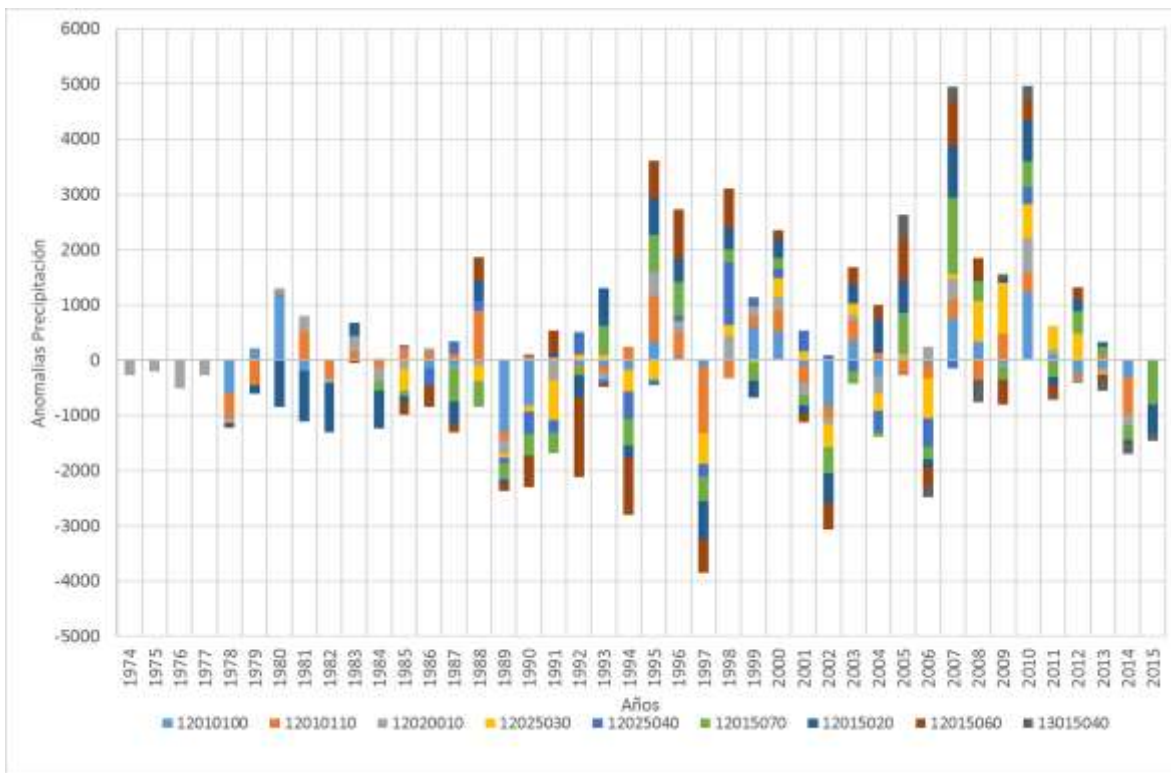


Figura 113. Anomalías de la precipitación identificadas en las estaciones metereológicas de influencia en la cuenca

Las gráficas de barras apiladas representan la distribución de la anomalía de un año en particular según la información de la estación climática; las anomalías por debajo del valor central representan años en los que las precipitaciones fueron deficitarias y las anomalías por encima del valor central, corresponden a periodos con excesos. Los años en los cuales se obtenga la mayor o menor magnitud de la anomalía, son considerados como extremos y guardan relación directa con la variabilidad climática en la región.

Los periodos considerados como de mayor déficit corresponden a los años 1992, 1994, 1997, 2002 y 2006. Siendo el año 1997 el de mayor déficit, este periodo está relacionado con el fenómeno ENSO, en su fase cálida (El Niño).

De acuerdo con el comportamiento de las anomalías de las precipitaciones, se puede inferir el grado de exposición de la cuenca en ordenación a las amenazas meteorológicas dada las variaciones en el régimen climático. En síntesis, se observan mayor cantidad de años con anomalías negativas que positivas, sin embargo, la magnitud de las anomalías positivas es en gran medida superior a las negativas, es decir, la cuenca está expuesta a eventos extremos de excesos de mayor intensidad, pero suelen presentarse eventos deficitarios con más frecuencia.

En la Figura 114 se observa la anomalías para la temperatura media en las mismas 9 estaciones climáticas monitoreadas.

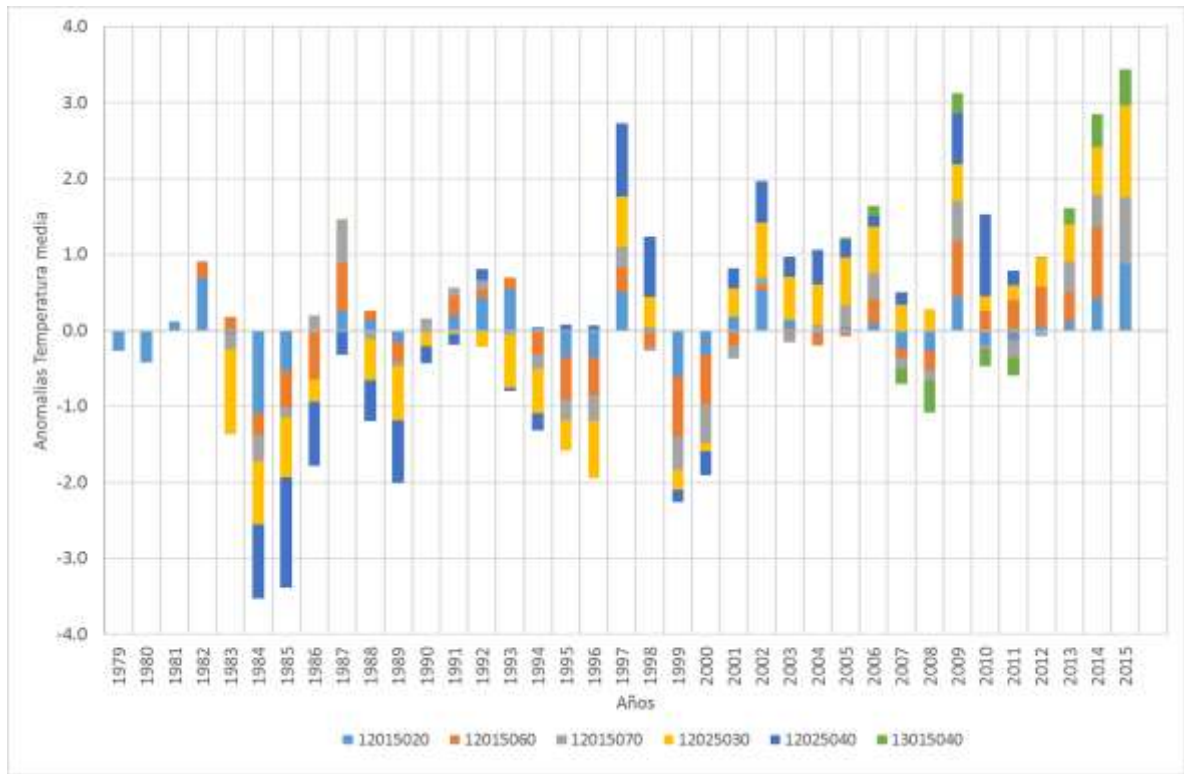


Figura 114. Anomalías para la temperatura media identificada en las estaciones metereológicas con influencia en la cuenca

Las anomalías por debajo del valor central representan años en los que las temperaturas fueron menores que el promedio anual y las anomalías por encima del valor central, corresponden a periodos más cálidos. Los años en los cuales se obtenga la mayor o menor magnitud de la anomalía, son considerados como extremos y guardan relación directa con la variabilidad climática en la región.

Al comparar las anomalías de la precipitación con las anomalías de la temperatura, se logra identificar una relación inversa, y se destacan claramente los años de mayor influencia de fenómenos macroclimáticos, en particular el año 1997 considerado como el de mayor déficit hídrico, representa también anomalías positivas, categorizándose como un año muy cálido. Dados los resultados presentados, el año más caluroso corresponde a 2015 y el periodo más frío ocurrió en 1984.

Estos datos identificados en la cuenca guardan relación con el inventario de eventos históricos de incendios forestales registrados en el Desinventar, en las épocas de fenómeno de niño se registra los mayores eventos de incendios forestales reportados para la cuenca.

- **Pendiente (PEND)**

La Tasa de dispersión (TDISP) es la variable asociada directamente con la pendiente (PEND), con la que se busca evaluar la inclinación del suelo, cuyo aumento presenta una relación con la ampliación del área del incendio o la llamada tasa de dispersión del



fuego (Butler, Anderson, & Catchpo, 2007), a mayores pendientes la propagación del fuego se acelera debido a que las llamas tienen una mayor proximidad a los combustibles (como la materia vegetal), el precalentamiento del combustible es más rápido y se genera con más facilidad la columna de convección (Boulanger, Esparza, Garayoa, Orta, & Anitua, 2001).

El 55% de la cuenca presenta pendientes fuertemente inclinada 12-25% y ligeramente escarpada 25-50%, para una categoría de amenaza de moderada a alta como se muestra en la Tabla 59, Tabla 60 y Figura 115

Tabla 59. Distribución de los porcentajes de pendientes de la cuenca.

RANGO DE PENDIENTES	ÁREA EN HA	ÁREA EN HA (%)
A nivel, 0,1% (a)	1.634,56	1,85
Ligeramente plana, 1-3% (a)	8.519,37	9,66
Ligeramente inclinada, 3-7% (b)	11.280,8	12,79
Moderadamente inclinada, 7-12% (c)	7.837,83	8,89
Fuertemente inclinada, 12-25% (d)	20.776,77	23,56
Ligeramente escarpada o ligeramente empinada, 25-50% (e)	28.767,33	32,62
Moderadamente escarpada o moderadamente empinada, 50-75% (f)	7.577,3	8,59
Fuertemente escarpada o fuertemente empinada, 75-100% (g)	1.418,79	1,61
Totalmente escarpada, >100% (g)	381,54	0,43
Total general	89.194,299	100,00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 60. Calificación de las pendientes de la cuenca

PENDIENTE MEDIA (%)	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
0 - 7 %	Muy baja	1
7 - 12 %	baja	1
12 - 25 %	Moderada	2
25 - 75 %	Alta	3
> 75 %	Muy Alta	4

Fuente: Elaboración propia



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

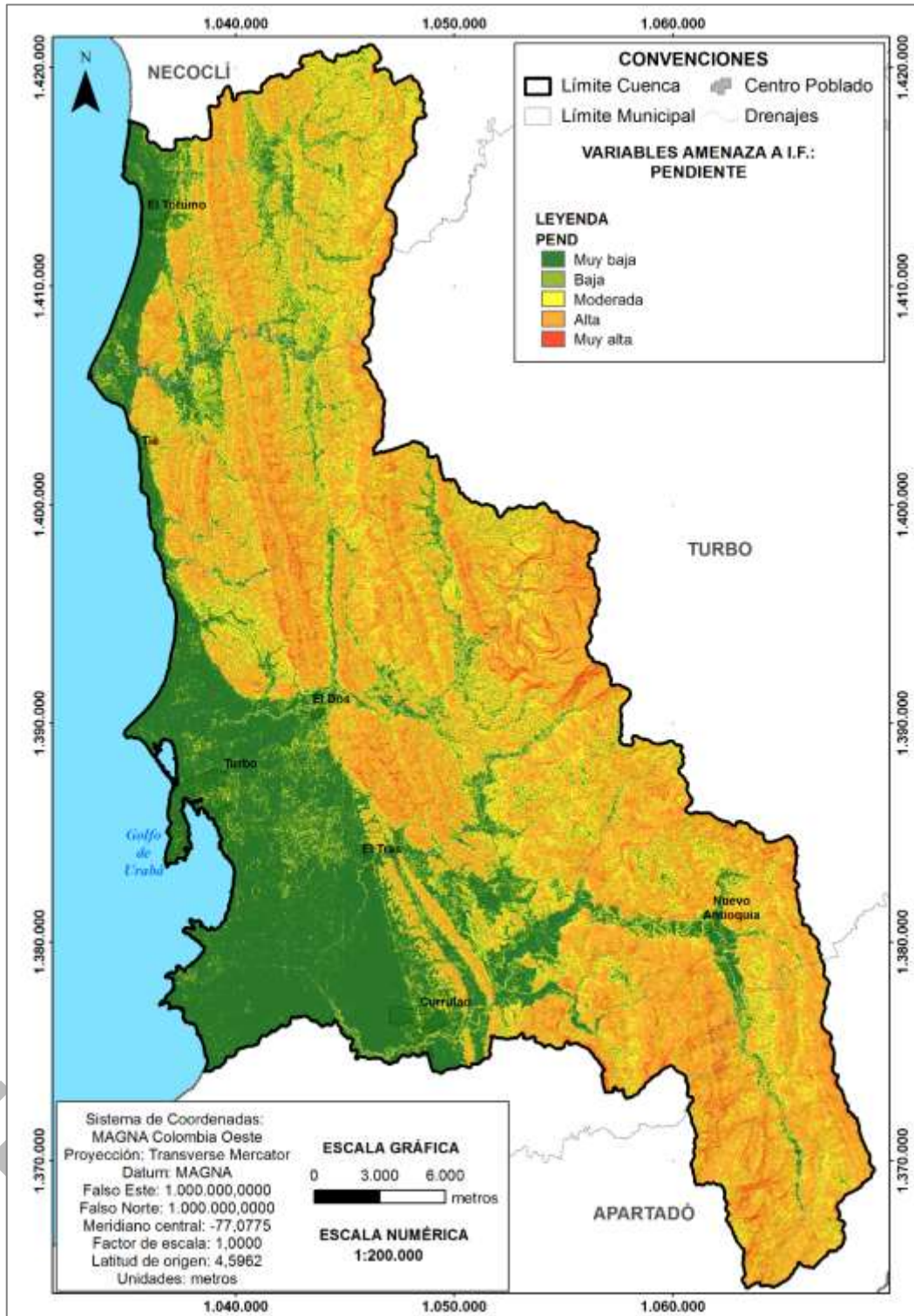


Figura 115. Propensividad de acuerdo con los porcentajes de pendiente de la cuenca.  
Fuente: Elaboración propia a partir del Modelo de Elevación Digital.



- **Accesibilidad (ACCES)**

La accesibilidad en este caso se mide como la distancia a vías corresponde a las zonas en las que por el paso de las vías se concibe presencia antrópica por la facilidad de acceso que genera, y el área es determinada mediante la obtención de la densidad vial de acuerdo con la influencia que esta presenta para cada pixel, adicionalmente se tiene en cuenta el tipo de vía, asignándole un peso de 5 a las de más alta categoría y disminuyendo una unidad por cada tipo. Este factor se considera parte de la amenaza, debido a que aumenta la probabilidad de que la población pueda llegar a las áreas de cobertura vegetal y generar focos de incendio.

- Formato: Vector tipo polígono.
- Fuente: IGAC escala 25.000

Este proceso, se realizó a partir del mapa vial (vías principales y secundarias), la generación de 4 zonas buffer cada una de 500 m de grosor; una vez generados los buffers, se procedió a su calificación para la generación de las amenazas que se pueden presentar sobre la cobertura por efecto de la mayor o menor posibilidad de acceso que se tenga sobre ellas, de acuerdo con los siguientes criterios Tabla 61:

Tabla 61. Categorías de la amenaza por la accesibilidad.

DISTANCIA A LA VÍA (GROSOR DEL BUFFER en m)	CATEGORIA DE AMENAZA
0 - 500	MUY ALTA
500 - 1000	ALTA
1000 - 1500	MODERADA
1500 - 2000	BAJA
Más de 2000	MUY BAJA

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 116 se espacializa la variable de accesibilidad.

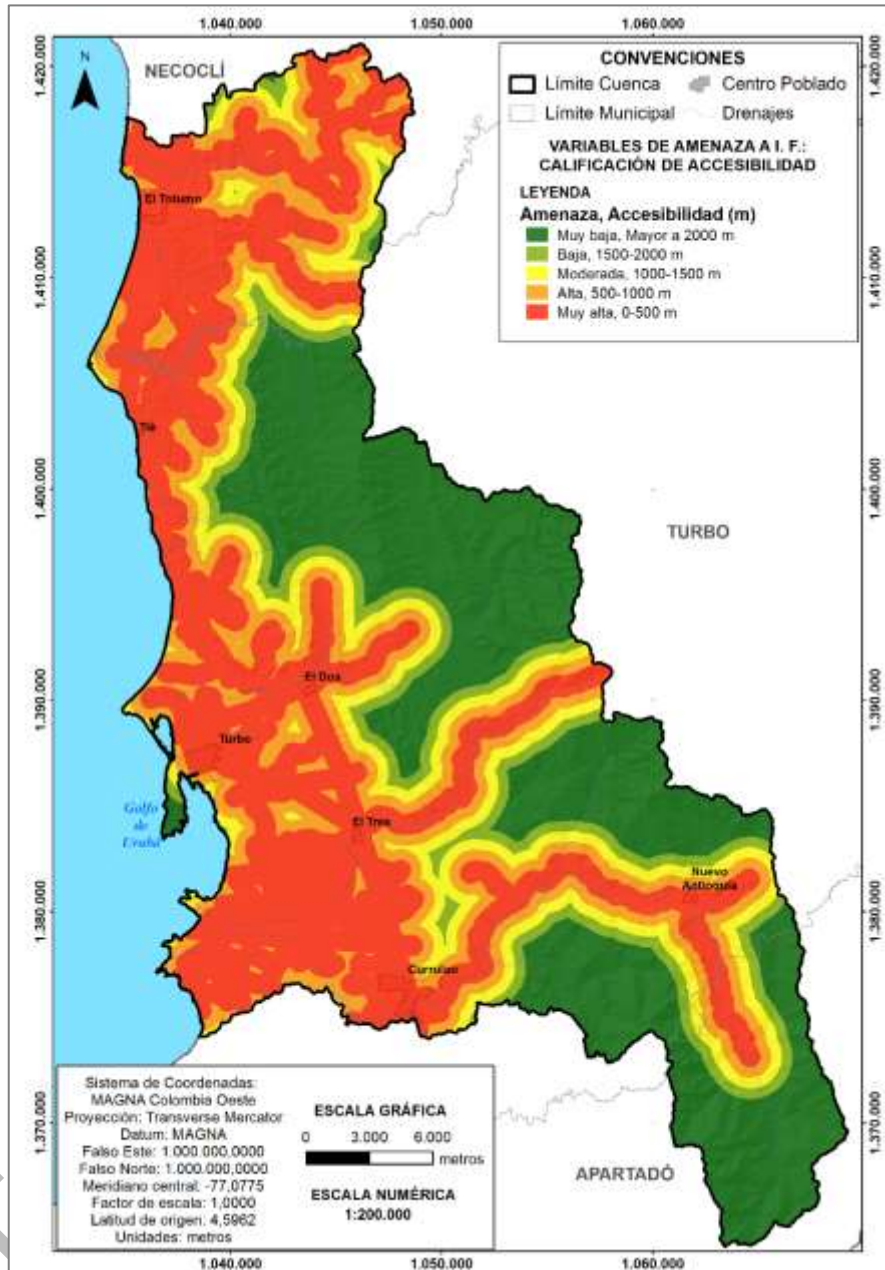


Figura 116. Calificación de la accesibilidad en función a la amenaza a incendios forestales

- **Factores históricos.**

La incorporación de información del carácter histórico sobre los incendios forestales en la evaluación de la amenaza se realiza a partir de la consolidación de la información se realiza a partir de la revisión de fuentes secundarias, en las que se describe su ubicación por asociación a proximidad de puntos o zonas de referencia. Permite identificar eventos de incendios forestales basados en la frecuencia de ocurrencia y la causalidad o afectación de los mismos descritos con mayor detalle el capítulo de análisis de eventos por incendios forestales.



El aumento y la densificación de la población de la cuenca, la presión creciente sobre los recursos naturales y el acceso a ellos y el deterioro ambiental, han dado como resultado que cada vez se presenten con mayor frecuencia fenómenos naturales, como los incendios de la cobertura vegetal, los cuales producen pérdidas irreparables sobre el patrimonio natural de la cuenca, los bienes y la infraestructura. Durante los 18 años que reportan datos se tiene una ocurrencia de 1,1 incendios por año y según la secretaria de planeación del municipio de Turbo esta cifra se queda corta pues existe eventos que ocurren durante el año que no alcanzan a registrarse en las bases de datos de la alcaldía y el departamento.

La información disponible sobre la ocurrencia de incendios forestales en la cuenca, se ha venido recopilando desde 1997 como se indico en la caracterización histórica de amenazas y eventos amenazantes, en donde se han identificado veinte (20) ocurrencias de incendios forestales, los cuales se presentaron entre 1997 a 2015. Dichos datos son proporcionados por el sistema de inventario de desastres DesInventar. Es importante anotar que la existencia de estas series históricas, son de carácter muy general, con información no estandarizada y muy limitada en cuanto al número de eventos reportados. Es decir que esta información no revela la realidad de la problemática, sino que tan sólo permite el establecimiento de algunas tendencias al respecto. De las veinte ocurrencias los sitios de afectación son todos rurales, comprometiendo 317 cultivos en el total de los eventos.

A partir del análisis de la información existente, se puede identificar que, aún no se ha puesto en práctica una disciplina por parte de las instituciones de carácter regional encargadas de reportar los incendios forestales y que por lo tanto, la información sigue siendo fraccionada, incompleta, e incluso algunas veces poco fiable por la no estandarización de la toma de datos y/o la generación de los reportes. De los datos existentes se puede inferir que existe una mayor susceptibilidad a los incendios forestales en los periodos de ocurrencia del fenómeno del niño como se observa en el grafico, en el que muestra los fenómenos de sequia ocurridos en los periodos 1997-1998, 2007-2008 y 2014-2015, también corresponden a los años de mayores eventos de incendios. Sin embargo no se tienen registros para el periodo 2002-2003 (ver Figura 117), también reportado como un periodo de fenómeno del niño, razón que da para suponer que una gran cantidad de ellos no se registró y por lo tanto existe un desconocimiento total de su grado de afectación y de los efectos que pudieron haber causado.



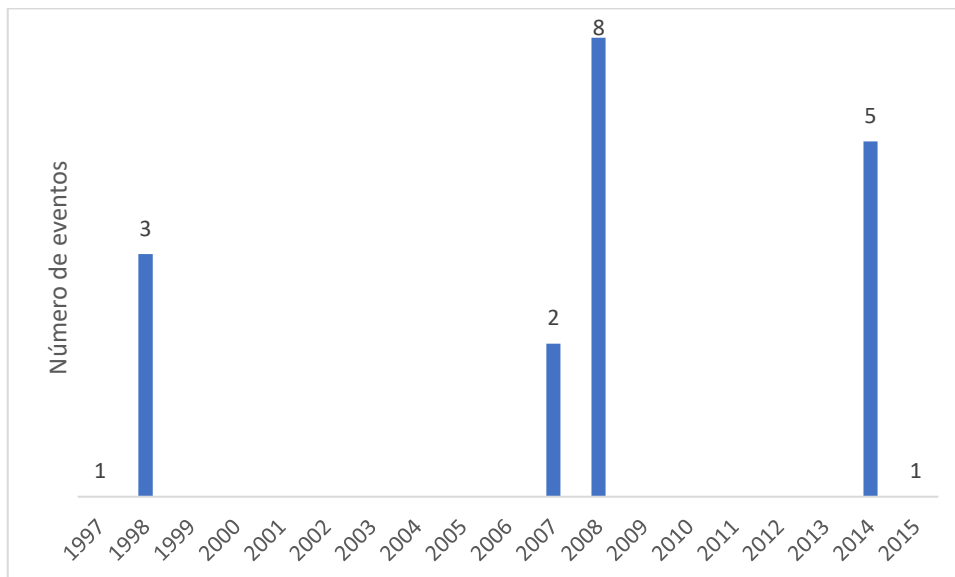


Figura 117. fenómenos de sequia ocurridos en los periodos 1997-1998, 2007-2008 y 2014-2015

La información se encuentra consolidada por municipio y por año en la cual sólo se conoce el número de eventos ocurridos y el área total anual afectada por cada municipio por año. Es importante aclarar, que no se tiene información sobre la ubicación exacta de cada evento, no existe conocimiento de las causas que lo generaron y la información sobre la cobertura afectada es muy general y sólo se tienen reportes consolidados del área total afectada por tipo de cobertura para cada departamento.

En la Tabla 62 se presenta el reporte de incendios forestales en la cuenca y el calculo de la frecuencia de ocurrencia del evento en cusion.

Tabla 62. Reporte de incendios forestales

Año	1997	1998	2007	2008	2014	2015	Frecuencia IF	FHIST
Incendios reportados	1	3	2	8	5	1	3,33	3

Fuente: Elaboración propia

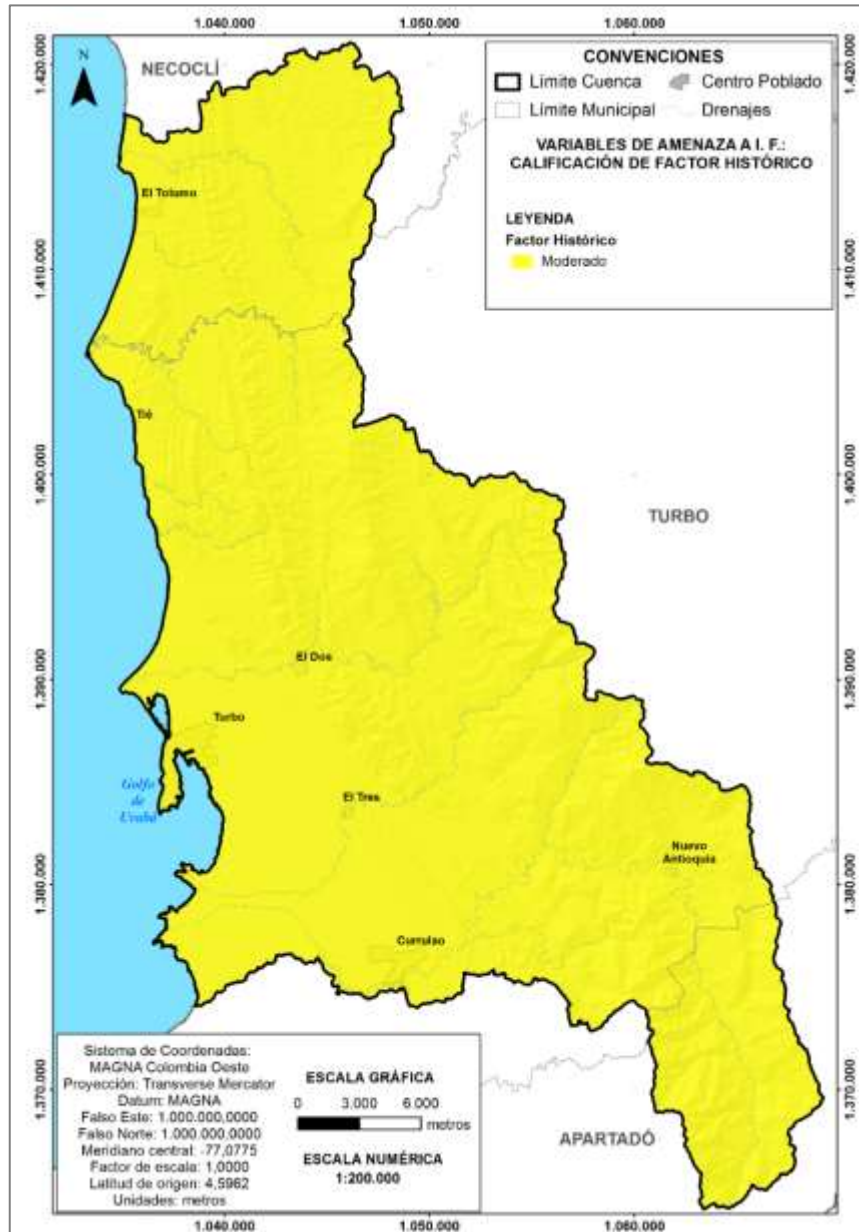


Figura 118. Calificación del factor histórico en función a la amenaza a incendios forestales

#### 7.6.4.8 Zonificación de la amenaza por incendios de la cobertura vegetal

En virtud de los factores condicionantes y detonantes a la ocurrencia de un incendio forestal sumados a la susceptibilidad de la vegetación a presentar un evento de ignición se obtiene el mapa de amenaza a incendios forestales para la cuenca hidrográfica del río Turbo-Currulao (ver Figura 119.),

Los factores que más contribuyen a zonificación de amenaza en la cuenca son en orden de incidencia: la temperatura (Mayor a los 24 grados), precipitación (moderada en casi



toda la cuenca y alta en el sector más norte de la misma), susceptibilidad de la vegetación, (alta, muy alta y moderada en menor proporción), accesibilidad (moderada, alta y muy alta), pendiente (moderada y alta) y factor histórico contante y predominantemente moderado.

Dado que la cuenca hidrográfica cuenta con calificaciones de amenaza por incendios forestales media y alta se debe tener en cuenta esta como una de las amenazas a priorizar dentro de la ejecución de planes municipales orientados a la mitigación del riesgo.

Como se ha mencionado anteriormente, el clima en Colombia presenta ciertas anomalías a través del tiempo, siendo la más destacadas el Fenómeno del Niño, la cual tiene mayor incidencia en la generación de incendios de la cobertura vegetal, por esta razón se hizo conveniente realizar el análisis de la susceptibilidad bajo las variaciones espaciales de precipitación y temperatura que esta anomalía climática genera en el territorio colombiano.

Para la realización de este análisis se tomó la información producida en el Capítulo de Clima, y se realizó una calificación de la susceptibilidad mediante el empleo de la siguiente matriz cruzada (Tabla 63):

Tabla 63. Variaciones en la PPT bajo el Fenómeno del niño

		Variaciones en la PPT bajo el Fenómeno del niño				
		Déficit severo	Déficit	Normal	Exceso	Exceso severo
Suscepti- -bilidad Bruta	Muy baja	Moderada	Moderada	Muy baja	Muy baja	Muy baja
	Baja	Baja	Baja	Baja	Muy baja	Muy baja
	Moderada	Alta	Alta	Moderada	Baja	Baja
	Alta	Muy alta	Muy alta	Alta	Moderada	Baja
	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Alta	Moderada

Fuente: Elaboración propia

Una vez realizada la respectiva suma ponderada, se procedió a realizar una distribución de frecuencias en 5 rangos para así llegar a categorizar el grado de amenaza entre muy baja (rango menor) a muy alta (rango mayor) Figura 119.



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

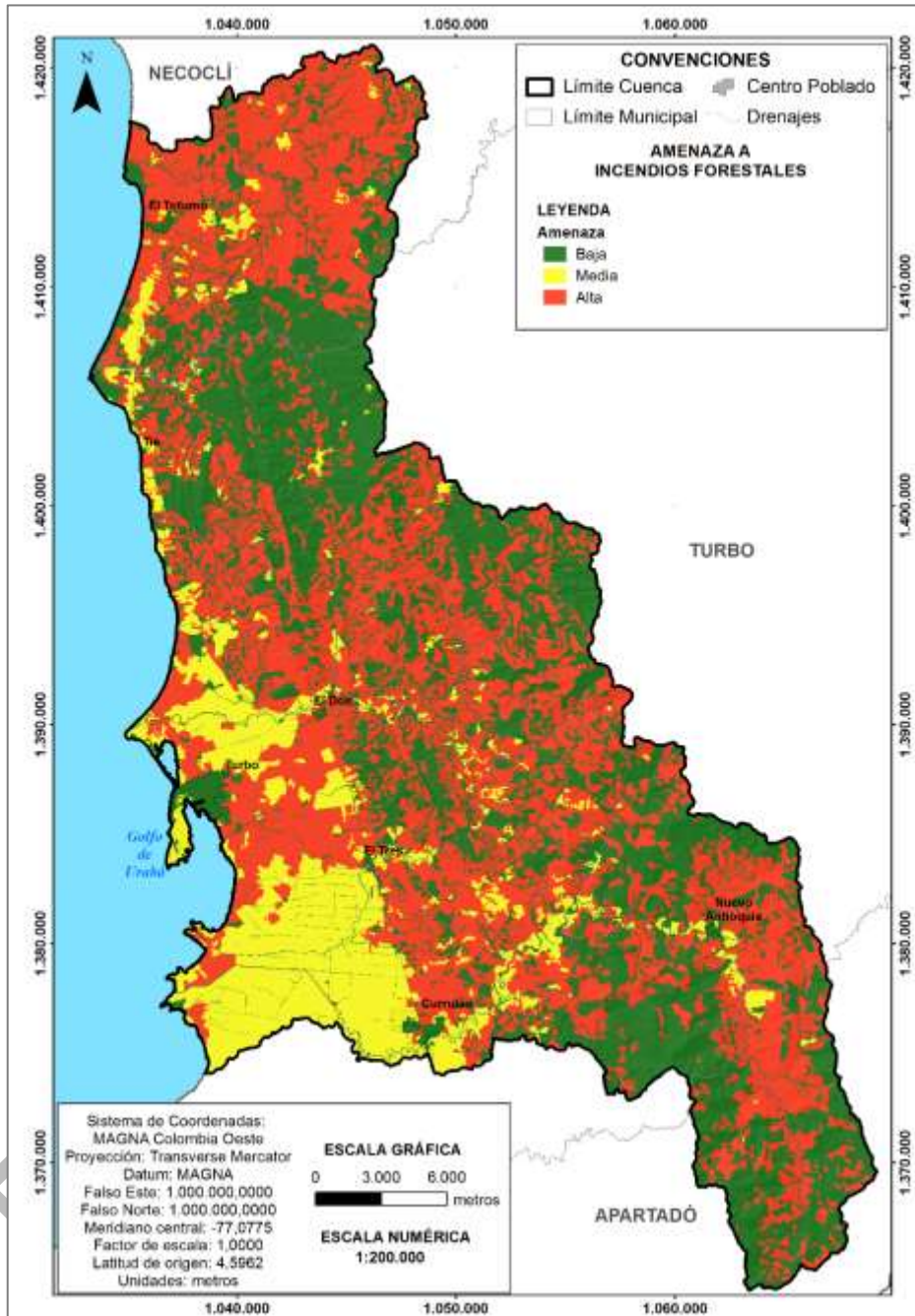


Figura 119. Amenaza por incendios forestales.

Fuente: Elaboración propia.

El mapa final, corresponde a los valores medios mensuales anuales de cada una de las variables analizadas, para así tener una aproximación al comportamiento de la vegetación frente al peligro, amenaza y vulnerabilidad a los incendios, aplicable a cualquier época del año.



Los incendios se convierten en un problema cuando las actividades humanas fragmentan los ecosistemas, los combustibles se alteran y las igniciones aumentan. A medida que los incendios se vuelven frecuentes y extendidos, el ecosistema se desplaza hacia una vegetación más propensa al fuego, por ejemplo, cuando los bosques tropicales se convierten en pastos introducidos como se ha presentado en la cuenca, con la ampliación de la frontera agrícola, lo cual progresivamente va deteriorando y eliminando los bosques de la cuenca.

- **Amenaza Alta**

La amenaza alta da como producto de valores altos en la calificación de los factores que propician incendios forestales. Los valores altos como en el caso de la susceptibilidad de la vegetación, coincide con áreas de pastos limpios, enmalezados y arbolados, así como herbazales, por las características intrínsecas de esta vegetación (carga de combustibles, disposición y grado de combustibilidad). Las condiciones climáticas de precipitación y temperatura, entre los otros factores mencionados permitieron identificar la amenaza alta a incendios forestales.

Esta área se encuentra generalizada en la cuenca y representa 41.850 ha equivalente al 46% de la cuenca. Se presentan con más intensidad en las subcuenca de los ríos Caiman Viejo, Turbo, Guadualito y Currulao, siendo estos las áreas con mayor intervención debido a proceso de potrerización.

- **Amenaza Media**

La amenaza media da como resultado de valores promedios en el cálculo de la amenaza, representa 12.975 ha equivalente al 15% de la cuenca, se presenta en su mayoría concentrada en la parte baja de la cuenca y asociada a cultivos tecnificados y tradicionales como el caso del plátano y banano.

- **Amenaza Baja**

La amenaza baja representa las áreas que por sus condiciones intrínsecas no presentan probabilidades altas a incendios forestales como es el caso de las áreas urbanas y bosque. Esta amenaza representa 34.923 ha equivalente al 39% de la cuenca, localizada en la parte baja de la cuenca en los núcleos urbanos, áreas sin vegetación como playas, en zonas pantanosas y en la parte alta de la cuenca en áreas de bosques que presentan altas condiciones de humedad.

#### 7.6.4.9 Necesidades de información

Es necesario la instalación de estaciones de medición meteorológicas dentro de la cuenca en ordenación. La única estación interna es Turbo representativa de la región, pero se encuentra suspendida desde el año 2011. Esta situación se cataloga como una potencial problemática de la cuenca.

Como se indica en las recomendaciones y necesidades generales más adelante, se hace necesario consolidar una base de datos georreferenciada y unificada que le permita a los diferentes actores de riesgo consultar información básica (daños, afectaciones, magnitud) de los eventos amenazantes. En este específico es necesario que se garantice



que los eventos por incendios forestales se georreferencien acertadamente en adelante en cuanto a ubicación y espacialización tipo polígono que represente el área de afectación de cada uno pues aún no se ha puesto en práctica una disciplina por parte de las instituciones de carácter regional encargadas de reportar los incendios forestales y que por lo tanto, la información sigue siendo fraccionada, incompleta o incierta.

Con el fin de mitigar la amenaza por incendios forestales o de coberturas vegetales, se deben tomar medidas de divulgación, orientación y capacitación para reducción de actividades detonantes como quemas indiscriminadas de cultivos y demás que pueden generar focos de ignición de la cobertura vegetal.

Potencializar la concientización sobre las consecuencias de los incendios forestales y el fuerte deterioro de la capa vegetal que estos producen, así como promover la conservación de ecosistemas estratégicos de la cuenca, los cuales una vez afectados por eventos de ignición de la capa vegetal, nunca pueden llegar a recuperarse completamente.

Con la instalación de las estaciones meteorológicas se puede establecer el diseño y puesta en marcha de una red local de medición climatológica, donde se monitoreen variables como: la precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación solar, brillo solar, evaporación y velocidad y dirección del viento a escala diaria o menor. Esto se justifica dado los evidentes cambios que se proyectan para la región del Urabá en cuanto a variabilidad y cambio climático.

La sustitución de zonas extensas de bosque por herbáceas inflamables es uno de los efectos ecológicos más negativos de los incendios sobre los bosques de la cuenca. Aunque, los incendios son poco corrientes en la mayoría de los bosques abiertos de la cuenca, debido al microclima húmedo, la humedad del combustible, la escasa velocidad del viento y las elevadas precipitaciones, que también se contrasta con la elevada temperatura. Por lo que es importante desarrollar estudios acerca de los efectos de los incendios forestales en la cuenca.

Existe una directa correlación entre el tipo de cobertura más afectada en área con la disponibilidad y pirogenia e inflamabilidad del combustible. Los pastizales por ser vegetación dependiente del fuego en su ciclo vital, los rastrojos por poseer combustibles de rápida ignición y de fácil generación de calor, los bosques plantados por poseer una carga considerable de material combustible (biomasa), y alta presencia de resinas y aceites esenciales que incrementan la capacidad combustible de estos y por último los bosques naturales, los cuales a pesar de no poseer características altas de combustibilidad, este tipo de vegetación si se caracteriza por poseer alta continuidad espacial en la estructura horizontal y vertical de sus formaciones y que al estar sometidos a periodos fuertes de sequía y con influencia de actividades humanas adversas (quemadas, fogatas, etc), son potenciales combustibles de larga duración y de ignición lenta, por lo que se resalta la importancia de estudios orientados a identificar la sensibilidad de los bosques ante los eventos de incendios forestales.

Durante las épocas en las cuales se presenta la anomalía climática del Fenómeno del Niño, es bien sabido, que la susceptibilidad de la vegetación en la cuenca aumenta considerablemente por efecto de las sequías prolongadas y por el incremento de la



temperatura y la insolación, situación que es importante monitorear para la activación de las alertas tempranas de incendios forestales.

#### **7.6.5 Eventos a considerar: Diapirismo de lodo, Marejadas, Desertización, Vendavales y Erosión costera**

Los eventos a considerar, a partir de información secundaria, dentro del POMCA Río Turbo-Currulao con repercusiones negativas sobre las vidas humanas, la infraestructura estratégica, líneas vitales o desarrollo socio-económico son los siguientes (Figura 120):

**Diapirismo de lodo:** Para el caso de los fenómenos amenazantes referidos, como es el caso del diapirismo de lodo, éstos se identificaron y localizaron con ayuda de la información suministrada por el Servicio Geológico Colombiano – SGC, plasmada en el componente de geología y referido en el componente de identificación de eventos históricos (inventario), los cuales evidencian la susceptibilidad baja, no llegando a constituirse en una amenaza, seguir atentos al comportamiento del fenómeno y su desarrollo con el tiempo.

**Marejadas:** De igual forma se hizo con los fenómenos amenazantes referidos a las marejadas, de acuerdo con la información suministrada por las autoridades competentes a las escalas en que se encuentre dicha información.

**Desertización:** Los fenómenos amenazantes referidos a desertización, se documentaron de acuerdo con la información suministrada por las autoridades competentes a las escalas en que se encuentre dicha información (IDEAM, 2006).

**Vendavales:** Los fenómenos amenazantes referidos a vendavales, están documentados de acuerdo con la información suministrada por las autoridades competentes a las escalas en que se encuentre dicha información (CORPOURABA, 2016).

**Erosión costera:** La erosión costera, se documentó con la información consignadas en los informes de INVEMAR (INVEMAR y EAFIT, 2015), (INVEMAR, 2007) a la escala en que se encuentre dicha información.

Todos estos tipos de eventos se encuentran registrados e integrados en el análisis de amenazas de acuerdo a su tipología. Para el caso de estas amenazas, y en función de la información disponible, se integrará dicha información en la zonificación ambiental, siempre y cuando la escala lo permita.

Dichos eventos no cuentan con información a escala 1:25.000, por lo que no se les realiza evaluación de susceptibilidad y amenaza, por ende tampoco por vulnerabilidad, ni riesgos, quedan planteadas en la etapa de formulación el desarrollo de estudio de detalle para la evaluación de estos eventos para la cuenca.

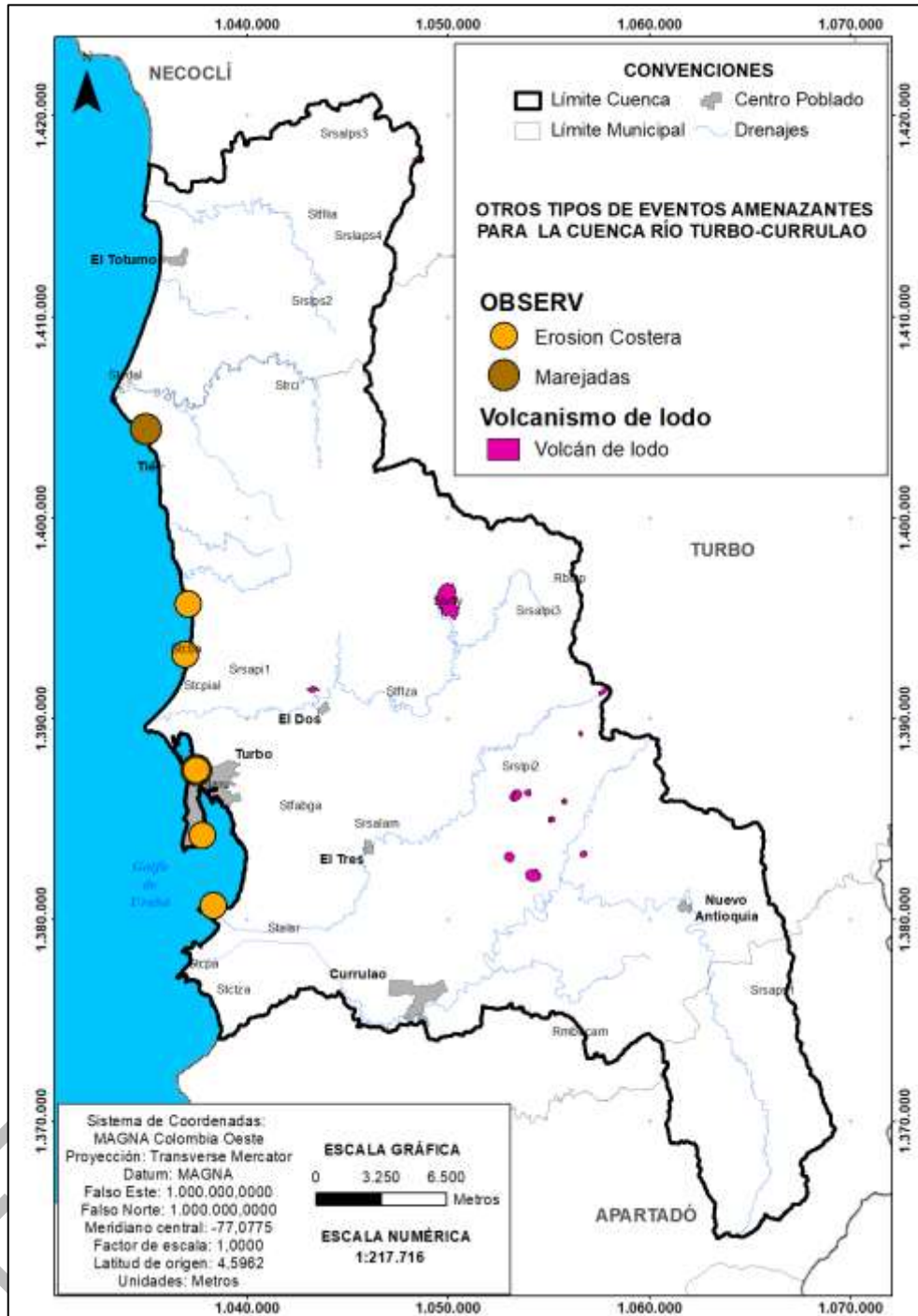


Figura 120. Eventos a considerar, a partir de información secundaria, dentro del POMCA Río Turbo-Currulao

### 7.6.5.1 Necesidades de información

Es necesario seguir con la recaudación y registro de estos tipos de eventos con el propósito de monitorear las causas y consecuencia, por eso es necesario la instalación





de estaciones de medición meteorológicas dentro de la cuenca en ordenación, ya que esta situación se cataloga como una potencial problemática de la cuenca.

Con la instalación de las estaciones meteorológicas se puede establecer el diseño y puesta en marcha de una red local de medición climatológica, donde se monitoreen variables como: la precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación solar, brillo solar, evaporación y velocidad y dirección del viento a escala diaria o menor. Esto se justifica dado los evidentes cambios que se proyectan para la región del Urabá en cuanto a variabilidad y cambio climático.

Estar atentos a los boletines de información que emitan las autoridades competentes con el fin de hacerle seguimiento a este tipo de eventos (SGC, IDEAM, CIOH, INVEMAR, CORPOURABÁ, etc.)

El IDEAM como autoridad competente en materia de desertificación o desertización, es la responsable de proveer la información y la metodología la cual se debe utilizar en las cuencas que puedan ser afectadas por estos eventos, además de plasmar en cuales se deben este fenómeno en los POMCA.

## 7.7 ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad es un factor intrínseco del riesgo que permite analizar los diversos escenarios de las diversas amenazas de forma integral ya que cuando se analiza únicamente la amenaza quedan excluidos factores que caracterizan a los diversos actores del riesgo y su relación con la dinámica de la cuenca.

Es imprescindible evaluar la afectación, de manera que las posibles consecuencias no solo estén relacionadas con el impacto del suceso, sino también con la capacidad para soportar el mismo en la zona de estudio, por ende se hace necesario determinar la zonificación de vulnerabilidad a través de tres indicadores: exposición, fragilidad y falta de resiliencia.

“La vulnerabilidad es el factor del riesgo interno al sujeto, objeto o sistema expuesto a una amenaza, que corresponde a su disposición intrínseca a ser dañado. El análisis del riesgo tiene como objetivo fundamental determinar las pérdidas que pueden sufrir en lapsos dados los activos expuestos, como consecuencia de la ocurrencia de amenazas naturales, integrando de manera racional las incertidumbres que existen en las diferentes partes del proceso” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

Desde el contexto teórico presentado, la vulnerabilidad como componente del riesgo se presenta en la siguiente forma:

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}$$

Donde la vulnerabilidad a su vez se define como:

$$\text{Vulnerabilidad} = [\text{Exposición} \times \text{fragilidad} \times \text{falta de resiliencia}]$$

Dentro de las actividades contempladas en los anexos técnicos del proyecto así como en el Protocolo para la Incorporación de la Gestión de Riesgo en POMCAS se define cada



uno de los índices implícitos en el cálculo de vulnerabilidad y las variables involucradas en la evaluación de cada uno, presentando así, zonificación y análisis de exposición, fragilidad y falta de resiliencia para la cuenca del río Turbo-Currulao. Gran parte de la información utilizada para la evaluación de las condiciones de vulnerabilidad para la zona de estudio se construyó a lo largo de la fase diagnóstica del POMCA, principalmente de los componentes social, económico y de caracterización básica de la cuenca y se complementó con informes, estadísticas y encuestas recopiladas en las diversas fases del proyecto, esta información se trató de llevar al detalle de municipios y veredas en gran parte de las variables para que se observara un contraste a mayor escala dentro de la información recopilada.

### 7.7.1 Análisis de elementos expuestos

El componente de exposición busca dar respuesta a tres interrogantes principales:

1. ¿Qué se puede dañar o es susceptible de sufrir impactos negativos?
2. ¿Dónde se localizan estos elementos?
3. ¿Cuál es el valor económico de estos elementos?

El nivel de exposición y susceptibilidad de los elementos expuestos a ser afectados por los eventos amenazantes generadores de daños y pérdidas, se evaluarán de acuerdo al mapa conceptual de la Figura 121, a través del cual se identifican los elementos expuestos y el análisis de vulnerabilidad.

El análisis espacial se ha realizado mediante el uso del álgebra de mapas, como se observa en la Figura 121. Se superpuso, combino y analizo diferentes variables temáticas con el fin de obtener un resultado específico de acuerdo a un diseño establecido; en este caso, conocer la vulnerabilidad de la Cuenca Río Turbo-Currulao. Se integraron, crearon, almacenaron y editaron variables de tipo socioeconómico analizadas.

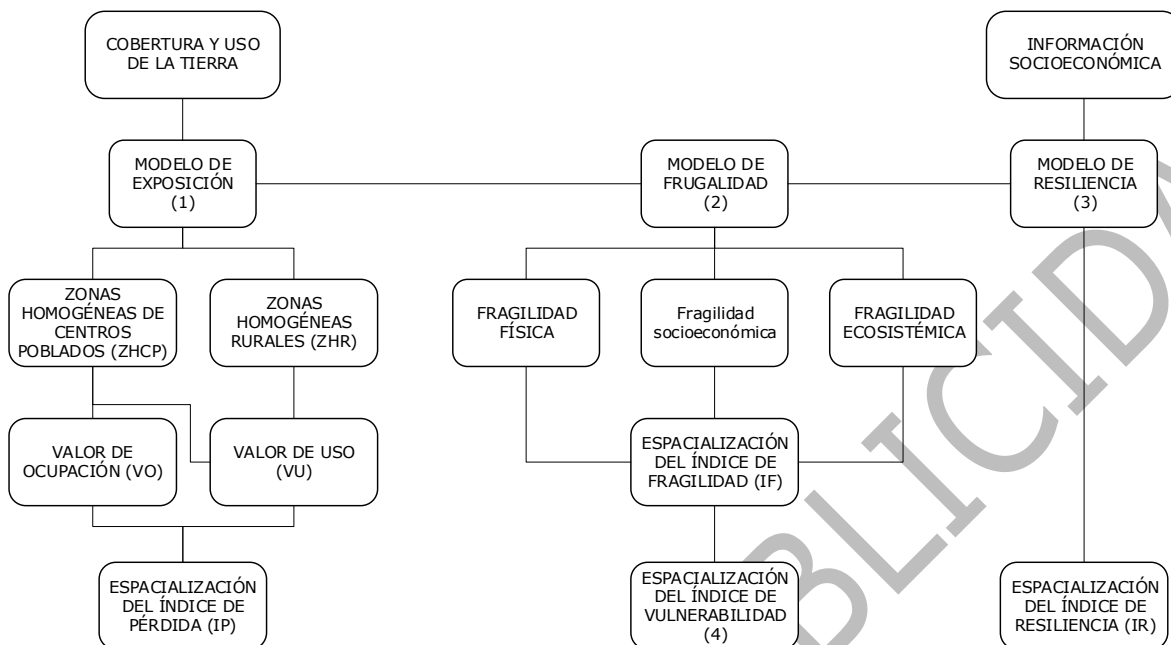


Figura 121. Mapa conceptual detallado para el análisis de vulnerabilidad.  
Fuente: Recuperado de (Fondo Adaptación, 2014).

La cartografía IGAC constituye la base para la Cuenca Río Turbo-Currulao en escala 1:25.000, esta, comprende a su vez curvas de nivel, redes de drenaje, cuerpos de agua, orografía, límites administrativos, zonas urbanas, rurales dispersas, base catastral, e infraestructura, la cual se encuentra referenciada en el sistema Magna Sirgas. A continuación, en la Tabla 64, presenta una lista de la información que se usó para el análisis de los elementos expuestos en la Cuenca Río Turbo-Currulao.

Tabla 64. Información utilizada en el análisis de elementos expuestos y de la vulnerabilidad en la Cuenca Río Turbo-Currulao.

COMPONENTE	INSUMOS	ESCALA	FORMATO	FUENTE
General	Cartografía base	1:25000	GeoDataBase	IGAC
Cobertura y usos del suelo	Mapa de la Cuenca Río Turbo-Currulao	1:25000	GeoDataBase	Propia
Base de datos catastral	Catastro cuenca	Detalle	GeoDataBase	IGAC
Condiciones socioeconómicas de la cuenca	Documentos, tablas	Detalle	Excel, word	Propia

Fuente: Fondo de Adaptación (2014).

A continuación, se detalla la información disponible de la cuenca para el análisis de los elementos expuestos y su localización.

### 7.7.1.1 Elementos expuestos y su localización

La definición de los elementos expuestos sobre los cuales se estiman las características principales de localización y valor económico expuesto, obedece a la necesidad del conocimiento del riesgo sobre un conjunto de bienes y servicios específicos que se ven



amenazados en un área determinada. Este conjunto de bienes y servicios puede ser de diversa índole:

- Edificaciones para diferentes usos; residencial, comercial, de servicios, institucional, industrial, etc.
- Infraestructura puntual; puentes, represas, etc.
- Infraestructura lineal; gasoductos, vías, líneas de transmisión energética, etc.
- Agricultura; cultivos agrícolas.
- Edificaciones de interés social; salud, educación.

#### **7.7.1.2 Edificaciones de uso residencial, comercial, institucional, de servicios e industria**

Las estadísticas georreferenciadas asociadas a edificaciones se obtuvieron del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), el cual es el encargado realizar los censos poblacionales a nivel nacional (1993 y 2005), con una actualización y/o ampliación de la información de este último en el año de 2012. Esta información estadística se ha organizado en tablas de resumen estadístico; el primero es a nivel de cartografía detallada para diferentes escalas y entidades geográficas (departamentos, municipios, centros poblados, sectores rurales y secciones rurales, sectores urbanos, el cual a su vez esta dividido en sección urbana y manzana censal).

Cada uno de los archivos se encuentra caracterizado por medio de atributos descriptivos que contienen información de:

- Tipo de shape: polígono, polilínea o punto.
- Nombre de cada elemento de la base de datos según entidad geográfica: Nombre de departamentos, municipios, centros poblados, etc.
- Códigos de identificación: se caracteriza cada elemento de la base de datos según la entidad geográfica que represente, asignándole un código de identificación que depende del departamento, municipio y centro poblado al que pertenece.
- Dimensiones geométricas: información de área y perímetro de cada elemento de la base de datos.

En términos de localización geográfica predio a predio, el IGAC ofrece información básica de catastro en escalas que varían entre 1:1000 y 1:100.000. Dentro de la información geográfica que se obtiene se encuentra:

- Nomenclatura domiciliaria
- Nomenclatura vial
- Construcción
- Terreno de predio urbano
- Manzana

Dentro de la caracterización de los elementos de la base de datos que se puede obtener a partir de la información de catastro del IGAC, se encuentran:

- Uso de suelo actual
- Número de pisos de cada predio



- Material de construcción y tipo de fachada
- Dimensiones geométricas

#### 7.7.1.3 Infraestructura vial

La infraestructura vial en Colombia es regulada en materia económica, proyectada, planeada y objeto de formulación y adopción de políticas por parte del Ministerio de transporte, el cual cuenta con un Viceministerio de Transporte y un Viceministerio de Infraestructura con funciones específicas. La infraestructura vial se divide en dos componentes; el primero corresponde a las vías no concesionadas de la Red Vial Nacional de carreteras primaria y terciaria, férrea, fluvial y de la infraestructura marítima. Este componente es ejecutado y administrado por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), entidad adscrita al Ministerio de Transporte. El segundo componente es el de las vías concesionadas de la Red Vial Nacional de carreteras primaria y terciaria, férrea, fluvial y de la infraestructura marítima. Este último es ejecutado y administrado por la Asociación Nacional de Infraestructura (ANI), entidad adscrita al Ministerio de Transporte.

La infraestructura considerada y los indicadores que pueden usarse para estimar los valores de reposición, si no se tienen valores o indicadores más específicos, son los siguientes:

- Red vial primaria y secundaria: se puede obtener este dato de la cartografía base existente; si no se tiene suficiente información, se pueden utilizar indicadores en correlación con la densidad de población por km<sup>2</sup> de territorio para estimar longitud total de vías, de los diferentes tipos (pavimentada o no, doble o triple carril, etc). Los costos asociados harían referencia a costo por unidad de longitud para el mismo número de carriles y tipo de vía.
- Puentes en la red vial primaria y secundaria: se puede estimar como la longitud total de puentes en porcentaje de la longitud total de red vial tanto primaria como secundaria. También se pueden hacer estimativos del número de cruces importantes entre la red vial y la red fluvial. El costo de los puentes se plantea como un costo unitario por unidad de longitud para puentes estándares de dos carriles.
- Infraestructura de servicios: para los sectores de generación de energía, distribución de energía, comunicaciones e hidrocarburos, se asignan valores globales per cápita a nivel del país con base en indicadores similares de otros países.

#### 7.7.1.4 Sector agropecuario

El sector agropecuario forma parte del sector primario de la economía de la cuenca. En la región del Urabá destaca la producción agroexportadora del plátano y el banano, pero también se presenta la explotación bovina y de especies menores.

En términos de la localización de los principales cultivos y campos de aprovechamiento agrícola en el país, el DANE en el año 2014, mediante el 3er Censo Nacional Agropecuario (CNA) publicado en su totalidad en el mes de Marzo de 2016, proporciona



información estadística, georreferenciada o de ubicación satelital y actualizada del sector agropecuario del país.

En la Figura 122, se presenta la ubicación de los cultivos presentes en la cuenca Río Turbo-Currulao, a partir Mapa de las coberturas Corine Land Cover, en el se muestra el área ocupada por cada clase de cobertura terrestre, especificando las zona de producción de cultivos y hectáreas, entre otras variables de interés.

La información del Censo Nacional Agropecuario-CNA (DANE, 2016), se presenta la información consolidada a partir del muestreo compuesto por la totalidad del área rural del país, considerando los registros catastrales del IGAC.

Bajo estos elementos considerados en el POMCA se cuantificó y determinó el área, la producción agropecuaria y la localización geográfica de las viviendas rurales y su caracterización física básica, entre otras variables de interés. Dentro de los grupos de cultivos agrícolas más importantes estudiados e identificados se encuentran; banano de exportación, plátano y pastos.

#### **7.7.1.5 Mapa de las coberturas y uso actual de la tierra**

Este mapa revela el área ocupada por cada clase de cobertura terrestre, en donde los territorios agrícolas representan la clase dominante, en sus diferentes modalidades, los cuales constituyen 54.115,60 ha (60.31%) del área del proyecto. La segunda clase con mayor superficie corresponde a los bosques y áreas seminaturales, que cubren 32.710,17 ha (el 36.39%); siguen, en orden de importancia por área, los territorios artificializados con 1.37%, las superficies de agua 0.97% y áreas húmedas 0.80%.

Los territorios del sector agropecuario, están dedicados a la agricultura en un 11.65%, ganadería 48.04% y mosaicos 0.60%. Como se puede observar, la actividad ganadera realiza un uso más extensivo de la tierra, dadas las condiciones en torno a la distribución de la misma.

Los pastos, se presentan en tres modalidades: limpios con 32.552,41 ha (36.27%), arbolados con 1.262,10 ha (1.41%) y enmalezados con 9.297,78 ha (10.36%). Por su extensión, la cobertura de pastos limpios es la más representativa de la cuenca. En los terrenos de topografía plana, se practica una ganadería semi-intensiva de doble propósito (leche y carne); en los terrenos de topografía accidentada la ganadería es extensiva y su propósito es la producción de leche para el consumo casero.



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

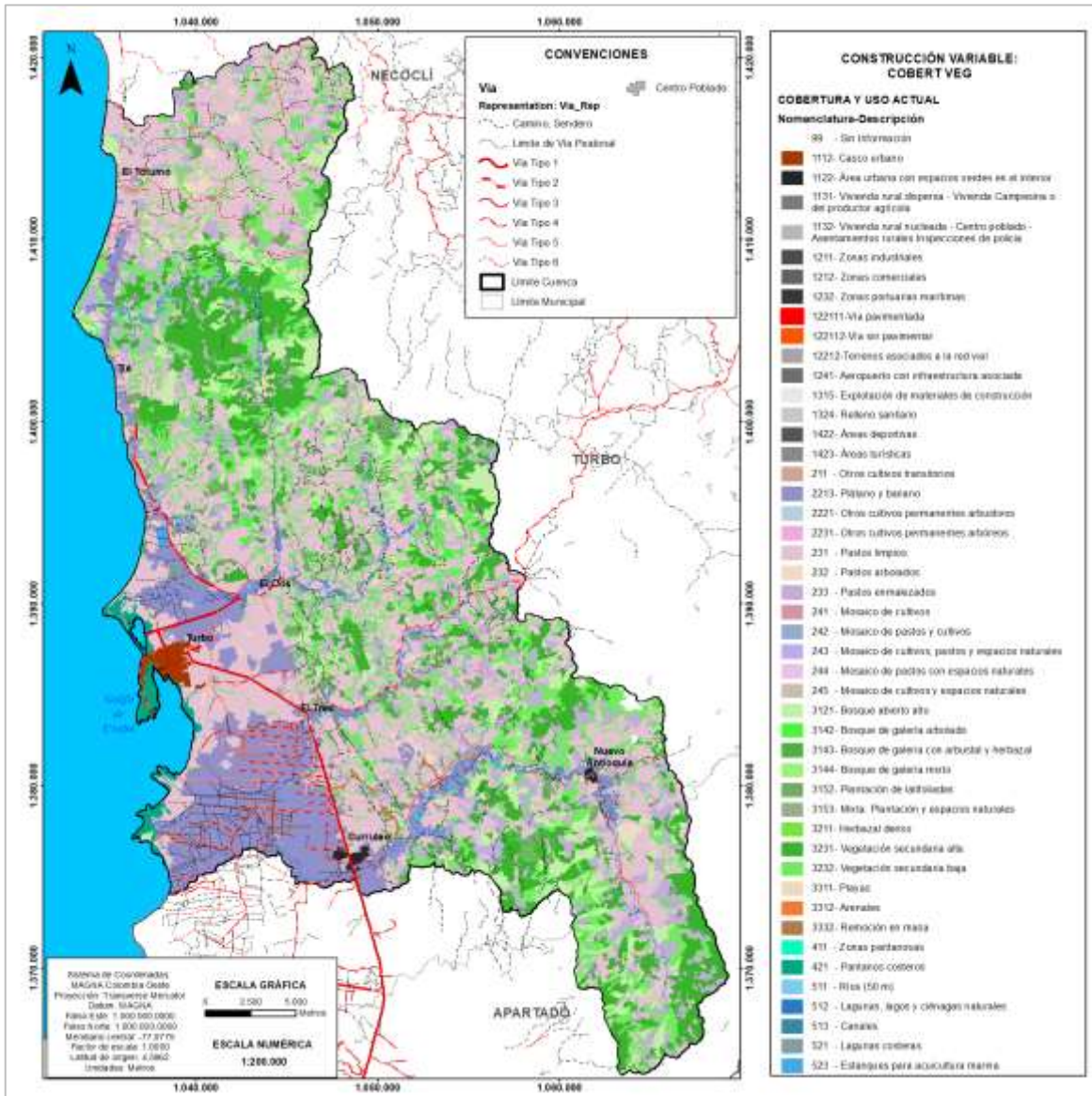


Figura 122. Elementos expuestos a sufrir afectación por la ocurrencia de eventos amenazantes dentro de la cuenca Río Turbo-Currulao.

Fuente: Elaboración propia.

Como elementos expuestos se consideran todos aquellos que se encuentran dentro de la descripción de las coberturas actuales de la tierra, considerando la escala de trabajo 1:25000 y el mapa conceptual para el análisis del modelo de exposición (Figura 123), se obtuvo lo siguiente:

1. Se zonificaron zonas homogéneas para centros poblados (ZHCP) y zonas homogéneas rurales (ZHR).
2. A las zonas homogéneas obtenidas, se le asignaron una serie de índices e indicadores que permiten establecer el modelo de exposición de la cuenca Río Turbo-Currulao.

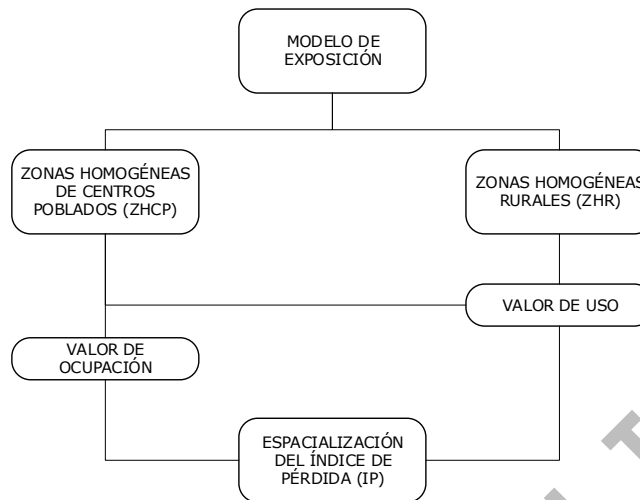


Figura 123. Mapa conceptual para el análisis del modelo de exposición en los POMCAs.  
Fuente: Recuperado de (Fondo Adaptación, 2014).

### 7.7.1.6 Zonas Homogéneas

Del mapa de cobertura y uso se extrajeron los polígonos que definen centros poblados (ZHCP) ya sea en la zona urbana o rural de la cuenca, a los cuales fueron asignados los siguientes atributos:

- Área de la zona (km<sup>2</sup>).
- Uso de la zona: uso del tipo residencial, comercial, educación, salud, etc., obtenido del mapa de cobertura y uso de Corine Land Cover.
- Densidad de población de cada una de las zonas en DP = número de habitantes / km<sup>2</sup> de construcción para el período del día en el cual se prevé la mayor ocupación, ya sea el día o la noche. La densidad de población (DP), se obtuvo a partir del censo de población de la cuenca.
- La densidad promedio de construcción se obtuvo con la ayuda del SIG, de acuerdo a lo siguiente, DC= número de construcciones /Km<sup>2</sup> de terreno.

En la Tabla 65 se presentan los atributos de las zonas homogéneas para centros poblados.

Tabla 65. Atributos de las zonas homogéneas de centros poblados.

Polígono	Área (km <sup>2</sup> )	Área construida (km <sup>2</sup> )	% sobre área construida	DC (construcciones/km <sup>2</sup> )	Tipo de cobertura y Uso (Corine Land Cover)	DP (Hab/Km <sup>2</sup> )	ZHCP (zona homogénea centros poblados)
ZHCP1	4.3	2.2	50	0.5	NUCLEOS URBANOS	149.8	TURBO
ZHCP2	0.5	0.3	20	0.2	NUCLEOS URBANOS	149.8	CURRULAO
ZHCP3	1.3	0.0	40	0.4	NUCLEOS URBANOS	149.8	NUEVA ANTIOQUIA
ZHCP4	0.4	0.3	20	0.2	NUCLEOS URBANOS	149.8	EL TOTUMO

Fuente: Elaboración propia.





La zonificación rural (ZHR) se efectuó mediante una reclasificación del mapa de cobertura y uso, teniendo en cuenta los tipos de cultivos, bosques, densidad de vegetación, extrayendo de las misma todos los centros poblados que entran en la categoría de zonas homogéneas de centros poblados (ZHCP), la zona homogénea tiene los atributos que se presentan en la Tabla 66.

- Área de la zona (ha)
- Cobertura y Uso principal: tipo de cultivos (ej: maíz, café, etc.), bosques, desiertos, pastos, latifundios, minifundios, etc. Teniendo en cuenta que se usará como mínimo la clasificación de cobertura y uso nivel 4.

Tabla 66. Atributos zonas homogéneas zonas rurales (ZHR).

ZHR	COBERTURA	AREA_KM2	AREA_C_KM2	DC_C_KM2	DP_H_KM2
1	PASTOS	125.22	87.96	0.70	18.2
2	PASTOS/CULTIVOS	143.77	134.13	0.93	17.12
3	CULTIVOS	620.89	315.88	0.51	14.35

Fuente: Elaboración propia

#### 7.7.1.7 Valoración de los elementos expuestos

Una vez definido el conjunto de elementos expuestos que se le calculará las pérdidas generadas por una determinada amenaza, se le calculará el valor económico de dichos elementos Tabla 71. El valor económico puede ser analizado considerando diversos factores (p. ej. Costos estructurales, costos no estructurales, costo de los contenidos de las edificaciones, costo de reforzamiento de edificaciones) y condiciones sociales (p. ej. Costo de reposición total de las edificaciones, costo de reasentamiento de la edificación con las mismas condiciones de habitabilidad, entre otros).

Dentro de la información más importante que se requiere para la caracterización de la exposición a escala municipal para cuantificar el valor económico de un elemento expuesto se encuentra:

- Indicador de metros cuadrados por habitante para diferentes niveles de complejidad y niveles socioeconómicos.
- Indicador de población para diferentes niveles de complejidad y niveles socioeconómicos.
- Indicador de pesos por metro cuadrado para diferentes niveles de complejidad y niveles socioeconómicos.

La importancia de definir el tipo de infraestructura evaluada y su representación dentro de un modelo de exposición obedece a que, en función de estos dos elementos, los valores de reposición sobre los cuales se calcula la pérdida varían respecto de la unidad de medida en que se reportan dichos valores.

Para la infraestructura vial, el modelo de exposición consideró tramos de infraestructura para definir el valor económico expuesto en función de la dimensión de distancia, es decir el valor reportado corresponde a dimensiones de Unidades Económicas sobre



distancia para cada tramo considerado dentro de la red lineal de infraestructura evaluada.

Para la Infraestructura a nivel de la cuenca, se indica el tipo de infraestructura y el valor total de reposición. El valor de reposición se calcula con base en los índices de precio por metro cuadrado para la cuenca, valores que se obtienen del análisis socio-económico, multiplicándolo por el área construida calculada. Se compara con una tabla de precios mínimos y máximos por metro cuadrado en función del estrato socioeconómico, dato que se obtendrá de las estadísticas desarrolladas por diferentes entidades a nivel nacional.

La caracterización física de los elementos expuestos obedece a la definición de las tipologías estructurales con las cuales son construidos y a los materiales de construcción. La finalidad de esta caracterización es la de relacionar la localización de los elementos expuestos, su valor económico y su material y tipología estructural con los posibles daños que se pueden generar sobre ellos teniendo en cuenta su vulnerabilidad a un evento amenazante específico.

#### 7.7.1.8 Población y edificaciones de usos residencial, comercial e institucional

El DANE ha llevado a cabo dos censos poblacionales a nivel nacional en los años de 1993 y 2005, con una actualización y/o ampliación de la información de este último en el año de 2012. Dentro de la información básica recopilada se destaca los datos de la estructura poblacional según edad, sexo, condición laboral, tamaño de hogares, salud y nivel de educación. Adicionalmente se cuenta con información de índices de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI), índice de Condiciones de Vida y relaciones entre ingresos y egresos. Por medio de la información recopilada, fue posible cuantificar e identificar la cantidad de metros cuadrados construidos por cada habitante dentro de la cuenca.

Por otro lado, la información de precio por metro cuadrado fue factible obtenerla por medio del análisis socioeconómico adelantado para el POMCA Figura 124.

A partir de la información consignada en las fuentes de información primaria y secundaria presentadas previamente, es posible cuantificar los indicadores socioeconómicos para alimentar el modelo de exposición y obtener el valor económico de los elementos expuestos sobre los cuales se calcula la pérdida económica siguiendo un enfoque probabilista.

Para tal efecto, se usaron los indicadores de valores per cápita o normalizados con el PIB. El objetivo de estos indicadores, es obtener los valores de reposición estimados del bien en los casos que ello

Tabla 67. Índice habitacional en las Zonas Homogéneas de los Centros Poblados, de la Cuenca Río Turbo Currulao.

ZHCP	Km <sup>2</sup> construidos	Habitantes	IH
Turbo	4.34101451	60758	13996.26743
Currulao	1.28503065	23486	18276.60687
Nueva Antioquia	0.43988642	1413	3212.19282
El Totumo	0.48152398	8340	17320.00969

Fuente: (Gobernación de Antioquia, 2015).



Figura 124. Valor de construcción por metro cuadrado en las Zonas Homogéneas de los Centros Poblados de la Cuenca Río Turbo Currulao.  
Fuente: (Catastro Antioquia, 2017).

Tabla 68. Índice de precios por Km<sup>2</sup> (IVE) en la Zona Homogénea del Centro Poblado de Currulao.

Total	\$/Km <sup>2</sup>	US\$/Km <sup>2</sup>
\$146,734,044	\$646,918,455,163	\$215,639,485
\$13,237,651	\$250,693,161	\$83,564

Fuente: (Catastro Antioquia, 2017).

Tabla 69. Índice de precios por Km<sup>2</sup> (IVE) en la Zona Homogénea del Centro Poblado de Nueva Antioquía.

Total	\$/Km <sup>2</sup>	US\$/Km <sup>2</sup>
\$650,587	\$4,130,187,913	\$1,376,729
\$3,212,971	\$33,205,572,551	

Fuente: (Catastro Antioquia, 2017).

### 7.7.1.9 Agricultura

La valoración del activo expuesto en el sector de agricultura se considera comúnmente sobre los cultivos agrícolas en hectáreas o unidades de medida en superficie (Olaya, 2015) propone una metodología de valoración de cultivos en Unidades Económicas/Superficie en función de los siguientes parámetros:

- Fases fenológicas: identificación de fases de crecimiento de cultivo
- Inversión inicial
- Costos directos
- Rentabilidad
- Costos totales: calculados para cada fase como los costos directos de la fase sumados a los de las fases anteriores más el valor de rentabilidad que se ha dejado de percibir por el daño en el cultivo.

Según la CCU (2017), entre los principales cultivos de la región del Urabá destacan el banano, cacao, piña, producción forestal, ganadería, yuca, maíz, palma de aceite, arroz tradicional, ame y la papaya hawaiana.



Para los municipios que conforman la cuenca se presentan en la Tabla 66, los cultivos permanentes, así como las áreas y volúmenes destinados a dicha producción:

Tabla 70. Cultivos permanentes de los municipios de la cuenca.

Municipio	Rubro	de	Área producción (ha)	Área Total (ha)	Volumen producción (Ton)	Rendimiento promedio (kg/ha)	
Apartadó	Banano exportación		8.962,5	8.962,5	312.767,7	34.897,3	
	Plátano monocultivo		569,00	589,00	6.259,00	11.000,0	
	Cacao		1.399,00	1.454,00	699,50	500,0	
	Aguacate		192,00	192,00	3.264,00	17.000,0	
	Banano manzano		149,00	149,00	2.533,0	17.000,0	
	Cebolla junca		6,0	6,0	174,0	29.000,0	
	Murrapo		9,0	9,0	153,0	17.000,0	
	<b>Total Apartadó</b>		<b>11.286,5</b>	<b>11.361,5</b>	<b>325.850,2</b>	--	
	Turbo	Aguacate		239,0	444,0	2.390,0	10.000,0
		Banano exportación	de	10.415,0	10.415,0	363.453,4	34.897,3
Cacao			2.061,0	2.231,0	824,4	400,0	
Coco			9,0	9,0	31,5	3.500,0	
Limón pajarito			11,0	14,0	22,0	2.000,0	
Mango común			127,0	247,0	127,0	1.000,0	
Plátano monocultivo			19.974,0	20.240,0	199.740,0	10.000,0	
<b>Total Turbo</b>			<b>32.836,0</b>	<b>34.128,6</b>	<b>566.588,3</b>	--	
Necoclí		Aguacate		209,0	247,0	2.090,0	10.000,0
		Cacao		803,0	1598,0	722,7	900,0
	Coco		482,0	495,0	1.687,0	3.500,0	
	Piña		30,0	50,0	2.400,0	80.000,0	
	Plátano monocultivo		1.170,0	1.857,0	10.530,0	9.000,0	
	<b>Total Necoclí</b>		<b>2.694,0</b>	<b>4.380,0</b>	<b>17.429,7</b>	--	

Fuente: Gobernación de Antioquia (2014).

La producción de cultivos permanentes es de especial significancia en materia de generación de empleos. Alrededor de ellos se han generado las cadenas productivas de los municipios, corroborando o dando fe de las ventajas comparativas de la región.

Tabla 71. Valoración de los elementos expuestos, en pesos colombianos (Mapa de las coberturas Corine Land Cover). Fuente: Propia,

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	NIVEL 5	NIVEL 6	Área (ha)	%	Área (ha)	Valor \$	Unidad	
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	1.1. ZONAS URBANIZADAS	1.1.1. Tejido urbano continuo				434.10	0.48		864,197	\$/m2	
		1.1.3. Construcciones rurales	1.1.3.1. Vivienda rural dispersa			20.59	0.02	641.51	293,378	\$/m2	
			1.1.3.2. Vivienda rural nucleada			186.82	0.21		583,334	\$/m2	
	1.2. REDES DE COMUNICACIÓN	1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	Red y territorios asociados	1.2.2.1. Red vial	1.2.2.1. 1. Red vial	1.2.2.1. 1.1. Vía pavimentada	78.79	0.09	304.18	1,200,000,000	\$/Km
				1.2.2.1. 1.2. Vía sin			225.39	0.25		400,000,000	\$/Km



**FASE DE DIAGNÓSTICO**  
**PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO**

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	NIVEL 5	NIVEL 6	Área (ha)	%	Área (ha)	Valor \$	Unidad	
					pavimentar						
		2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	2.2.1.3. Plátano y banano			10,353.81	11.54		13,340,988	\$/ha	
	<b>2.2. CULTIVOS PERMANENTES</b>	2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos			16.83	0.02	10,448.2	7,346,543	\$/ha	
		2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos			77.63	0.09		18,503,345	\$/ha	
<b>2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS</b>	<b>2.3. PASTOS</b>	2.3.1. Pastos limpios				32,552.41	36.27		2,441,351	\$/ha	
		2.3.2. Pastos arbolados				1,262.10	1.41	43,112.2	2,441,351	\$/ha	
		2.3.3. Pastos enmalezados				9,297.78	10.36		1,220,676	\$/ha	
	<b>2.4. ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS</b>	2.4.1. Mosaico de cultivos					20.87	0.02		21,517,674	\$/ha
		2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos					375.72	0.42		13,200,189	\$/ha
		2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales					74.71	0.08	546.16	9,613,910	\$/ha
		2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales					22.10	0.02		1,220,676	\$/ha
		2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales					52.76	0.06		10,758,837	\$/ha

Fuente: Elaboración propia.

### 7.7.2 Índice de pérdida o daño (IP)

Los registros de pérdidas y daños son fundamentales para dimensionar el verdadero impacto de los desastres. La posibilidad de visualizar los impactos que los eventos recurrentes y pequeños están teniendo en la infraestructura pública, el patrimonio de los privados y la pérdida de vidas, son una herramienta fundamental para entender las dimensiones del problema.

Para el cálculo del índice de pérdida o daño (IP) se analizaron los indicadores económicos y de desarrollo que se describen enseguida.



### 7.7.2.1 Para los centros poblados

Para cada zona homogénea de análisis y con base en la densidad de habitantes por km<sup>2</sup> previamente calculado, el cual sirve como índice de referencia para estimar los tamaños de diferentes componentes de infraestructura, se obtendrá el IVE o índice de precios por Km<sup>2</sup> de la zona. En forma complementaria se realizan estimativos de valores de exposición unitarios para cada una de las obras de infraestructura con base en lo cual se pueden calcular los valores expuestos totales para cada sector y en cada región.

Como indicadores de exposición para centros poblados se requieren por lo menos:

- **Área total construida en la zona** = (área ocupada promedio/km<sup>2</sup>) \* área del polígono
- **Valor total de reposición** = (área total construida de la zona) \* índice de precios unitarios por m<sup>2</sup> promedio de la zona; este valor se deberá convertir a precio por Km<sup>2</sup>.

Ecuación 3. Valor de uso.

$$\text{Vuso (US\$)} = \text{CM (km}^2\text{)} * \text{IVE (US\$/km}^2\text{)}$$

Donde:

Vuso: valor expuesto de cada uso o valor total de reposición  
CM: cantidad de área construida para cada uso  
IVE: índice de precios unitarios por Km<sup>2</sup> promedio de la zona

- **Ocupación** = (índice promedio de ocupación) \* área total construida en la zona; se define en la siguiente forma

Ecuación 4. Ocupación.

$$\text{Ouso (Hab)} = \text{CM [km}^2\text{]} * \text{IH [ Hab/km}^2\text{]} * \text{PO [\%]}$$

Donde:

Ouso: cantidad de personas ocupando un uso, Ocupación  
CM: cantidad de área construida para cada uso  
IH: índice de ocupación para cada uso  
PO: porcentaje de ocupación de cada uso y para cada escenario (día o noche). Si no se tiene este dato se puede definir este valor como uno (1) pensando en una ocupación total ya sea en el día o en la noche.

Con base en este proceso en la Tabla 72. Indicadores para el modelo de exposición para centros poblados. se resume la información que se requiere para obtener los índices requeridos para emplear para el cálculo del modelo de exposición.

Tabla 72. Indicadores para el modelo de exposición para centros poblados.

Polígono	Área (km <sup>2</sup> )	Tipo de Uso y cobertura	CM (Km <sup>2</sup> /Tip o de uso)	IVE (\$US/km <sup>2</sup> )	IH (HAB/k m <sup>2</sup> )	PO%	V uso (\$Us)	Ouso (Hab)
----------	-------------------------	-------------------------	------------------------------------	-----------------------------	----------------------------	-----	--------------	------------



		(Corine Land Cover)	Land						
ZHCP1	4.3	NÚCLEOS URBANOS	2.2	27,131,340.687	13.996	1	13996.3	30763.8	
ZHCP2	0.5	NÚCLEOS URBANOS	0.3	\$215,639,485	18.27	1	17320.0	5854.2	
ZHCP3	1.3	NÚCLEOS URBANOS	0.0	\$1,376,729	3.21	1	18276.6	12490.2	
ZHCP4	0.4	NÚCLEOS URBANOS	0.3	9580288.2	17.32	1	3212.2	989.0	

Fuente: Elaboración propia.

### 7.7.2.2 Para las zonas rurales

Estos indicadores económicos y de desarrollo se obtendrán para la fecha estimada o escenario de amenaza definido para las zonas productivas o áreas estratégicas generadores de servicios ambientales. Este indicador se puede obtener a partir del precio estimado por Ha en cada zona (Tabla 73 y Tabla 74). Las áreas en las cuales se presenten ecosistemas estratégicos, zonas de reserva o áreas protegidas serán excluidas de este análisis por estar por fuera de los alcances de este trabajo su valoración, estas últimas se tendrán en cuenta en el análisis de fragilidad.

Tabla 73. Precios estimados para los pastos en la cuenca Río Turbo-Currulao.

Valoración mejorado	pasto	Valor establecimiento pasto	Valor utilidad esperada en un año	Valor a pagar ha	Bueno 100%	Regular 70%	Malo 40%
Sistema propósito	doble	2,240,617	200,734	2,441,351	2,441,351	1,708,946	976,541
Sistema ceba		2,240,617	193,313	2,433,930	2,433,930	1,703,751	973,572
Promedio		2,240,617	197,024	2,437,641	2,437,641	1,706,349	975,056
Valoración natural	pasto						
Sistema propósito	doble	1,120,309	100,367	1,220,675.7	1,220,676	854,473	488,270
Sistema ceba		1,120,309	96,657	1,216,965.2	1,216,965	851,876	486,786
Promedio			98,512	1,218,820.5	1,218,820	853,174	487,528

Fuente: Gobernación de Antioquia (2015).

Tabla 74. Precios estimados para los cultivos de plátano tradicional en la cuenca Río Turbo-Currulao.

Edad cultivo	Estado de desarrollo	de	Valor a pagar Ha (\$)	Valor a pagar por árbol Planta \$	Bueno 100%	Regular 70%	Malo 40%
0	Establecimiento		7,817,400.00	7,817.40	7,817.40	5,472.18	3,126.96
1 al 2	Sostenimiento		10,550,088.00	10,550.09	10,550.09	7,385.06	4,220.04
3 al 5	Producción		13,340,988.00	13,340.99	13,340.99	9,338.69	5,336.40

Fuente: Gobernación de Antioquia (2015).

- **Valor de reposición para las zonas productivas (agrícolas, ganaderas, etc.) o áreas estratégicas generadores de servicios ambientales:** el cual se puede



calcular con base en los índices de precio por Ha estimados para Colombia multiplicándolo por el área del polígono calculado. La valoración misma del bien no incluye el valor del terreno en el cual está localizado. Corresponde únicamente a un valor de reposición de la pérdida del mismo.

Como **indicadores de exposición para zonas rurales se tiene el Vuso**, para el cual se requieren por lo menos:

- **Área total zonas productivas (agrícolas, ganaderas, etc.) o áreas estratégicas generadores de servicios ambientales** = (área ocupada promedio por tipo de uso/Ha)\* área del polígono
- **Valor total de reposición** = área total zonas productivas (agrícolas, ganaderas, etc.) o áreas estratégicas generadores de servicios ambientales de la zona\* índice de precios unitarios por Ha promedio de la zona.

Ecuación 5. Valor expuesto de cada uso.

$$\text{Vuso (US\$)} = \text{CM (Ha)} * \text{IVE (US\$/Ha)}$$

Donde:

Vuso: valor expuesto de cada uso o valor total de reposición

CM: cantidad de área dedicada a cada uso (Ha)

IVE: índice de precios unitarios por Ha promedio de la zona

Tabla 75. Indicadores para el modelo de exposición para zonas rurales.

Polígono	Área (KM2)	Tipo de cobertura y Uso (Corine Land Cover)	CM (KM2/Tipo de uso)	IVE (\$US/Ha)	V uso (\$Us)
ZHCP1	4.3	NÚCLEOS URBANOS	2.2	215639485.1	13996.3
ZHCP2	0.5	NÚCLEOS URBANOS	0.3	111292069.2	17320.0
ZHCP3	1.3	NÚCLEOS URBANOS	0.0	215639485.1	18276.6
ZHCP4	0.4	NÚCLEOS URBANOS	0.3	9580288.2	3212.2

Fuente: Elaboración propia.

Para la espacialización del valor de uso se normalizaron los datos obtenidos en donde 0 son aquellos suelos que tienen un bajo costo y 1 zonas con altos costos, establecido por zonas cuya configuración está directamente relacionada con la disposición de la información sobre la valoración económica de los elementos expuestos, y que pueden llegar a componer espacios geográficos de una región con características similares en cuanto a su precio (DECRETO 1420, 1998)





FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

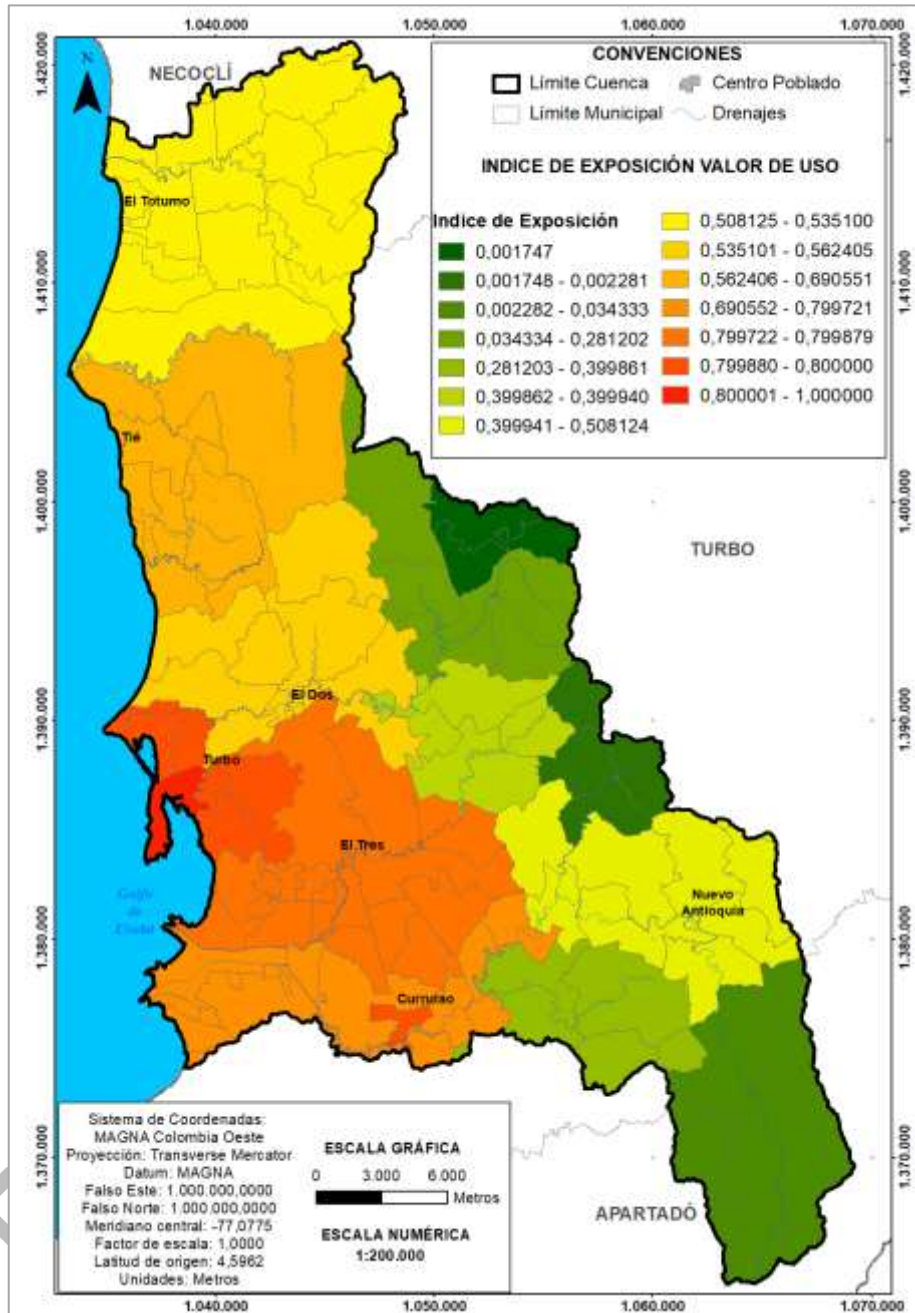


Figura 125. Espacialización de valor de uso para la cuenca Río Turbo-Currulao.  
Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la ocupación de uso (OU) que corresponde a la cantidad normalizada de habitantes expuestos, que al igual que el valor físico, su zonificación depende de la disposición de la información de acuerdo con el área de evaluación y las características de su configuración espacial con valores de densidad de población por hectáreas estandarizados en valores entre 1-0 (ver Figura 104).

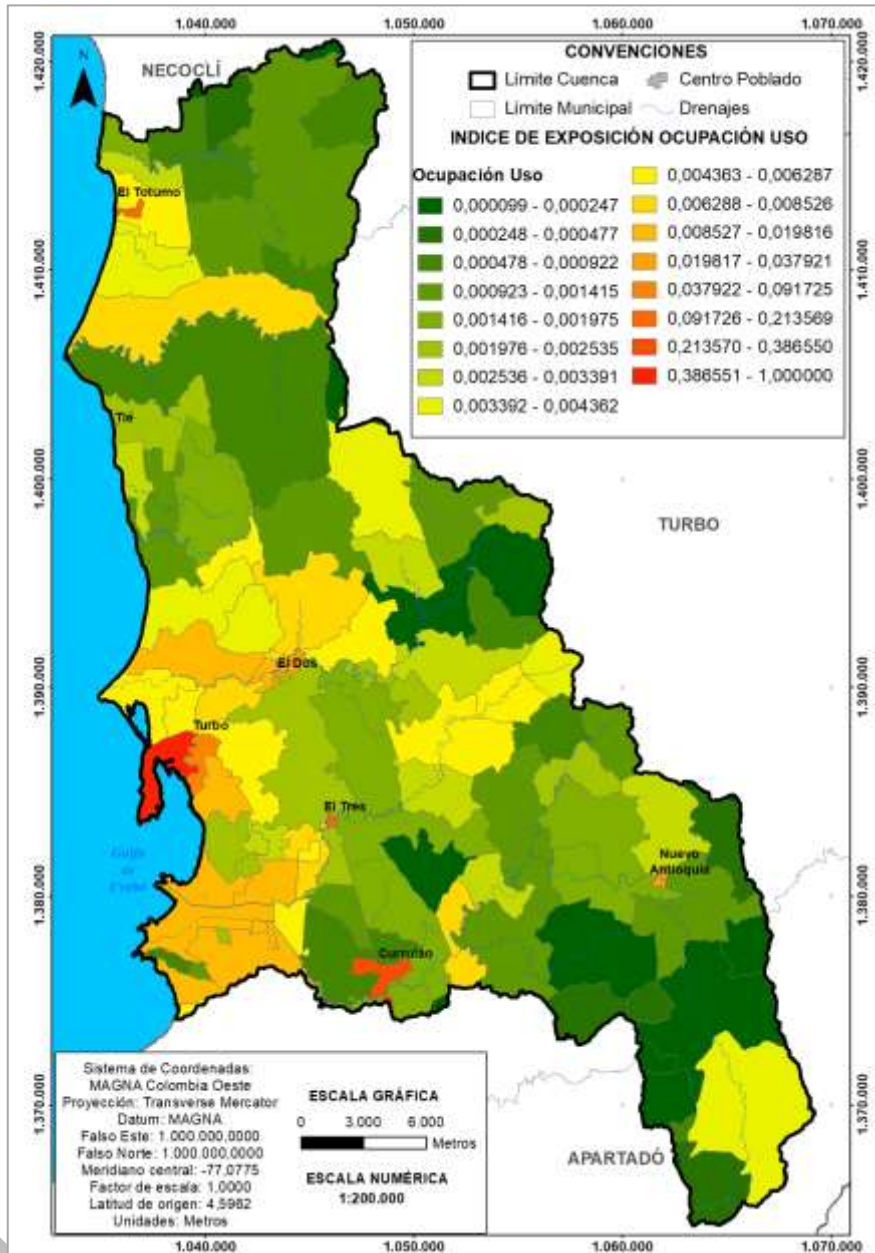


Figura 126. Espacialización de valor humano u ocupación.  
Fuente:Elaboración propia

Una vez analizada la exposición en función de los indicadores o estimativos presentados anteriormente, es posible estimar los valores expuestos totales para lograr una cuantificación global de cifras. Igualmente es posible obtener una serie de indicadores a nivel de la cuenca que permiten comparar zonas homogéneas e identificar posibles problemas gruesos con los estimativos realizados. Estos indicadores permiten tener un modelo consistente y calibrado entre cuencas.

El porcentaje de daño o índice de pérdidas (IP) lo define Leone, como:



Ecuación 6. Índice de pérdida.

$$IP = \frac{Vi - Vf}{Vi}$$

Donde,

*Vi*: Valor inicial del bien (antes del evento).

*Vf*: Valor final del bien (después del evento o valor de reposición (Vuso)).

El índice de pérdidas (IP), está afectado por los niveles de confianza de la valoración y varía entre 0 y 1. Los elementos expuestos se definieron a partir de los siguientes parámetros, que califican el elemento:

- Valor físico o costo de reposición del bien
- Valor humano o número de ocupantes estimado en el área de análisis
- Clasificación del bien

Para analizar la exposición o susceptibilidad física, los indicadores más adecuados son los que reflejan población, activos medios de sustento, inversiones, producción, patrimonio y actividades humanas.

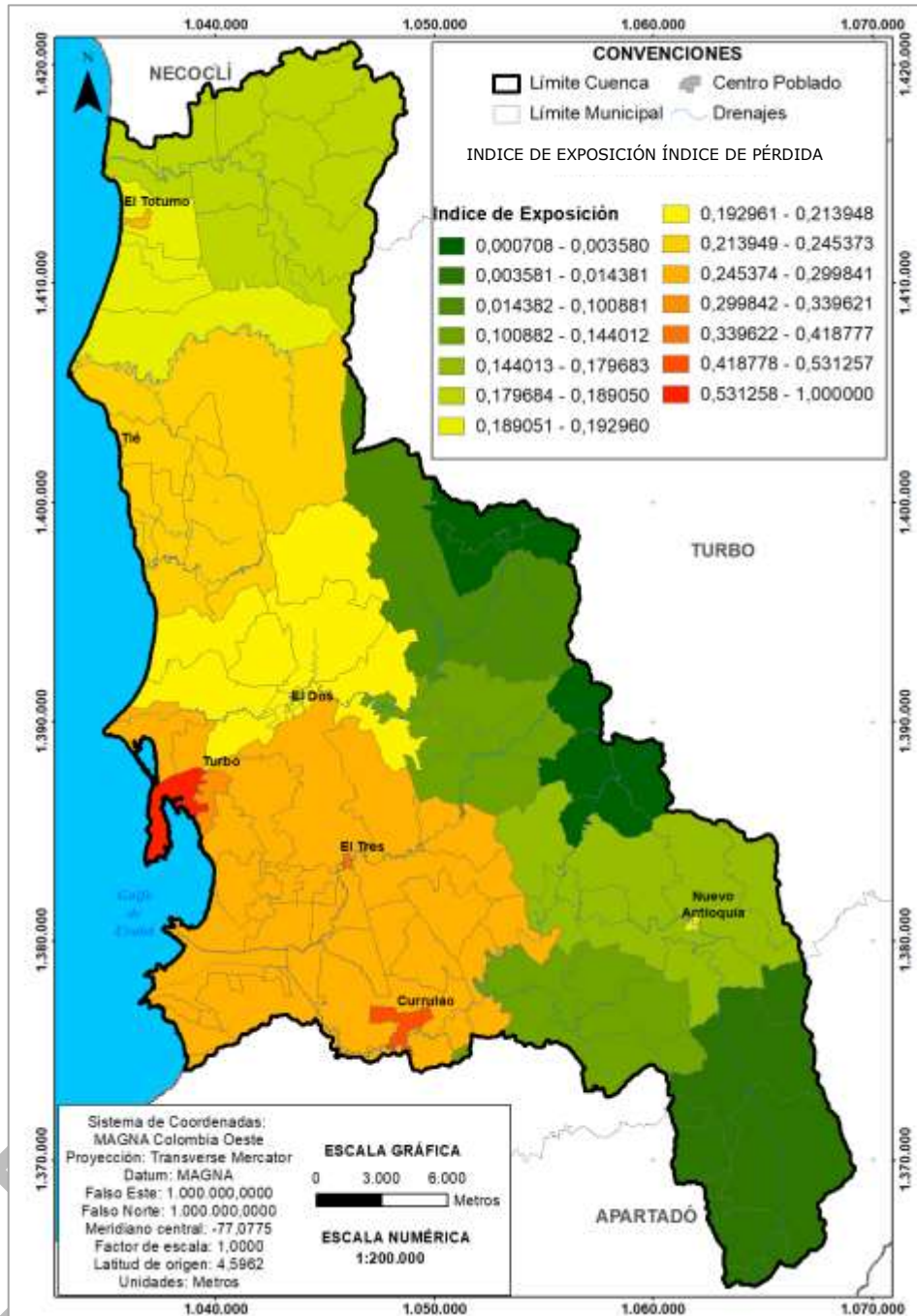


Figura 127. Espacialización del índice de exposición.  
Fuente: Elaboración propia

### 7.7.3 Análisis de fragilidad (IF)

Bajo el Modelo de Indicadores de Vulnerabilidad, la vulnerabilidad se plantea como un factor interno de riesgo y se relaciona con la exposición, con la susceptibilidad física de los elementos expuestos a ser afectados por la ocurrencia de un desastre o fragilidad



física, la fragilidad social y ecosistémica y la resiliencia de las comunidades para responder ante un desastre o absorber su impacto.

La fragilidad hace referencia a la predisposición de los elementos expuestos a ser afectados por la ocurrencia de un evento por su fragilidad física, social o ecosistémica como lo muestra la

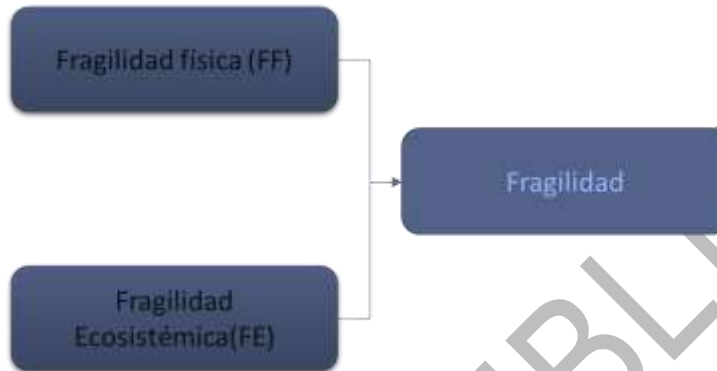


Figura 128. Variables que influyen la fragilidad de función a la vulnerabilidad.  
Fuente: Elaboración propia

- **Fragilidad Física (Ff)**

La fragilidad física o susceptibilidad física se evaluará en la misma forma para los eventos amenazantes: movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales, y será uno o cero si el elemento expuesto está ubicado en la zona de amenaza alta o baja respectivamente. Es con base en este criterio entre otros, que la Ley 388 de 1997, identifica las zonas de amenaza como determinante ambiental. En la Tabla 76 se presenta el índice de fragilidad física propuesta para los POMCA.

Tabla 76. Fragilidad física

Nivel de Amenaza	Índice de Fragilidad física
Alta	1
Media	0.5
Baja	0

Fuente: Elaboración propia.

Bajo dichos supuestos, se presenta fragilidad física en función expresa y exclusiva de cada amenaza en la Figura 129, Figura 130 la Figura 131 y Figura 132, la cual influye en la estimación de las vulnerabilidades presentadas más adelante para cada fenómeno amenazante específico a saber: movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales e incendios forestales.



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

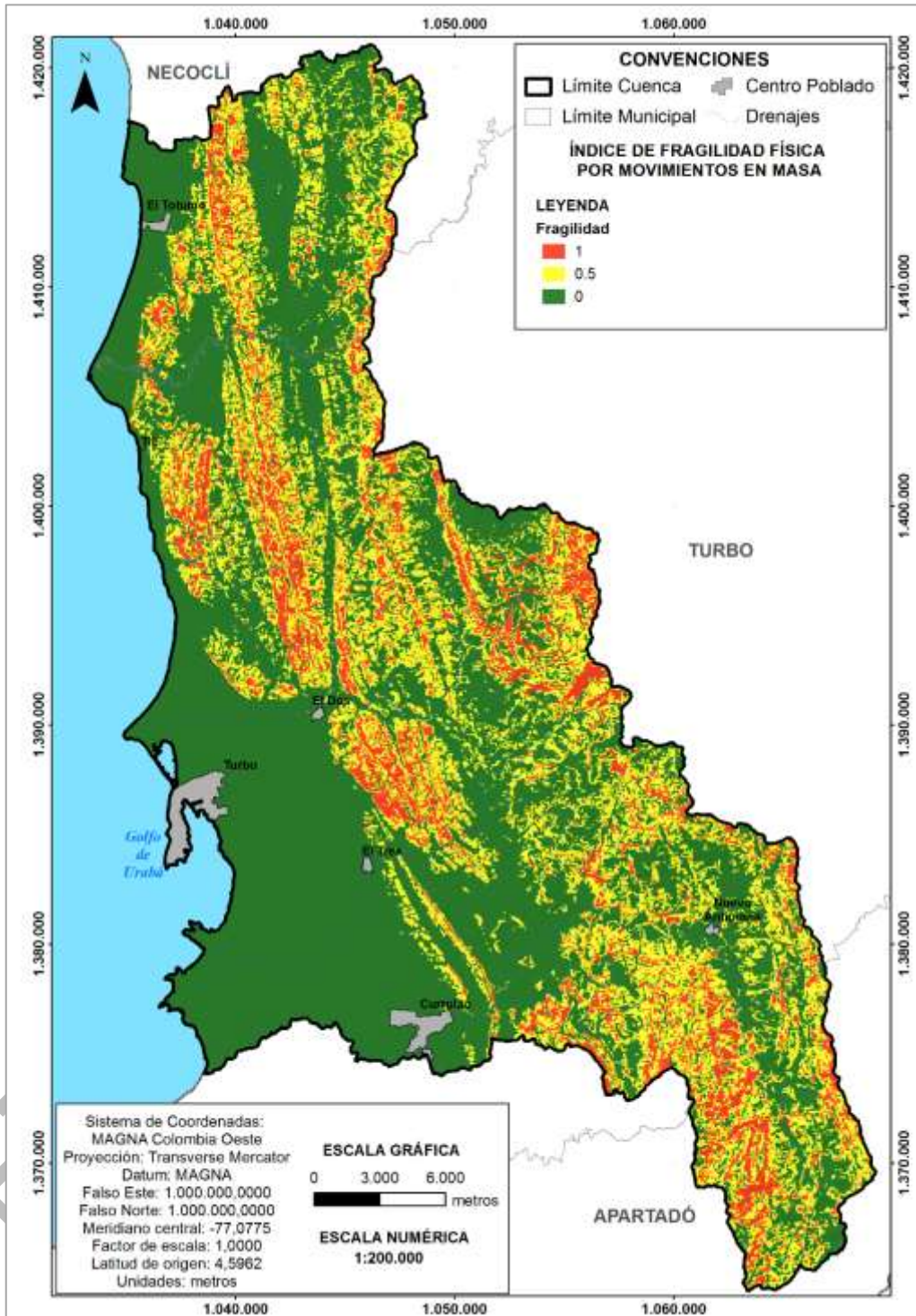


Figura 129. Fragilidad física por movimientos en masa.  
Fuente: Elaboración propia.



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

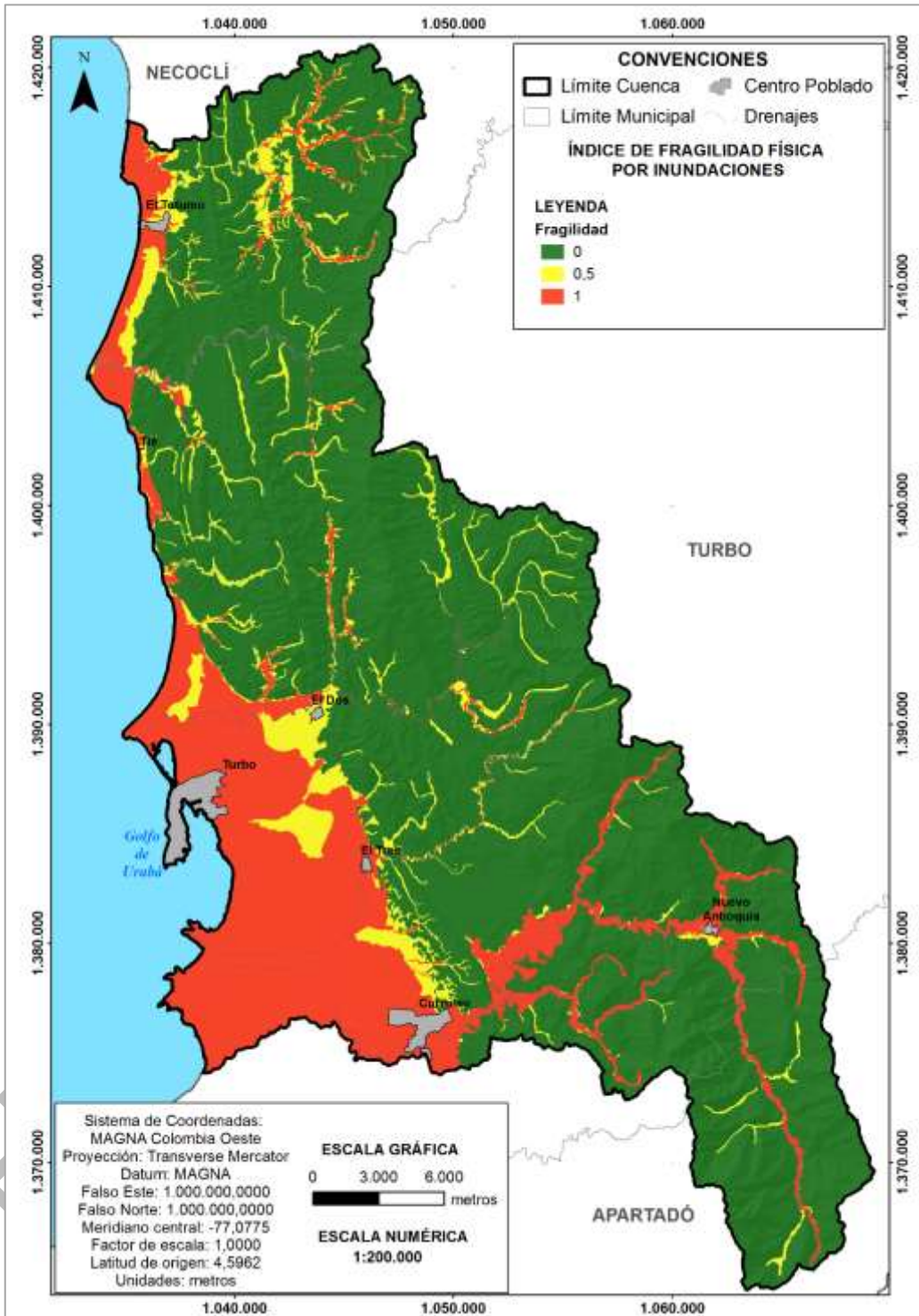


Figura 130. Fragilidad física por inundaciones  
Fuente: Elaboración propia.



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

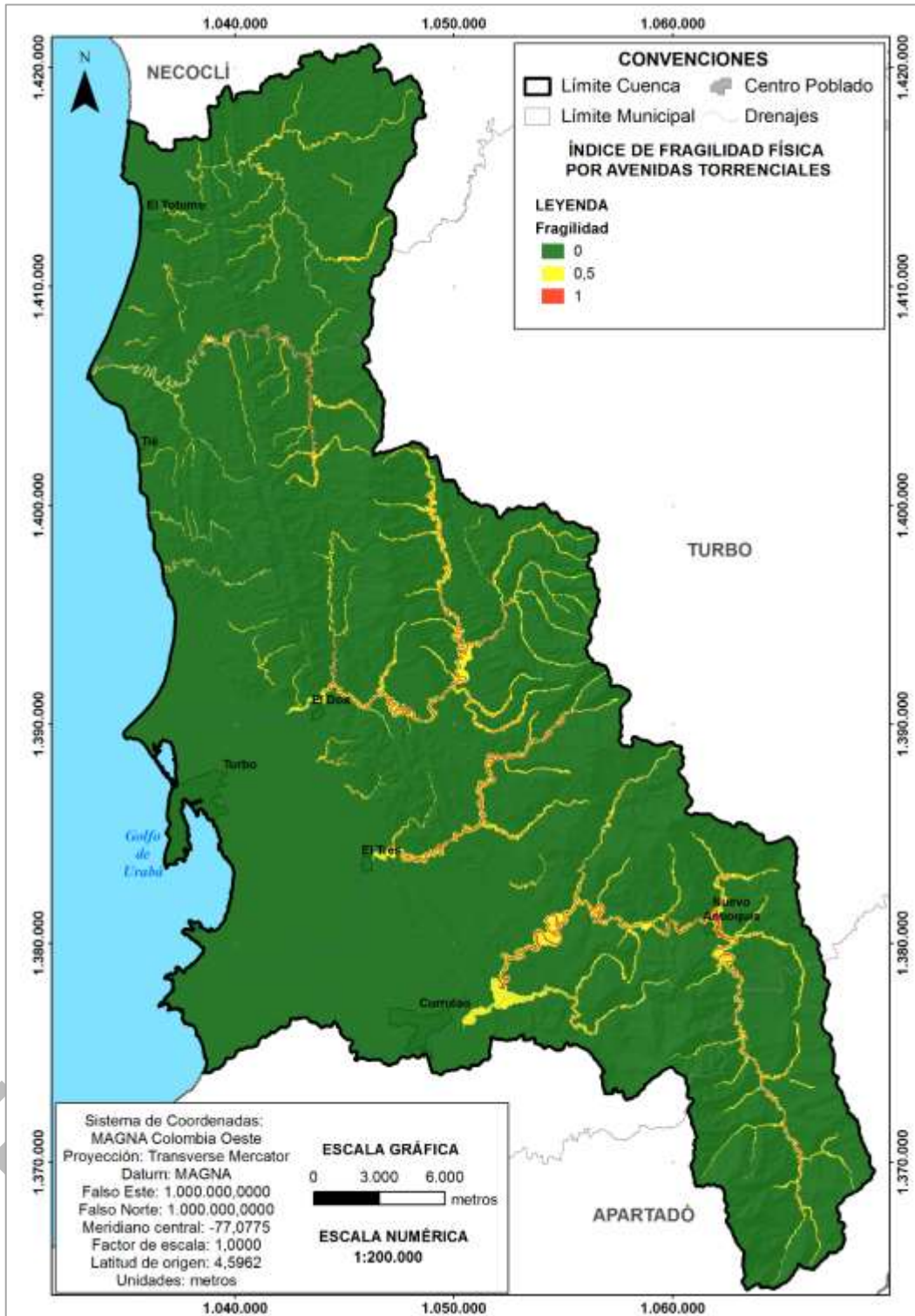


Figura 131. Fragilidad física por avenidas torrenciales.  
Fuente: Elaboración propia.



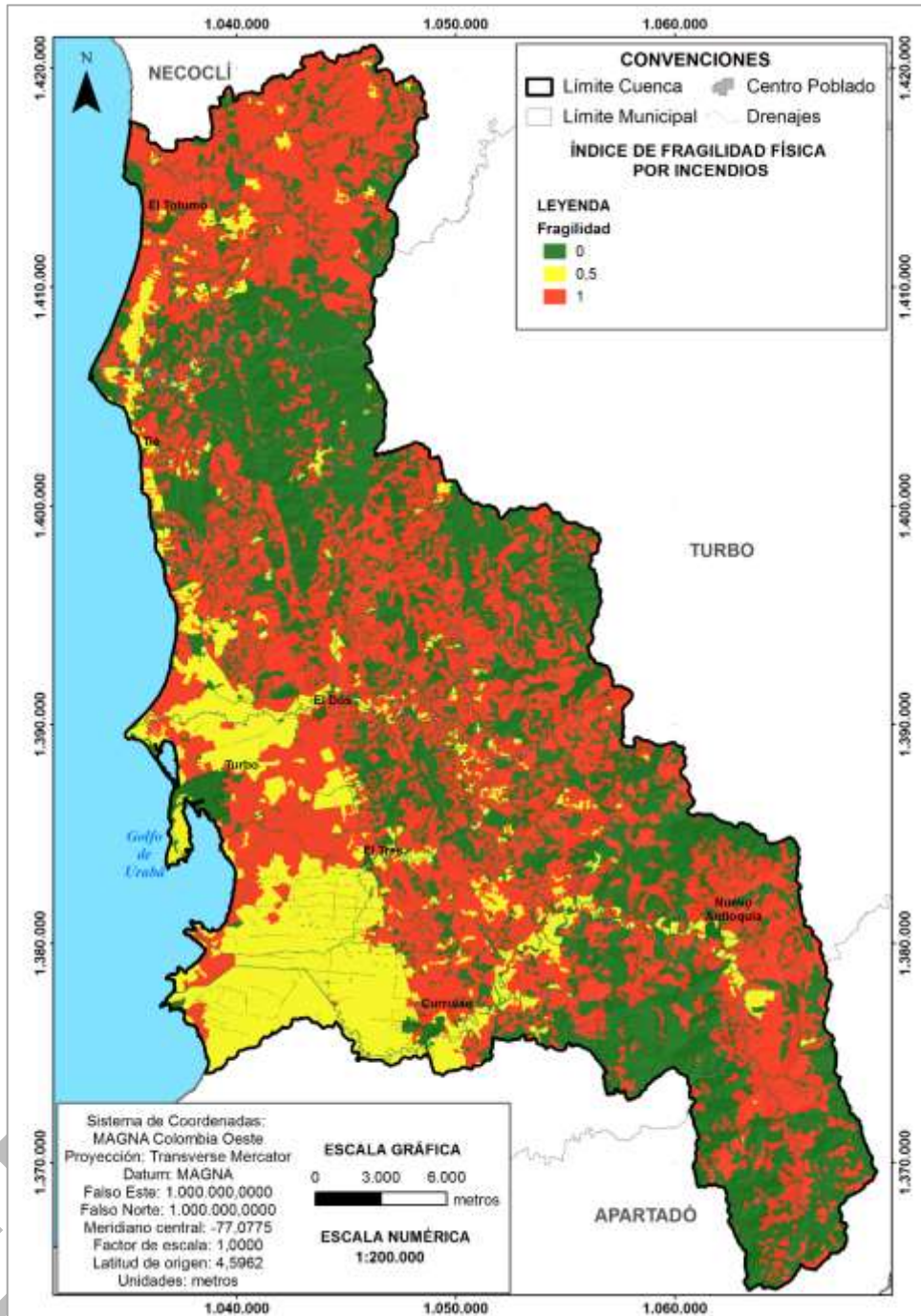


Figura 132. Fragilidad física por incendios forestales.  
Fuente: Elaboración propia

- **Fragilidad sociocultural**

La adopción de este índice es una adaptación a la metodología de evaluación de la vulnerabilidad presentada por la Universidad Nacional (2013). En la evaluación de la



fragilidad sociocultural se debe tener en cuenta que las coberturas que indican la presencia de los asentamientos humanos son el tejido urbano y el tejido urbano discontinuo. La fragilidad socio cultural es la suma del índice de Calidad de Vida (ICV) que se presenta en la Tabla 77 y el índice de fragilidad cultural que se muestra en la Tabla 78.

El primer índice (

Tabla 79) y con fines de POMCAS se calcula con base en el uso de la variable Índice de Condiciones de Vida (ICV), información disponible en el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y en el Sistema de información geográfica para la planeación y el ordenamiento territorial nacional (SIGOT).

Se optó por esta variable porque el ICV está vinculado con la susceptibilidad desde los niveles de marginalidad o exclusión social. El Índice de Calidad de Vida (ICV), refleja las condiciones socioeconómicas de los hogares urbanos y rurales de las áreas en estudio en cuanto a las variables de análisis que están relacionadas con educación y capital humano, calidad de la vivienda y tamaño y composición del hogar. El mínimo normativo garantizado por la Constitución es de 67 (Fondo Adaptación, 2014). La Tabla 77 muestra los valores y las categorías para la evaluación del ICV. Entre más bajo sea el valor del ICV la fragilidad será mayor. El índice de calidad de vida (ICV) varía entre 0 y 0.5. En la Figura 133 se espacializa el índice de calidad de vida

La dimensión cultural se incluye de forma indirecta puesto que existen coberturas, que aunque no están ocupadas por población, se constituyen en patrimonio natural o en áreas apropiadas para el desarrollo de actividades de aprovechamiento del espacio público o de fuentes de subsistencia de comunidades, como por ejemplo los bosques, las áreas verdes, los cuerpos de agua, entre otros; para ello es necesario que el grupo de expertos defina las áreas de interés o patrimonio natural propios de la región en estudio.

Las áreas que se definan como de dimensión cultural y que definen la “fragilidad cultural” se deben determinar a través del juicio de expertos, si es positivo en alguno de los casos anteriores el valor de la calificación es 0,5 pero si es negativo se calificará con 0,0.

Tabla 77. Valores ICV y categorías para la evaluación de coberturas “tejido urbano” y “tejido urbano discontinuo”.

ICV y fragilidad sociocultural		
Valor	ICV	Categoría
0,1	Mayor de 80	Baja
0,25	Mayor de 67 y menor que 80	Media
0,5	Menor de 67	Alta

Fuente: Universidad Nacional de Colombia (2013).

Dados estos aspectos, a continuación, se presentan las generalidades.

Tabla 78. Categorías para la evaluación de la “fragilidad cultural”.

Fragilidad cultural (Fc)		
Valor	Áreas de Patrimonio Natural o Dimensión cultural	Categoría fragilidad



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

0,0  
0,25  
0,5

Baja  
Media  
Alta

Fuente: Universidad Nacional de Colombia (2013).

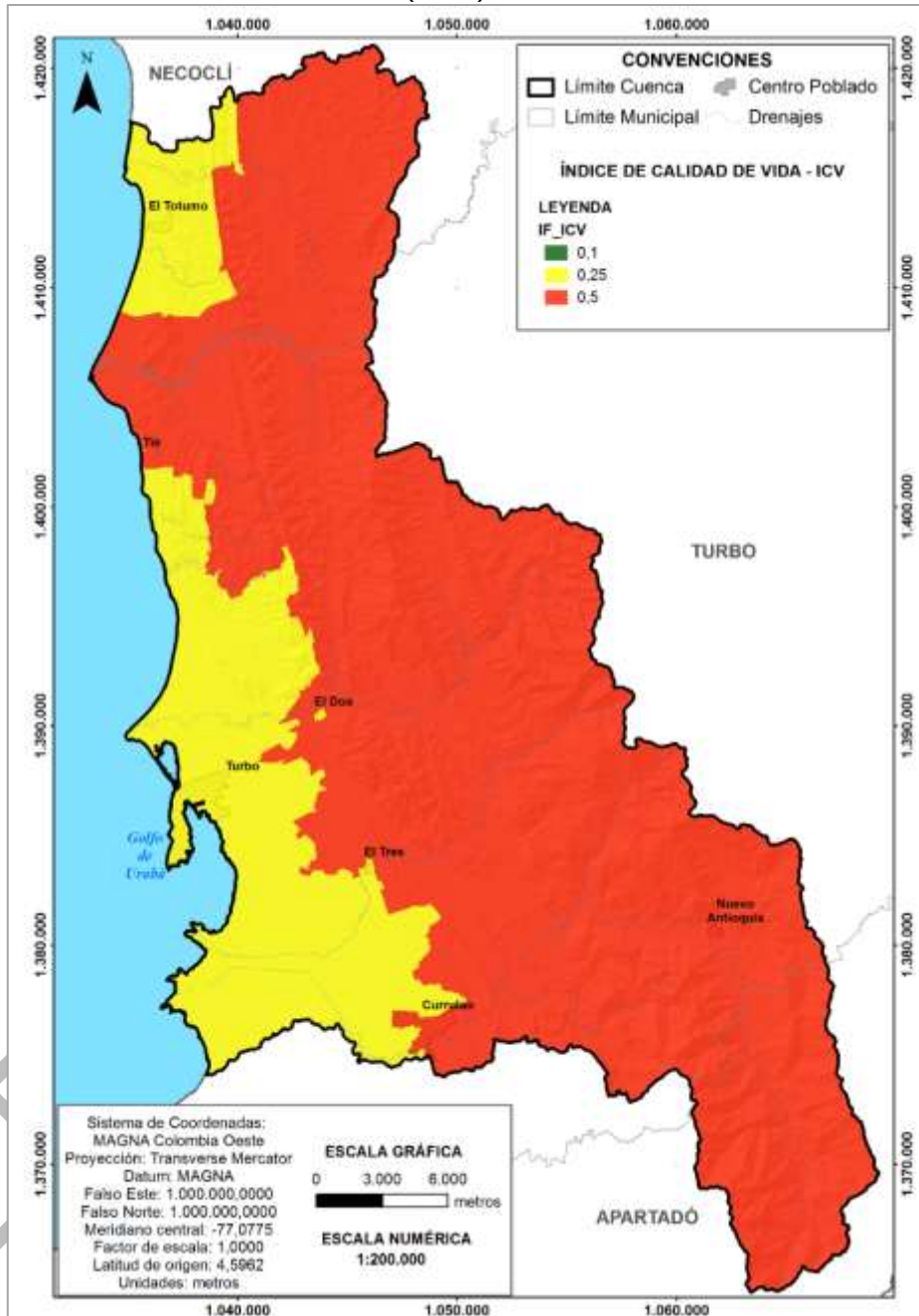


Figura 133. Espacialización del índice de calidad de vida.  
Fuente: Elaboración propia

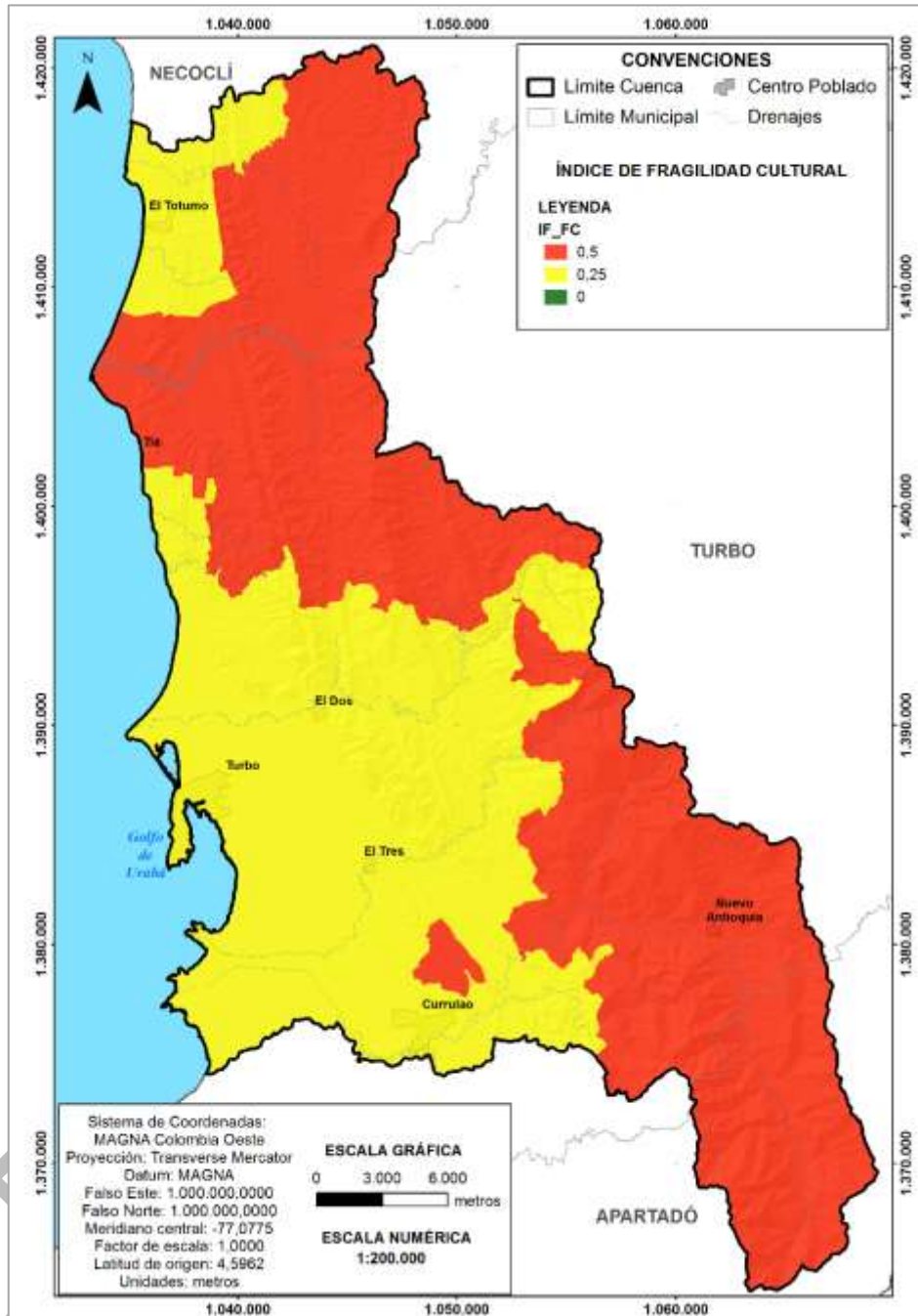


Figura 134. Índice de fragilidad cultural.  
Fuente Elaboración propia

Otro coeficiente que se tuvo en cuenta para el cálculo del índice de fragilidad sociocultural es el coeficiente de GINI, que mide la concentración de riqueza en la población, para este caso se cuenta con su versión de tierras calculado por el IGAC (2012), el cual mide las disparidades en la tenencia de tierras.

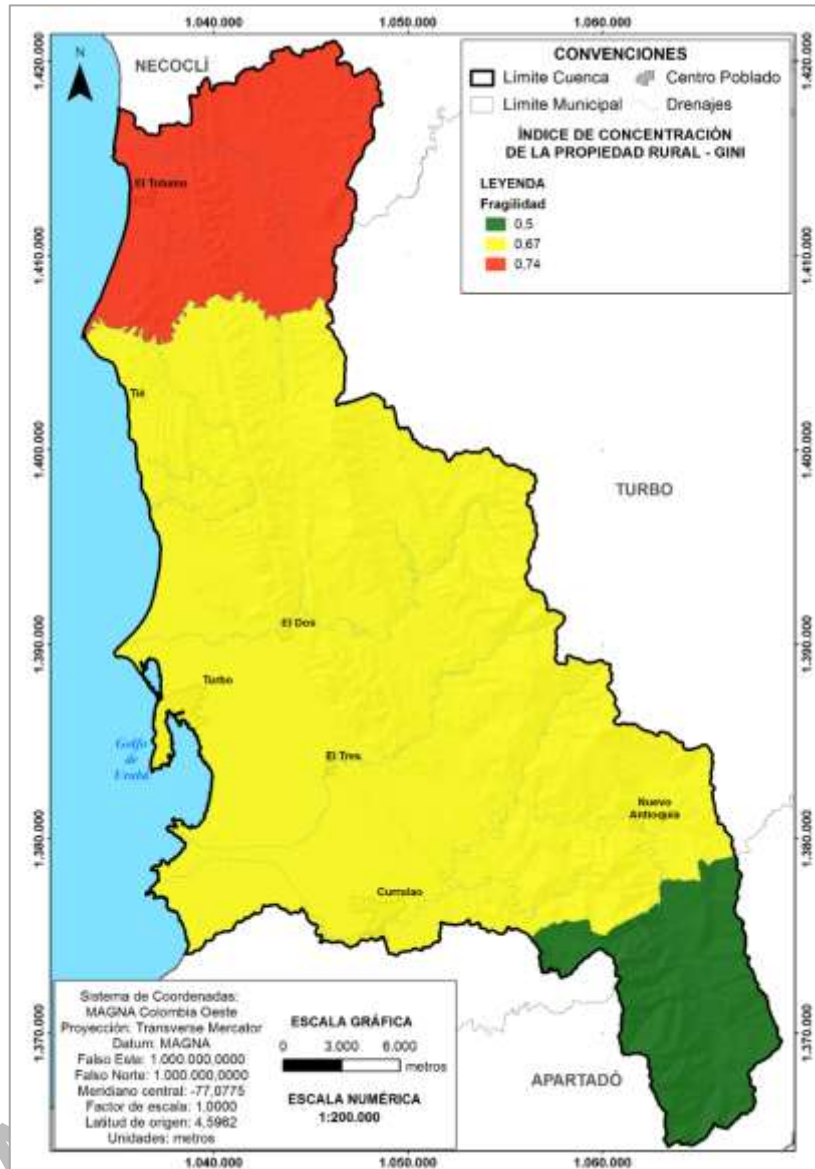


Figura 135. Espacialización del índice de GINI de tierras.  
Fuente: Elaboración propia

La región de Urabá se ha caracterizado por haber estado marcada por casos de violencia y arraigadas disparidades sufridas por su población. Para el municipio de Apartadó se observa una concentración cercana al 50%, lo que demuestra una mejoría en las disparidades. El municipio de Necoclí exhibe una tendencia creciente en la concentración de tierras, algo que confirma los análisis descritos por el PNUD en el perfil productivo elaborado para el municipio. El municipio de Turbo presenta una tendencia a mejorar la tenencia, a pesar de su alta concentración (sobre el 50%), algo que da fe sobre la competitividad que caracteriza la región central del Urabá.

También se tuvo en cuenta para el cálculo de la fragilidad sociocultural el grado de escolaridad. En el área de la cuenca se observa que la población tiene nivel educativo



de básica primaria y básica secundaria. Igualmente, se observan valores altos en la población que no tiene ningún nivel educativo. Los niveles de preescolar son bajos para todos los municipios, lo que significa que la mayoría de la población obvia este nivel e inicia su formación educativa con básica primaria (grado 1). El nivel educativo de media técnica presenta bajos porcentajes en la población de la cuenca Turbo-Currulao; asimismo sucede con la educación superior, en la cual solo el 5,6% de los jóvenes de la cuenca inician su carrera técnica o universitaria, así como el normalista el cual es casi nulo. Este valor es importante pues el nivel de escolaridad de la población repercute en las decisiones de la protección de los recursos naturales. En la Figura 136 se espacializa el indicador de no escolaridad, que son valores que van de 15% que significa que dicha área se encuentra dicho porcentaje de descolarización en la población, hasta el 25%.

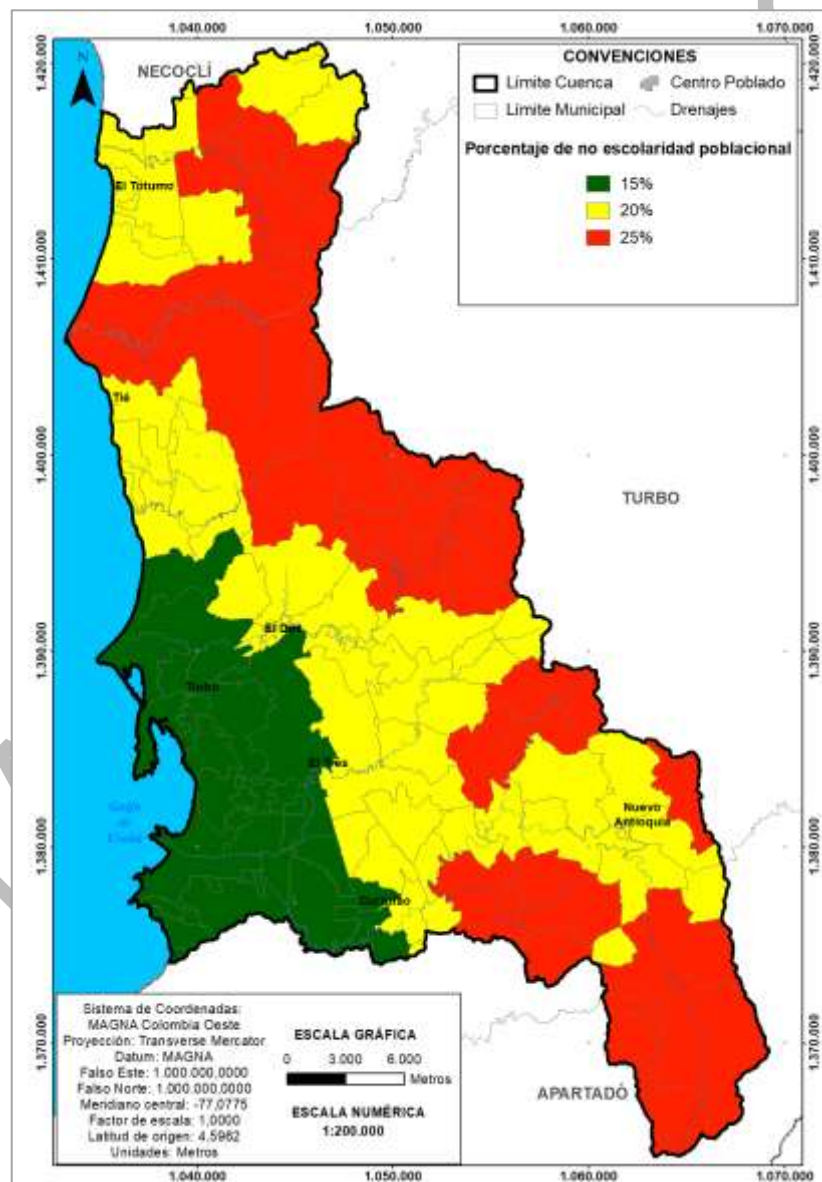


Figura 136. Porcentaje de no escolaridad poblacional.  
Fuente: Elaboración propia



Finalmente, la fragilidad socio cultural se define como la sumatoria de:

$$\text{FRAGILIDAD SOCIOCULTURAL} = \text{CONDICION DE VIDA (ICV)} + \text{DIMENSION CULTURAL (FC)} + \text{GINI Tierras} + \text{No escolaridad}$$

El resultado se observa en la Figura 137

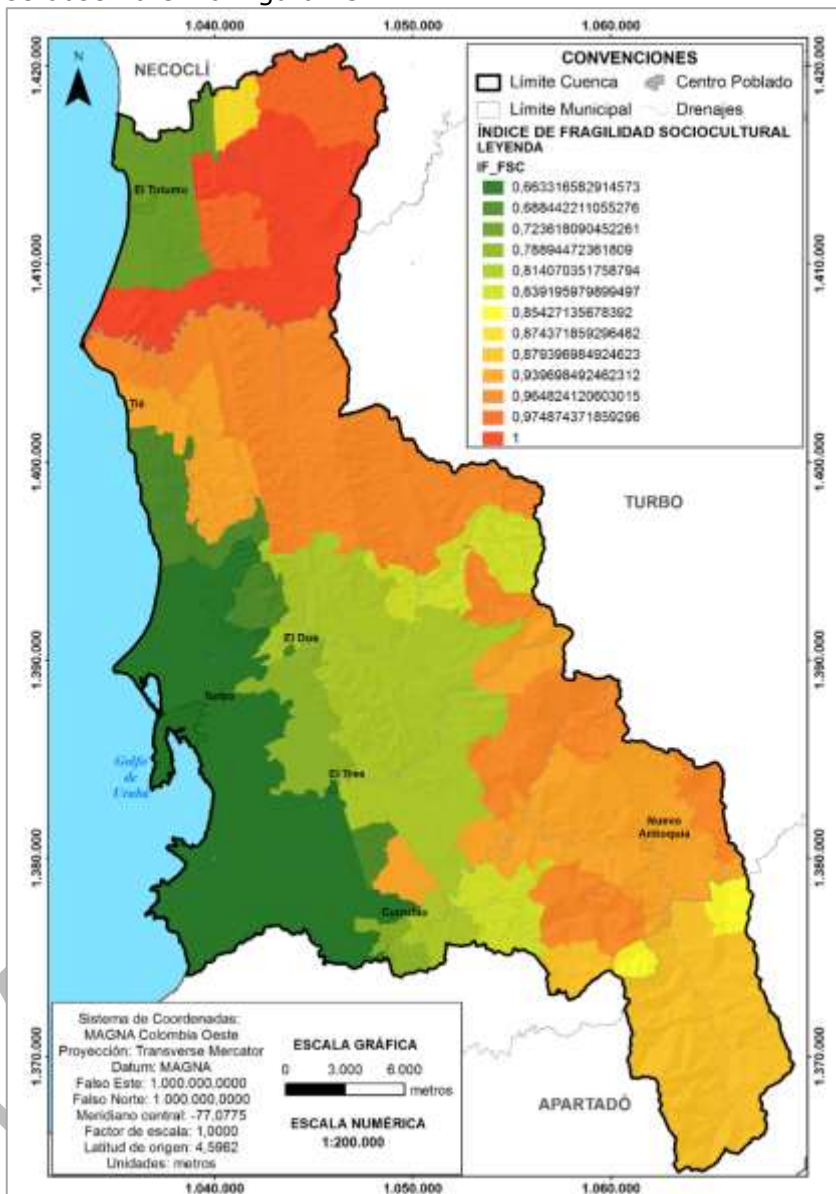


Figura 137. Índice de fragilidad sociocultural.  
Fuente: Elaboración propia

### 7.7.3.1 Fragilidad Ecosistémica (Fe)

Corresponde a las zonas en las que se encuentran expuestos elementos que conforman áreas protegidas, que prestan servicios ambientales o satisfacen necesidades básicas (ver Figura 138).



El índice propuesto varía entre 0 y 1. En caso de que la cobertura esté localizada en un área protegida, el valor de la fragilidad siempre será de 1, por lo que la categoría será alta. Sin embargo, si la cobertura no se encuentra dentro de un área protegida, a juicio de expertos o de acuerdo con categorizaciones existentes en ecosistemas similares; se debe determinar si es un ecosistema estratégico y su evaluación se hará teniendo en cuenta lo siguiente:

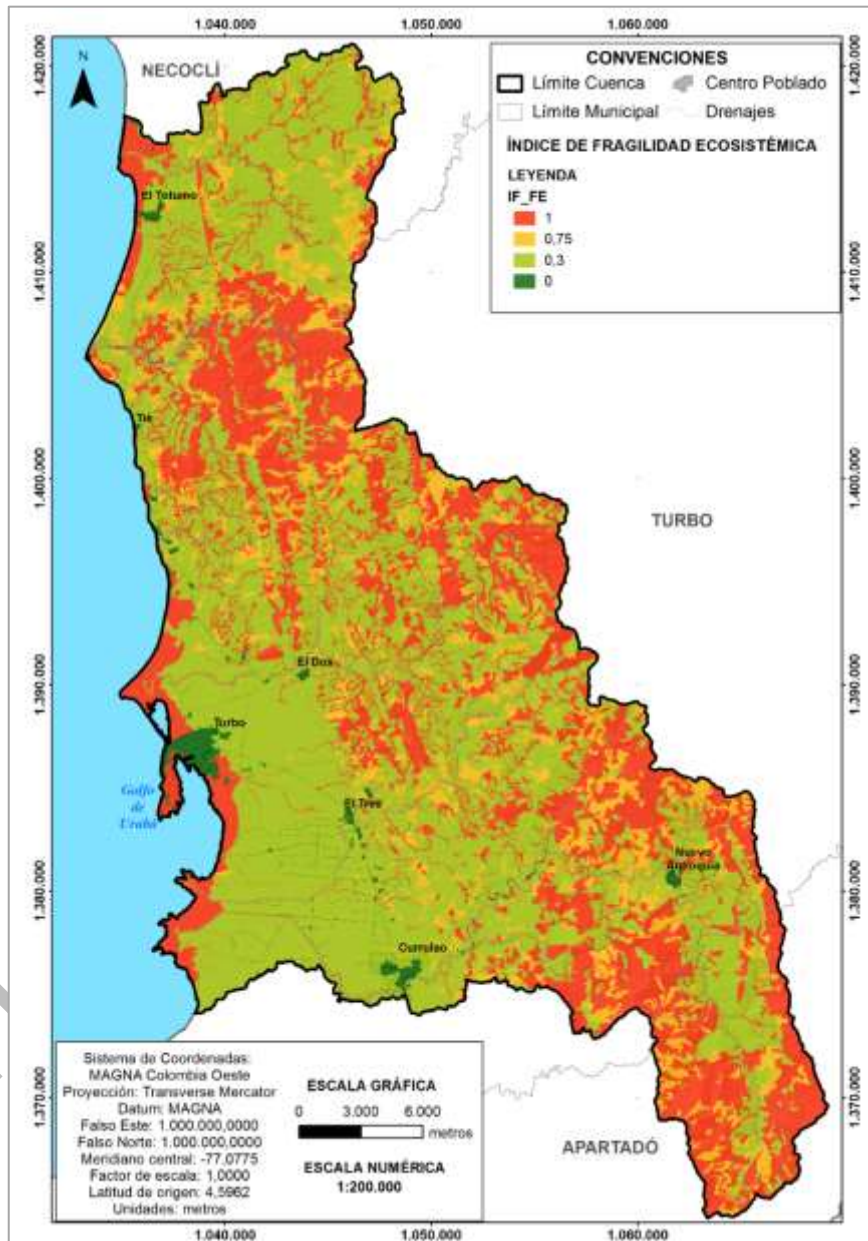


Figura 138. Índice de fragilidad ecosistémica.  
Fuente: Elaboración propia.





Tabla 79. Indicador de la fragilidad de ecosistemas estratégicos.

Valor	Áreas y Ecosistema estratégico	Categoría
1,00	Satisfacción de necesidades básicas y equilibrio natural	Alta
0,75	Productividad y equilibrio natural	Media
0,30	Productividad	Baja
0,00	No constituye un área o ecosistema estratégico en la cuenca	Ninguna

Fuente: Universidad Nacional de Colombia (2013).

De acuerdo con las calificaciones, la fragilidad total se establece de la siguiente forma:

$$\text{FRAGILIDAD} = \text{FRAGILIDAD FÍSICA} + \text{FRAGILIDAD SOCIOCULTURAL} + \text{FRAGILIDAD ECOSISTÉMICA}$$

Tal como se indicó previamente el índice varía entre 0 y 1. Si el valor final es menor a 0.5 la fragilidad es baja. Si el valor final está entre 0.5 y 0.75 la fragilidad es media, y si el valor está entre 0.75 y 1 la fragilidad es alta, tal como aparece en la Tabla 80.

Tabla 80. Indicador de fragilidad propuesto.

Valor	Categoría Índice de Fragilidad
0.75 -1	Alta
0.5-0.75	Media
0 - 0.5	Baja

Fuente: Universidad Nacional de Colombia (2013).

En la Figura 139, es posible observar la fragilidad total en el área de la cuenca Río Turbo-Currulao.



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

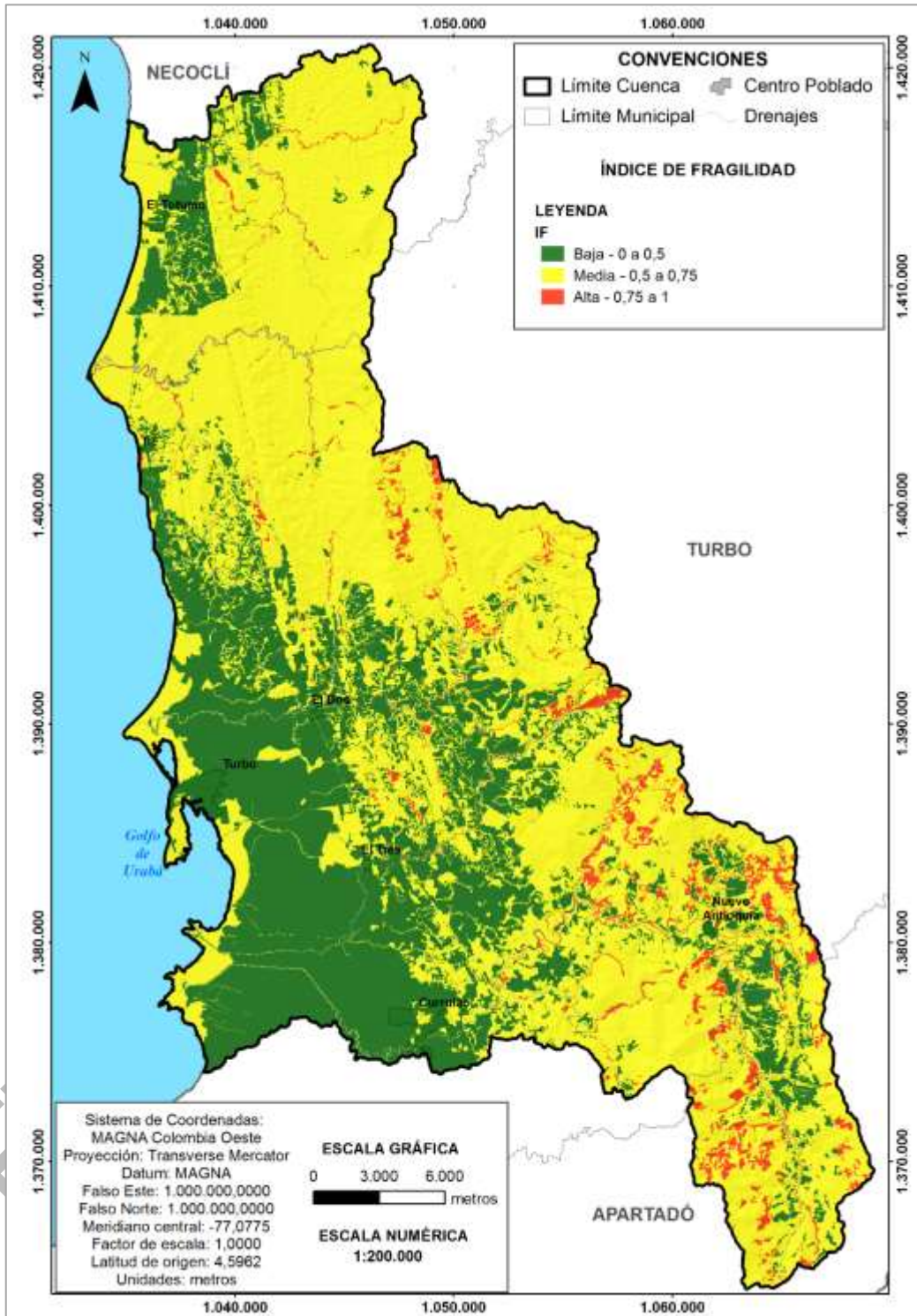


Figura 139. Espacialización del índice de fragilidad para la cuenca Río Turbo-Currulao.  
Fuente: Elaboración propia.



#### 7.7.4 Falta de Resiliencia (IR)

La falta de resiliencia se refiere a la falta de capacidad para enfrentar el impacto de los fenómenos amenazantes y se relaciona con el nivel de desarrollo y la existencia explícita de una gestión del riesgo, esta se puede representar mediante indicadores de gobernabilidad, protección financiera, capital humano, desarrollo tecnológico, etc. Se mide como un índice de falta de resiliencia y varía entre 0 y 1 para este trabajo.

Este indicador aborda la afectación de las actividades productivas y de la infraestructura estratégica de transporte, servicios públicos, etc. Y en segundo lugar, ya que la falta de resiliencia mide la incapacidad de absorber los impactos y recuperarse a ellos, también se evalúa la recuperación en el corto, mediano y largo plazo.

De este modo, la evaluación se realizará con base en los siguientes términos descritos en la Figura 140:

Tabla 81. Indicador de la Falta de resiliencia económica.

Valor	Falta de resiliencia económica	Categoría
1,00	Se localizan las más importantes actividades productivas para el desarrollo económico de la región y/o hay presencia de infraestructura estratégica o vital. Hay destrucción total del medio ambiente físico. Recuperables en el largo plazo.	Muy Alta
0,75	Se desarrollan algunas actividades económicas y se localiza infraestructura estratégica. Daños ambientales muy grandes difíciles de reparar. Recuperable en el mediano plazo.	Alta
0,50	Hay poca actividad productiva o de servicios. Pérdidas ambientales serias pero reparables. La recuperación se puede dar en el corto plazo.	Media
0,25	Hay poca actividad productiva o de servicios locales. Pérdidas ambientales locales. La recuperación se puede dar en el corto plazo.	baja
0,0	No se desarrollan actividades productivas y no hay infraestructura. Elementos ambientales intactos	Cero

Fuente: Universidad Nacional de Colombia (2013).



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

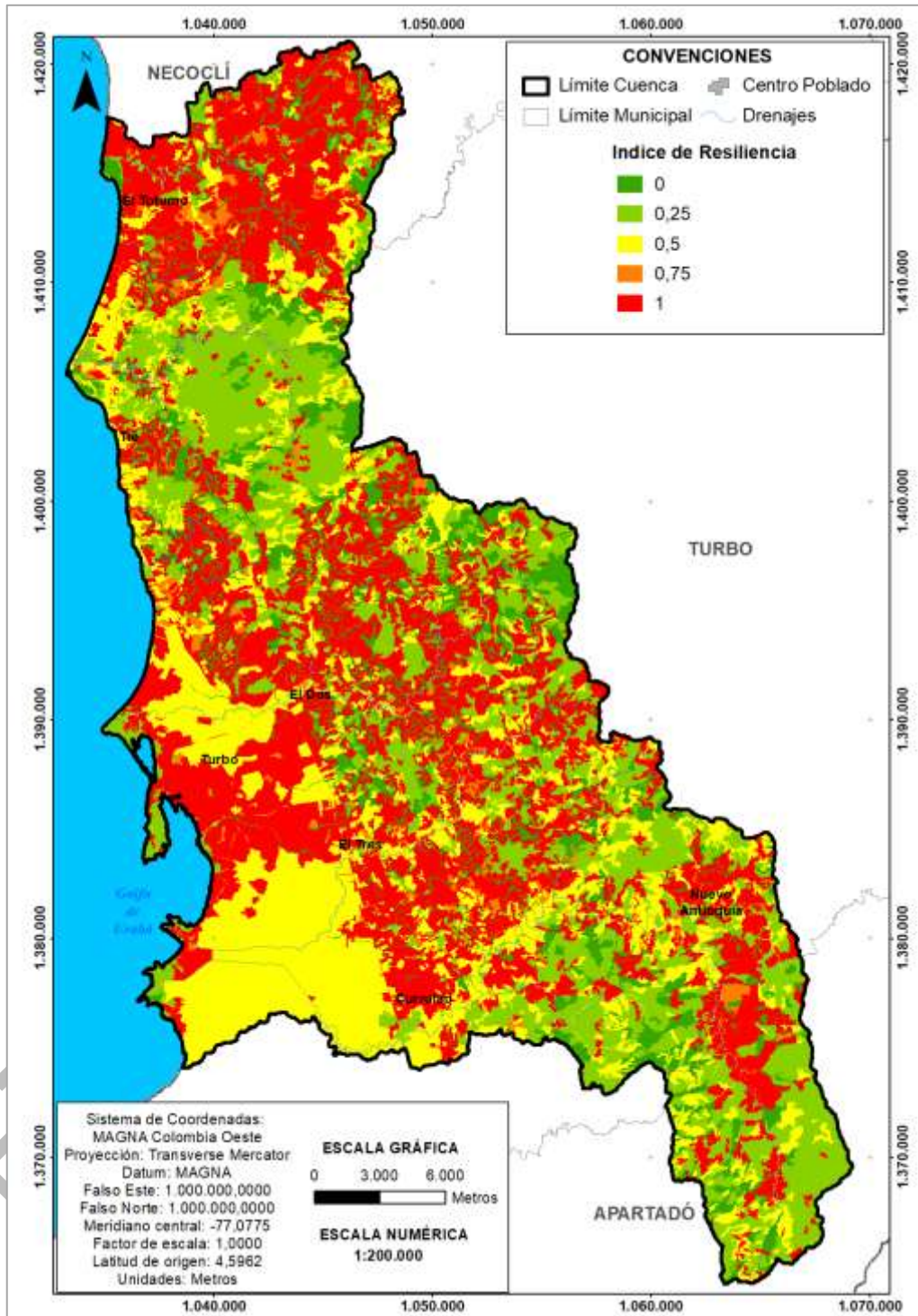


Figura 140. Espacialización del índice de resiliencia para la cuenca Río Turbo-Currulao.  
Fuente: Elaboración propia.



### 7.7.5 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

Se entiende por vulnerabilidad, la capacidad (o falta de ella) de un sistema para soportar los efectos adversos en caso de que un evento amenazante se presente. Así mismo, el concepto está relacionado con la capacidad de recuperación del mismo una vez termine la afectación directa por parte de un fenómeno amenazante (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

En la cuenca Río Turbo-Currulao, el análisis de vulnerabilidad determina el nivel de exposición y la predisposición a la pérdida de un elemento o grupo de elementos identificados frente a una determinada amenaza o evento.

El procedimiento seguido para analizar las características de vulnerabilidad se indica en la Figura 141, el cual se realiza para cada una de las amenazas evaluadas en donde se identifiquen áreas clasificadas en nivel alto (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014, págs. 83-98).

La síntesis metodológica en este caso se concentró en utilizar el método de índices e indicadores.

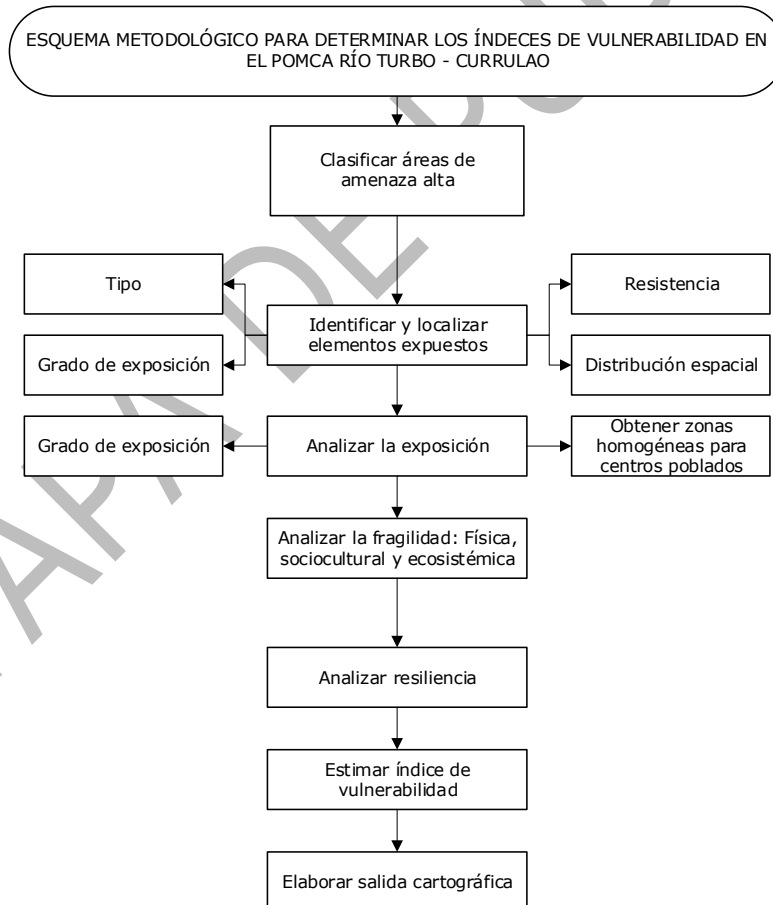


Figura 141. Esquema metodológico seguido para analizar la vulnerabilidad en la Cuenca Río Turbo – Currulao.

Fuente: Recuperado de Fondo Adaptación (2014).



El análisis de vulnerabilidad y riesgo se efectúa solo para las áreas definidas como críticas en la evaluación de susceptibilidad: áreas de susceptibilidad media y alta (movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales). De acuerdo con la escala de análisis, la metodología a utilizar es el método de análisis de exposición y vulnerabilidad en la cuenca Río Turbo-Currulao.

Para efectos del análisis de vulnerabilidad en la cuenca Río Turbo-Currulao, se consideró la predisposición física de los elementos expuestos a sufrir afectación por la ocurrencia de cualquiera de los eventos amenazantes, en los siguientes términos:

1. Clasificación de las áreas de cobertura y uso de la tierra expuesta en las zonas de amenazas altas en la cuenca.
2. Se identificaron y localizaron los elementos expuestos en las zonas de amenaza alta para cada una de las amenazas evaluadas.
3. Se establecieron las características de los elementos expuestos a las amenazas identificadas, en cuanto al tipo de elemento, grado de exposición, resistencia que ofrece el elemento y distribución espacial, mediante metodologías cualitativas y semicuantitativa.

La evaluación de la vulnerabilidad se realizó de acuerdo con el Modelo de Indicadores de Vulnerabilidad (Fondo Adaptación, 2014), con el fin de no dejar excluidos las dimensiones social, económica y ambiental (Universidad Nacional de Colombia, 2013). La vulnerabilidad, también se relaciona con la susceptibilidad física de los elementos expuestos a ser afectados por la ocurrencia de un evento y con la fragilidad social y la falta de resiliencia de las comunidades para responder ante un desastre o absorber su impacto.

Desde el contexto teórico, la vulnerabilidad como componente del riesgo se presenta en la siguiente forma:

Riesgo = Amenaza x Vulnerabilidad

Donde la vulnerabilidad a su vez se define como:

Vulnerabilidad = [Exposición x fragilidad X falta de resiliencia]

Que mediante el uso de índices se convierte en la siguiente expresión:

Vulnerabilidad = (Índice de pérdidas o índice de exposición IP \* Índice fragilidad / índice de resiliencia)

El análisis de la vulnerabilidad y el riesgo de la cuenca Río Turbo-Currulao, se hizo de acuerdo al siguiente diagrama de flujo (tomado del documento de protocolo).

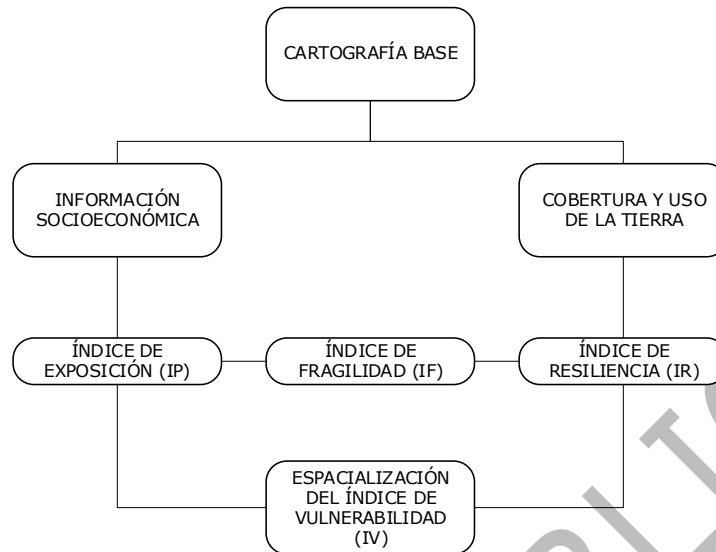


Figura 142. Mapa conceptual para el análisis de la vulnerabilidad en la cuenca Río Turbo-Currulao (tomado del documento de protocolo).  
Fuente: Recuperado de (Fondo Adaptación, 2014).

De acuerdo a lo establecido previamente y luego de evaluados cada uno de los elementos que hace parte del modelo de vulnerabilidad, como lo indica la Ecuación 7, ésta se establece de la siguiente forma:




**Índice de Vulnerabilidad (IV)** = [Índice de Pérdida x Índice de fragilidad \* Índice de falta de resiliencia]

Ecuación 7. Índice de vulnerabilidad.

$$IV = [IP \times IF \times IR] / IP_{max}$$

La clasificación de los niveles de vulnerabilidad propuestos para POMCAS se presenta en la Tabla 82.

Tabla 82. Niveles de vulnerabilidad propuestos para POMCAS.

Valor	Categoría Índice de Vulnerabilidad (IV)	Símbolo
0.75 -1	Alta	
0.30-0.75	Media	
0 - 0.30	Baja	

Fuente: Recuperado de (Fondo Adaptación, 2014).

La Figura 143, muestra la espacialización de la vulnerabilidad en la cuenca en estudio.



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

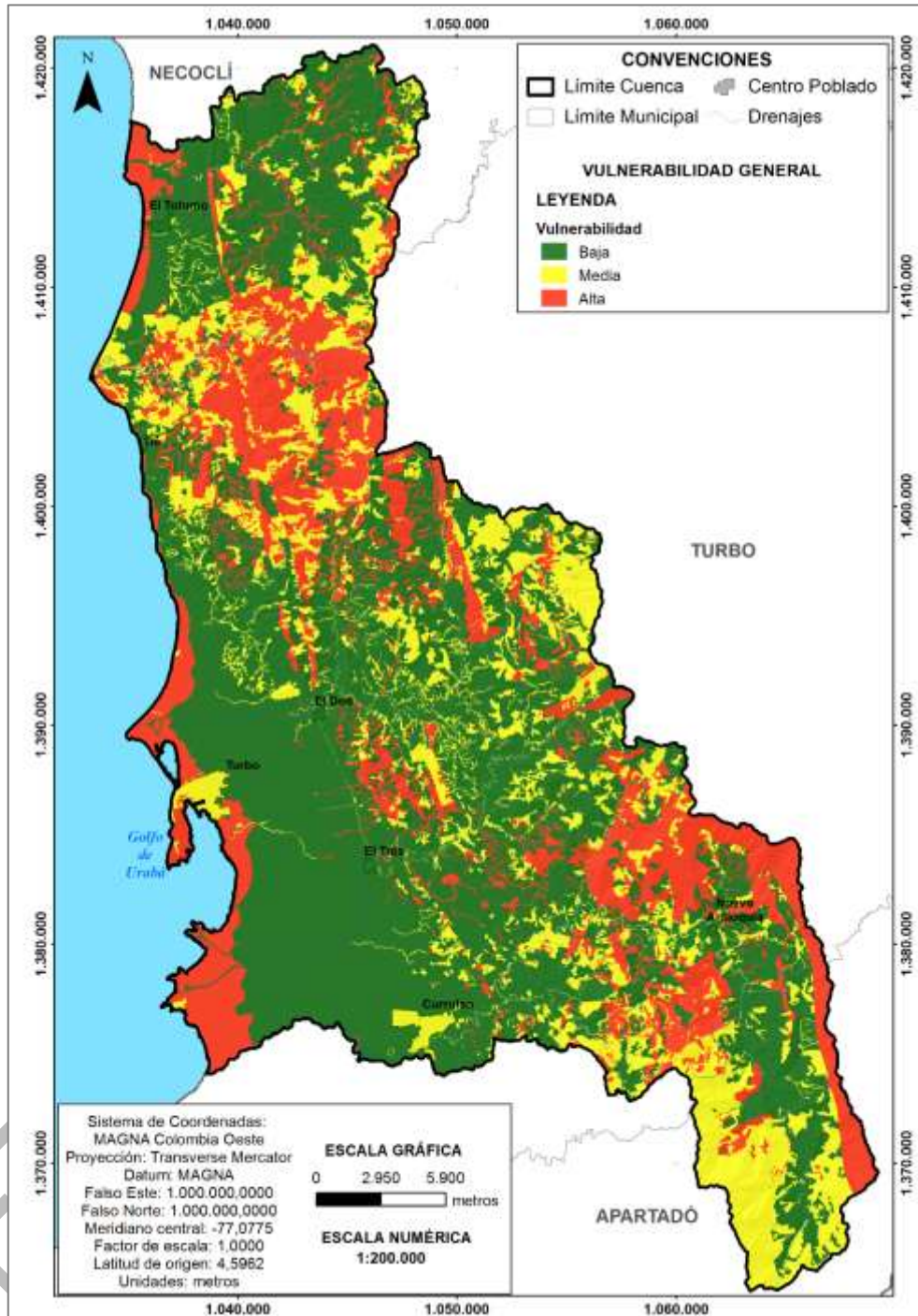


Figura 143. Espacialización del índice de vulnerabilidad general  
Fuente: Elaboración propia.

Las zonas susceptibles a eventos amenazantes involucran población con niveles de vulnerabilidad medios por índices de pobreza, déficit de vivienda, bajas coberturas de Acueducto y alcantarillado, además de un potencial de recuperación bajo frente a un





desastre. A continuación se presenta la vulnerabilidad para cada uno de los eventos evaluados ver

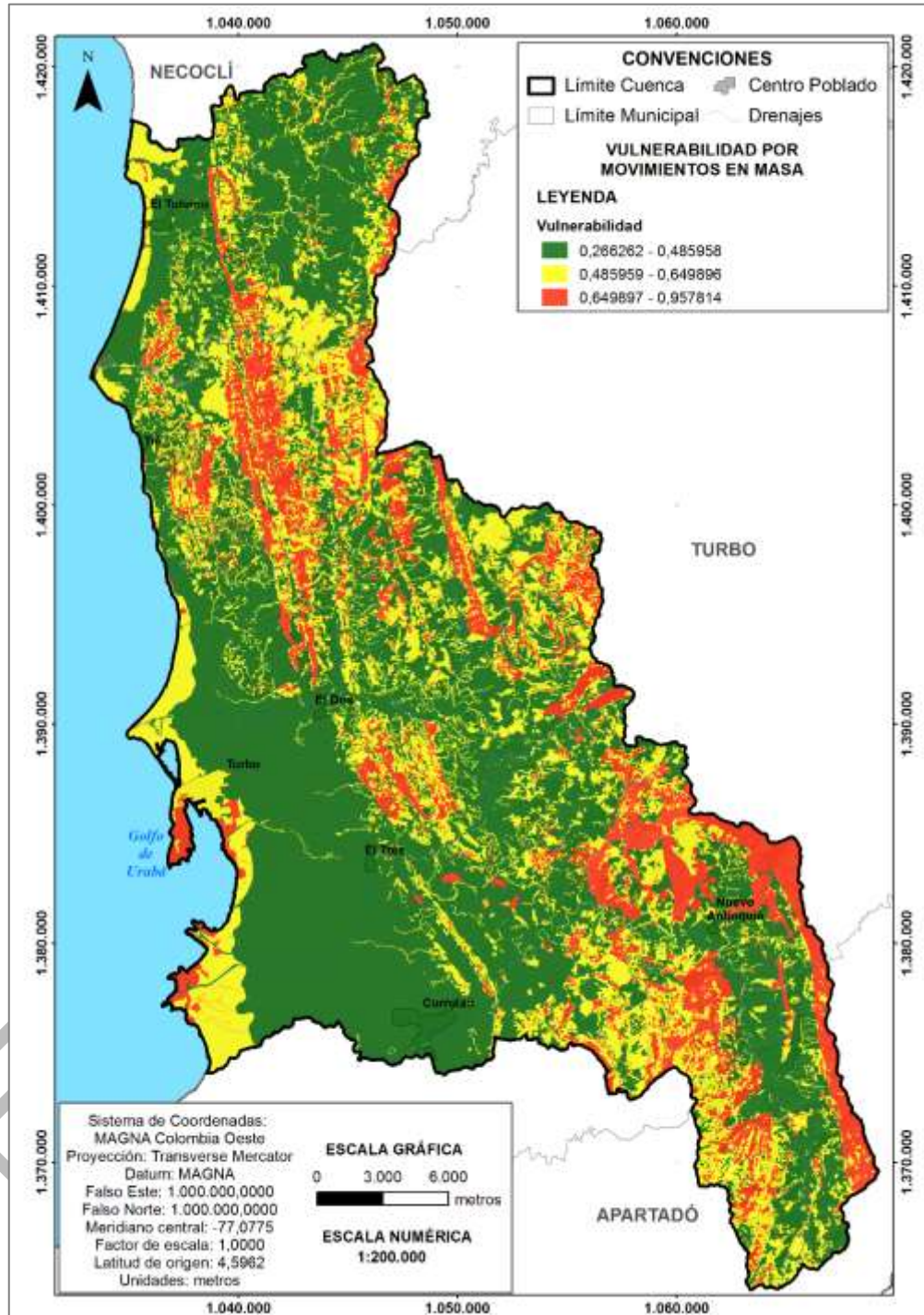


Figura 144. Vulnerabilidad por movimientos en masa.  
Fuente: Elaboración propia



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

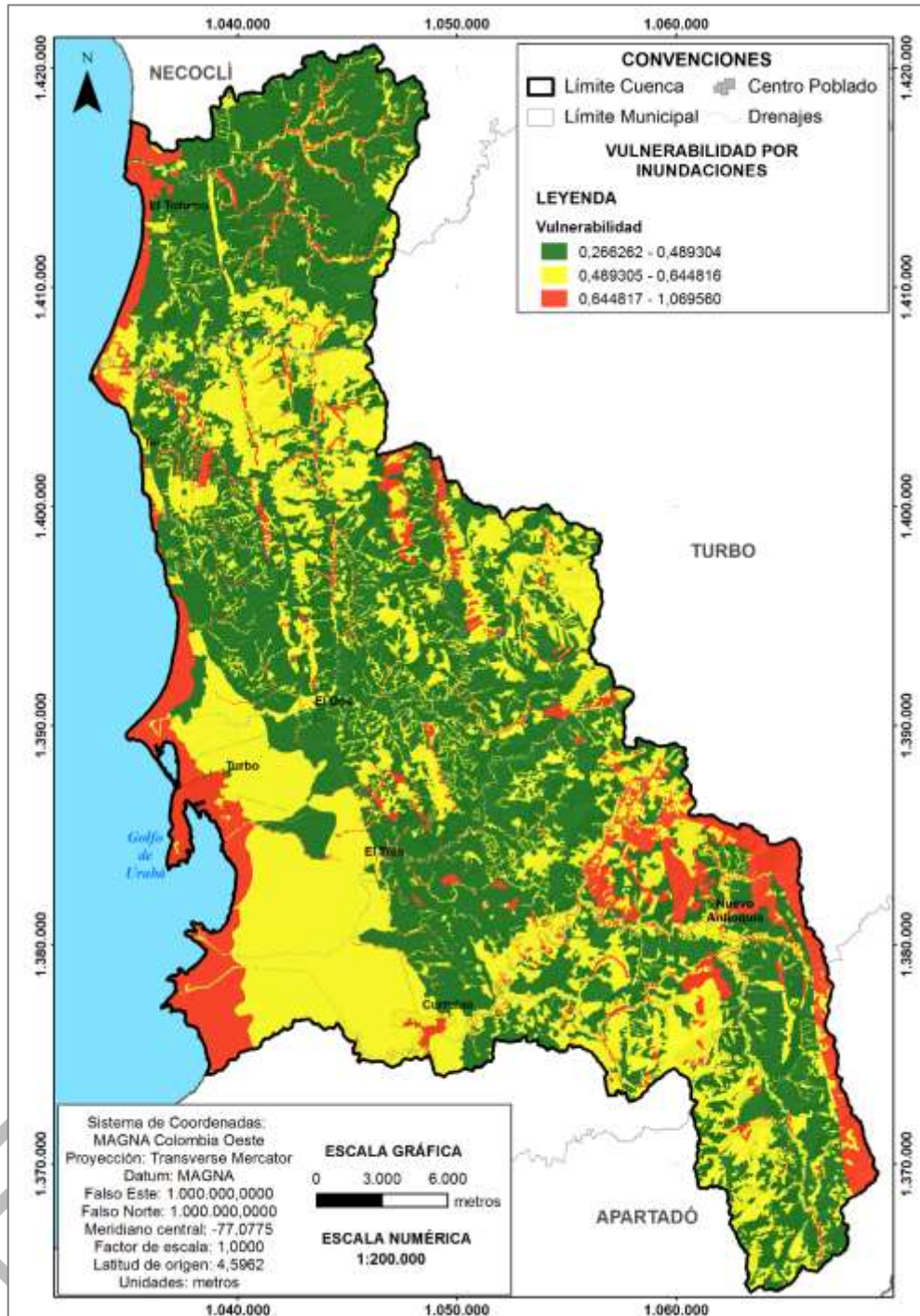


Figura 145. Vulnerabilidad por Inundación.  
Fuente: Elaboración propia



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

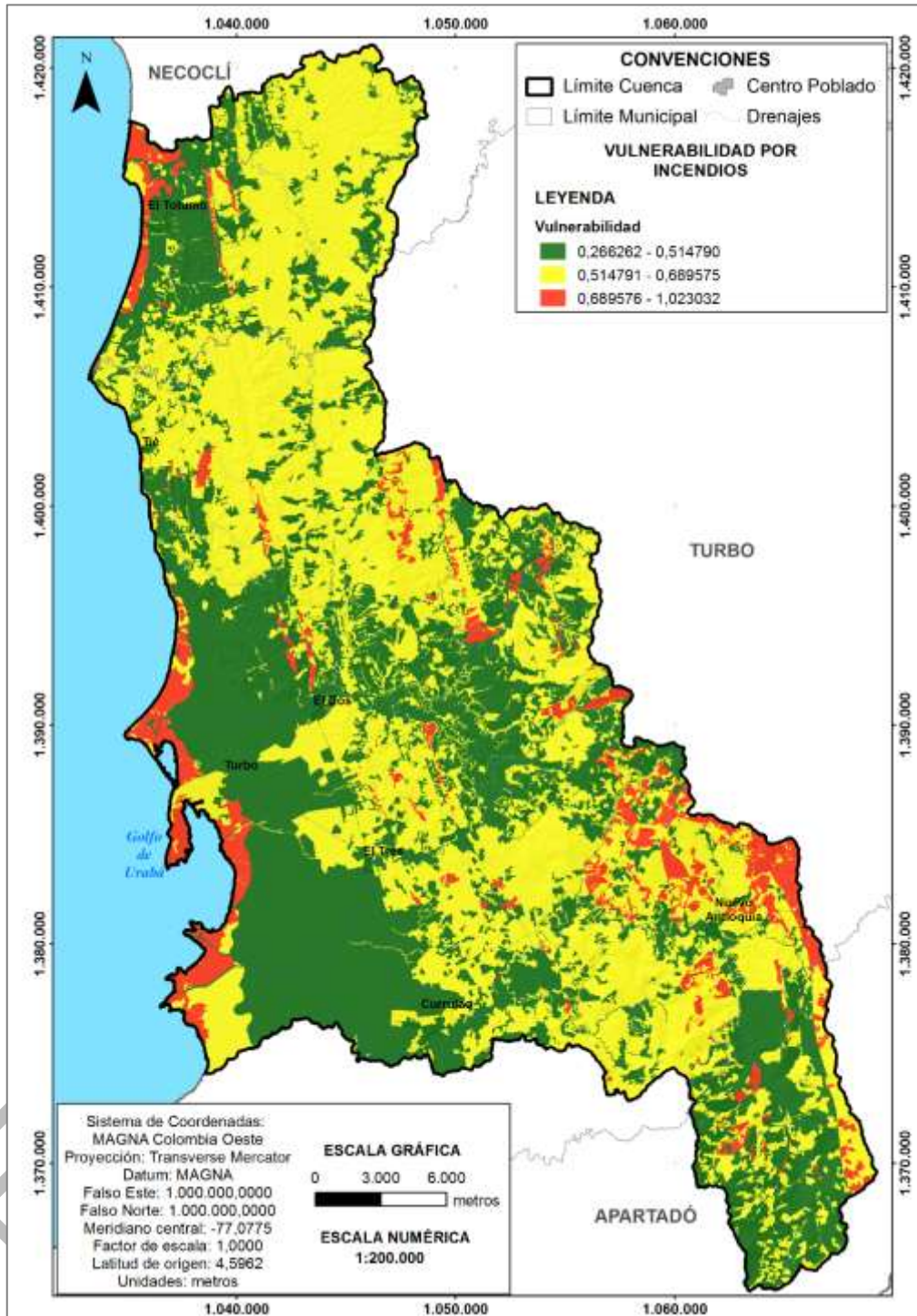


Figura 146. Vulnerabilidad por incendios forestal  
Fuente: Elaboración propia



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

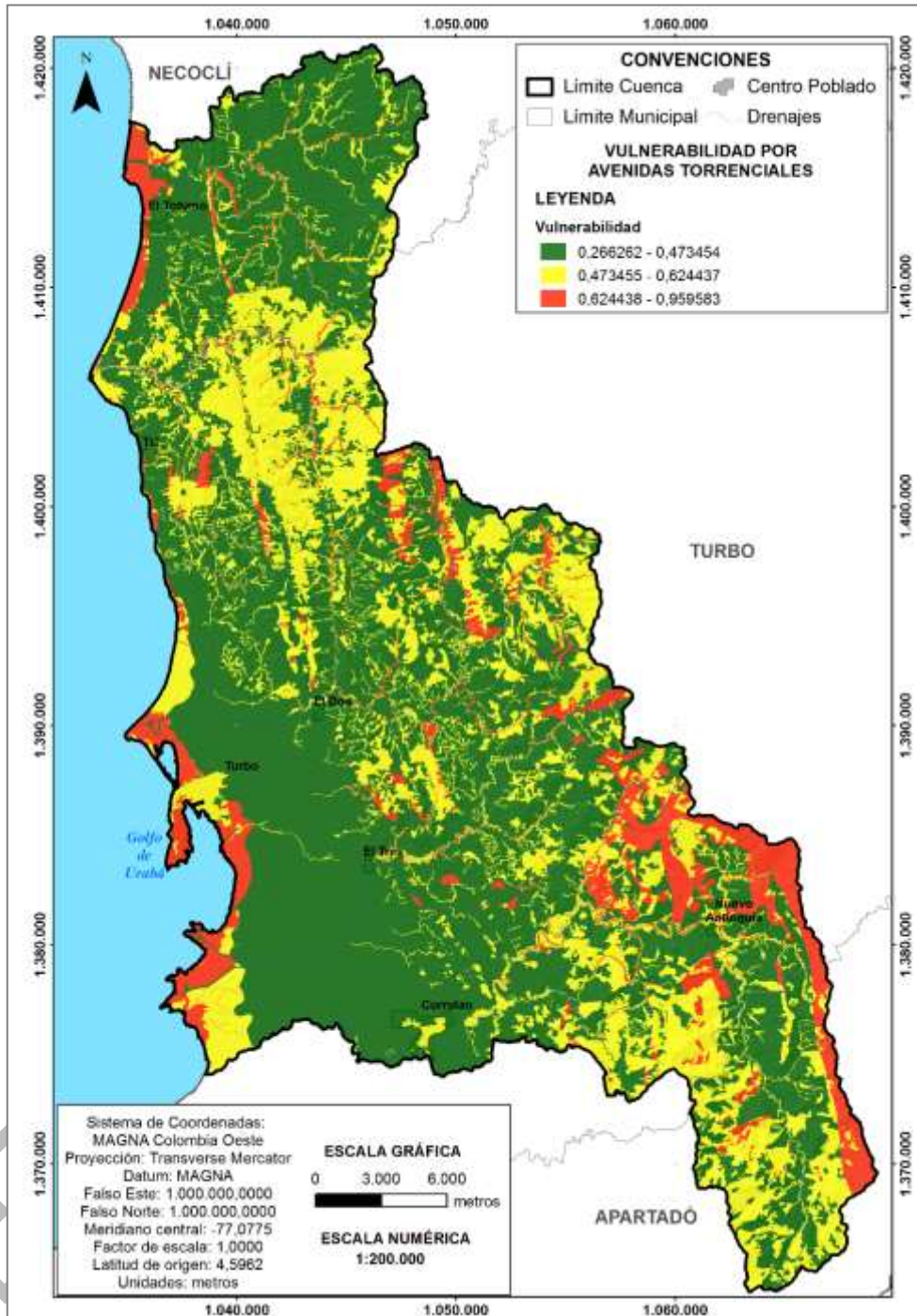


Figura 147. Vulnerabilidad física por avenidas torrenciales.  
Fuente: Elaboración propia



## 7.8 ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE RIESGO

Un análisis de riesgo consiste en estimar las pérdidas probables y su costo para los diferentes eventos peligrosos posibles. Analizar el riesgo es relacionar las amenazas y las vulnerabilidades con el fin de determinar las consecuencias sociales, económicas y ambientales frente a un determinado evento, para el caso de los POMCA análisis de riesgos se realiza en los escenarios de riesgos priorizados. De la zonificación de la amenaza y el análisis cualitativo y semi- cualitativo de vulnerabilidad se pasa a la zonificación de riesgos.

Para el análisis de riesgos, es necesario el conocimiento de la vulnerabilidad global (Fondo Adaptación, 2014) objeto de análisis dentro de los POMCAS y ésta se puede dividir en varias “vulnerabilidades” interconectadas entre sí. Igualmente, es importante anotar que existe una relación de doble vía entre el riesgo y la vulnerabilidad, entendiendo que cualquier evento amenazante solo adquiere la condición de riesgo cuando su ocurrencia afecta a una comunidad ya sea de forma directa o indirecta (pérdidas y daños físicos, económicos, sociales, culturales, etc.).

El análisis de los riesgos en los escenarios priorizados permite reconocer la posibilidad de la ocurrencia de daños, pérdidas totales o parciales de elementos expuestos, bienes, actividades productivas, infraestructura estratégica o el uso y aprovechamiento de los servicios ecosistémicos que puedan afectar gravemente la sostenibilidad ambiental del territorio, debido a la ocurrencia de eventos amenazantes.

El procedimiento seguido para analizar las características del riesgo se indica en la Figura 148, en el cual se determina tanto la susceptibilidad como la amenaza (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014, págs. 93-102). La síntesis metodológica en este caso se concentró en utilizar el método de índices e indicadores, el cálculo del riesgo de características cualitativas se realizará a partir de la superposición de la capa de amenaza para el fenómeno evaluado (movimiento en masa, inundación, avenidas torrenciales e incendios forestales) y los niveles de vulnerabilidad dados por el índice de vulnerabilidad.

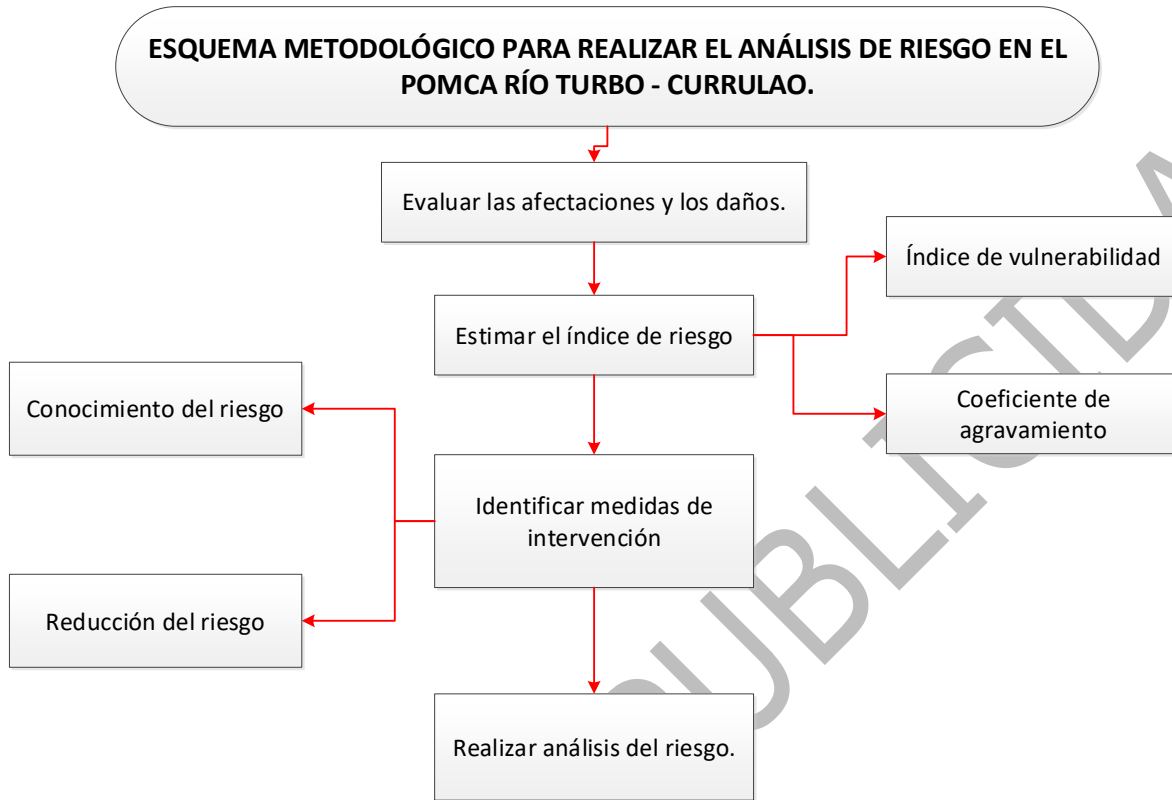


Figura 148. Esquema metodológico seguido para analizar el riesgo en el POMCA Río Turbo – Currulao.

Fuente: Recuperado de Fondo Adaptación (2014).

De manera complementaria y solo para hacer una comparación y resaltar el análisis socioeconómico para la cuenca Río Turbo-Currulao, se encuentra que las condiciones de riesgo calculadas y mostradas más adelante se encuentran de alguna manera ligadas con las condiciones de difíciles condiciones socioeconómicas. El Índice de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) Figura 149 y el porcentaje de pobreza extrema Figura 150, los cuales son indicadores que miden las dificultades socioeconómicas, estos índices permiten inferir las condiciones de fragilidad de la población que se estimaron en , en términos de la composición física de las viviendas y de la resiliencia o capacidad de recuperación, en relación con las características económicas de los hogares, para la cuenca el Índice de Necesidades Básicas Insatisfechas presenta un porcentajes alto (60-80%), lo que significa que el área tiene coberturas de infraestructura sanitaria básica deficientes, bajos niveles de escolaridad y salubridad y, en general, infraestructura productiva y de servicios insuficiente.

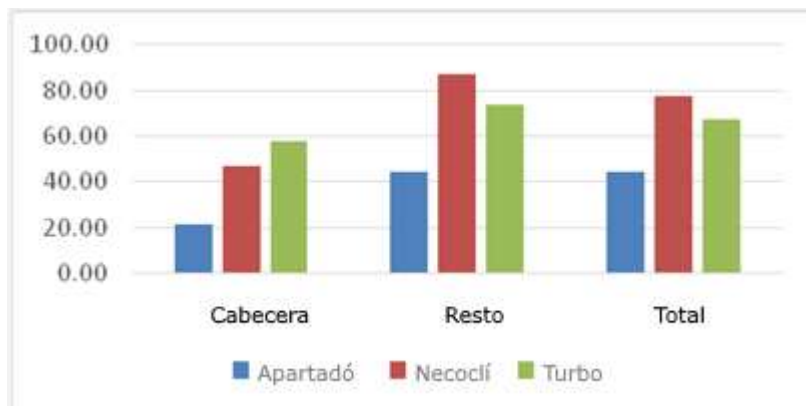


Figura 149. Porcentaje municipal de NBI-2012  
Fuente: DANE (2005).

La línea de indigencia o pobreza extrema se define como el costo per cápita mínimo necesario para adquirir únicamente la canasta de bienes alimentarios, que permiten un nivel de sobrevivencia en un país determinado. “Las personas que sobreviven con los elementos básicos de la canasta familiar constituyen casi el 70% de la población rural en Necoclí y casi el 50% de la población rural de Turbo, lo que da cuenta del poco acceso a bienes en la región. En la Figura 150, se observa además que Apartadó es el municipio que presenta menos pobreza extrema en todos los componentes de la gráfica sugiriendo unos mejores niveles de calidad de vida en el municipio” (Unidad de Víctimas, s.f, pág. 98).

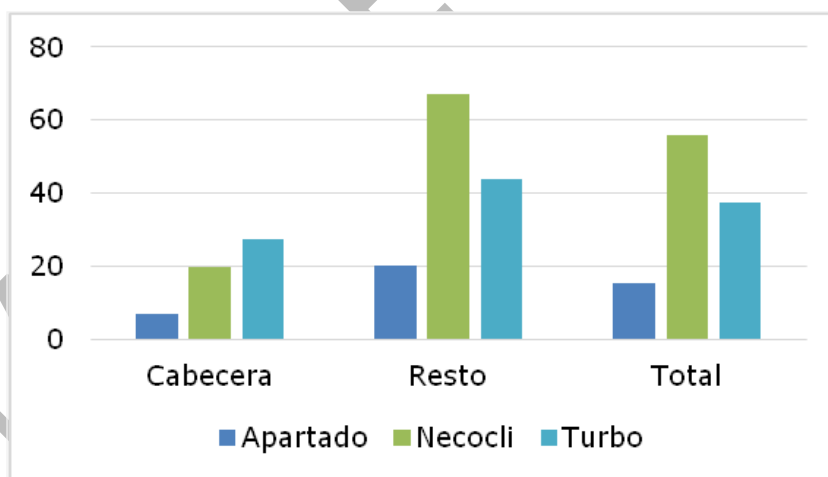


Figura 150. Porcentaje de pobreza extrema por municipio – 2014.  
Fuente: Gobernación de Antioquia (2015).

Tal como lo explica el Banco Mundial en su publicación *Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas* (Banco Mundial, 2012), los desastres no son eventos de la naturaleza per se, sino el resultado de la aplicación de modelos inapropiados de desarrollo que no consideran la relación sociedad-naturaleza.



• **Procedimiento para el calculo de las condiciones de Riesgo**

El cálculo de riesgo en este tipo de análisis suele representarse en la convolución de la amenaza y la vulnerabilidad, ambas planteadas como variables continuas en función de la posibilidad de ocurrencia de los fenómenos naturales y las características del territorio; por lo cual el resultado de la zonificación de riesgo no se imprime directamente por la condición de amenaza por sí misma sino que se ve modificado sensiblemente por los resultados obtenidos en materia de vulnerabilidad. Así se permite generar, a pesar de las limitaciones obvias de la escala de análisis, resultados de condiciones de riesgo holístico que consideran más variables que las meramente físicas y con las cuales se puede en adelante identificar zonas para priorizar acciones de reducción de riesgo.

En particular para la zonificación espacial de riesgo, al ser las amenazas y la vulnerabilidad variables discretas y en cumplimiento de la estandarización de información para POMCAs, se puede agregar al análisis espacial el cruce entre la zonificación de amenazas (por movimientos en masa, inundación, avenidas torrenciales, incendios de coberturas vegetales) y la capa de vulnerabilidad utilizando la metodología de matriz de reconocimiento de riesgo planteada por el Protocolo para la incorporación de la Gestión de Riesgo en POMCAs, la cual se muestra a continuación (ver Tabla 83). Dentro del análisis realizado por el equipo consultor se decide priorizar aquellas zonas en donde el nivel de riesgo sea alto, para la cuenca hidrográfica se priorizan como escenarios de riesgo principalmente las zonas de cuerpos aluviales de la zona sur y centro de la cuenca, en el paisaje de planicie, así mismo a la zona de litoral que presentan una condición de riesgo alto por inundaciones asociados también al margen de los ríos Currulao, Guadualito, Turbo, Caiman Nuevo, Caiman Viejo, entre otros que presentan una condición de riesgo alto por inundaciones. Las zonas elevadas de la cuenca alta que presentan niveles de riesgo alto a movimientos en masa e incendios frestaes, y como principal riesgo el asociado a avenidas torrenciales distribuido aguas arriba de los cauces principales de la cuenca.

Tabla 83. Matriz propuesta para la Categorización de niveles de riesgo del IRT para la zona de estudio con amenaza determinística Referencia.

NIVELES DE AMENAZA (Pf)	NIVELES DE VULNERABILIDAD (IV)		
	NIVEL 1: ALTA ( 75% A 100%)	NIVEL 1: MEDIA ( 30% A 75 %)	NIVEL 1: BAJA ( <30%)
ALTA	ALTO	ALTA	MEDIA
MEDIA	ALTO	MEDIA	BAJA
BAJA	MEDIA	MEDIA	BAJA

Fuente: Fondo Adaptación (2014).

Al igual que en el caso anterior la leyenda asociada a cada uno de los niveles de riesgo deberá describir los aspectos referidos al evento amenazante y las condiciones de vulnerabilidad asociadas a las características de la zona homogénea, pérdidas en vidas y bienes, etc.

Al realizar la calificación de riesgo resalta con solo observación de la Figura 151, Figura 152, Figura 153, y Figura 154 que los movimientos en masa, inundaciones y los incendios forestales serían las amenazas que más afectarían a la cuenca en el caso que existan elementos expuestos en dichas áreas. No obstante, a pesar que metodológicamente se pida en los alcances técnicos la valoración del riesgo para todas





las coberturas, estas no son necesariamente vulnerables a movimientos en masa debido a que estos hacen parte de los procesos denudaciones naturales del territorio, fundamentales para la regulación y sostenimiento de los ecosistemas presentes. Las evaluaciones de los escenarios de riesgo se encuentran completas en el Anexo 93 (Diez escenarios MM Amenaza y Riesgo).

Por otro lado, los incendios forestales sí constituyen una amenaza siconatural para las coberturas y un riesgo para las mismas. La valoración de vulnerabilidad y riesgo por incendios de coberturas vegetales tiene en cuenta las variables de vulnerabilidad de la metodología del IDEAM reconocida por el Protocolo, las ajusta e incluye otras para que sean parte de la evaluación de vulnerabilidad general pedida por los alcances técnicos. Así, en la inclusión de datos adicionales de resiliencia y la aplicación de encuestas de percepción del riesgo a los actores (oficinas de gestión de riesgo, bomberos, defensa civil, policía, entre otros), se logra estimar una vulnerabilidad general ampliada para la evaluación de riesgos que incluya incendios de coberturas vegetales como lo solicita el protocolo para la incorporación de gestión de riesgo en los POMCAs y el alcance técnico contractual de este POMCA en particular. La Figura 153 aparentan ser menos críticas y muestran el riesgo de las coberturas a avenidas torrenciales. Sin embargo, si se considera que las áreas de riesgo alto a avenidas torrenciales se correlacionan con áreas urbanizadas y pobladas se resalta a estas amenazas dentro de las principales.



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

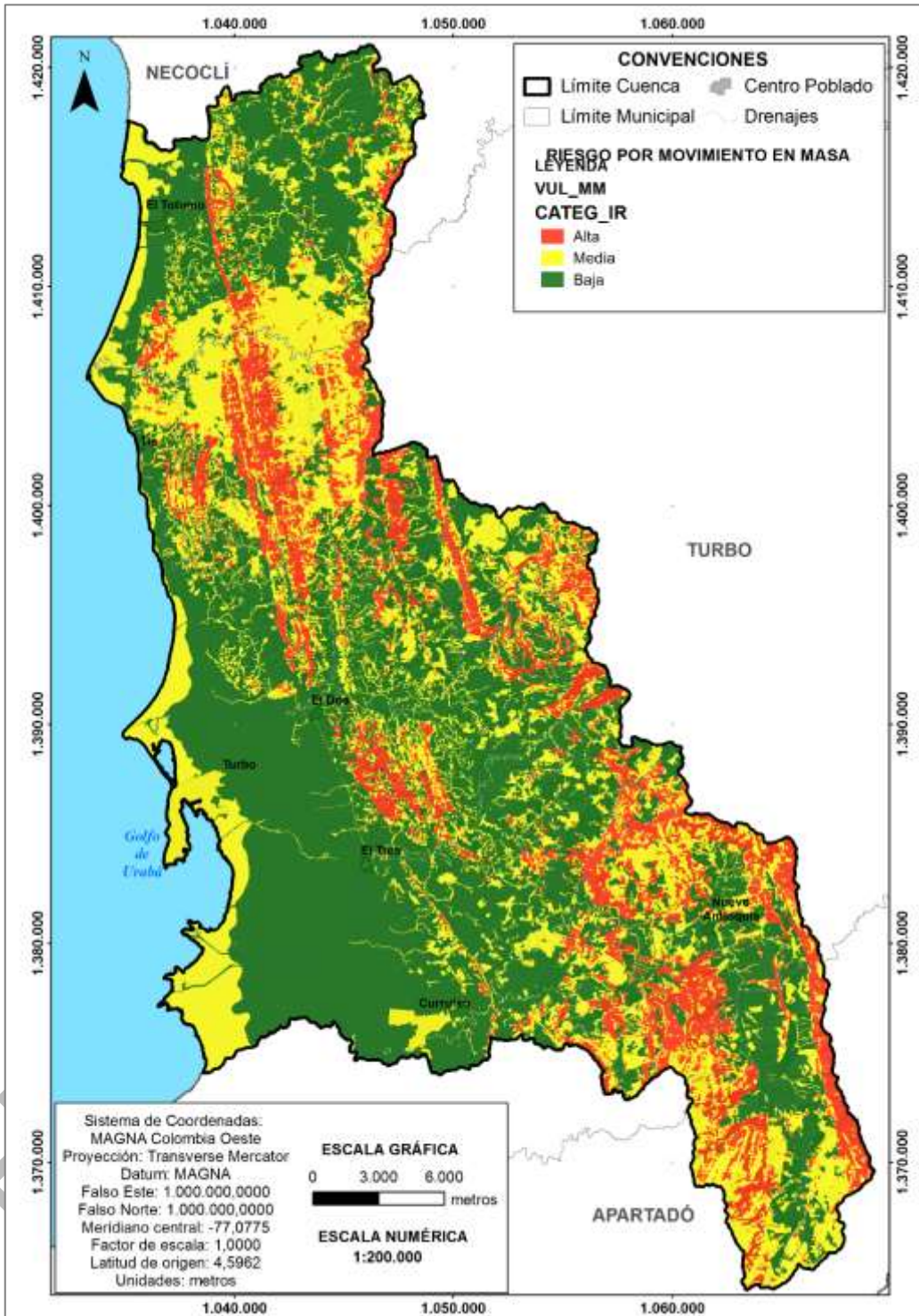


Figura 151. Riesgo por movimientos en masa.  
Fuente: Elaboración propia



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

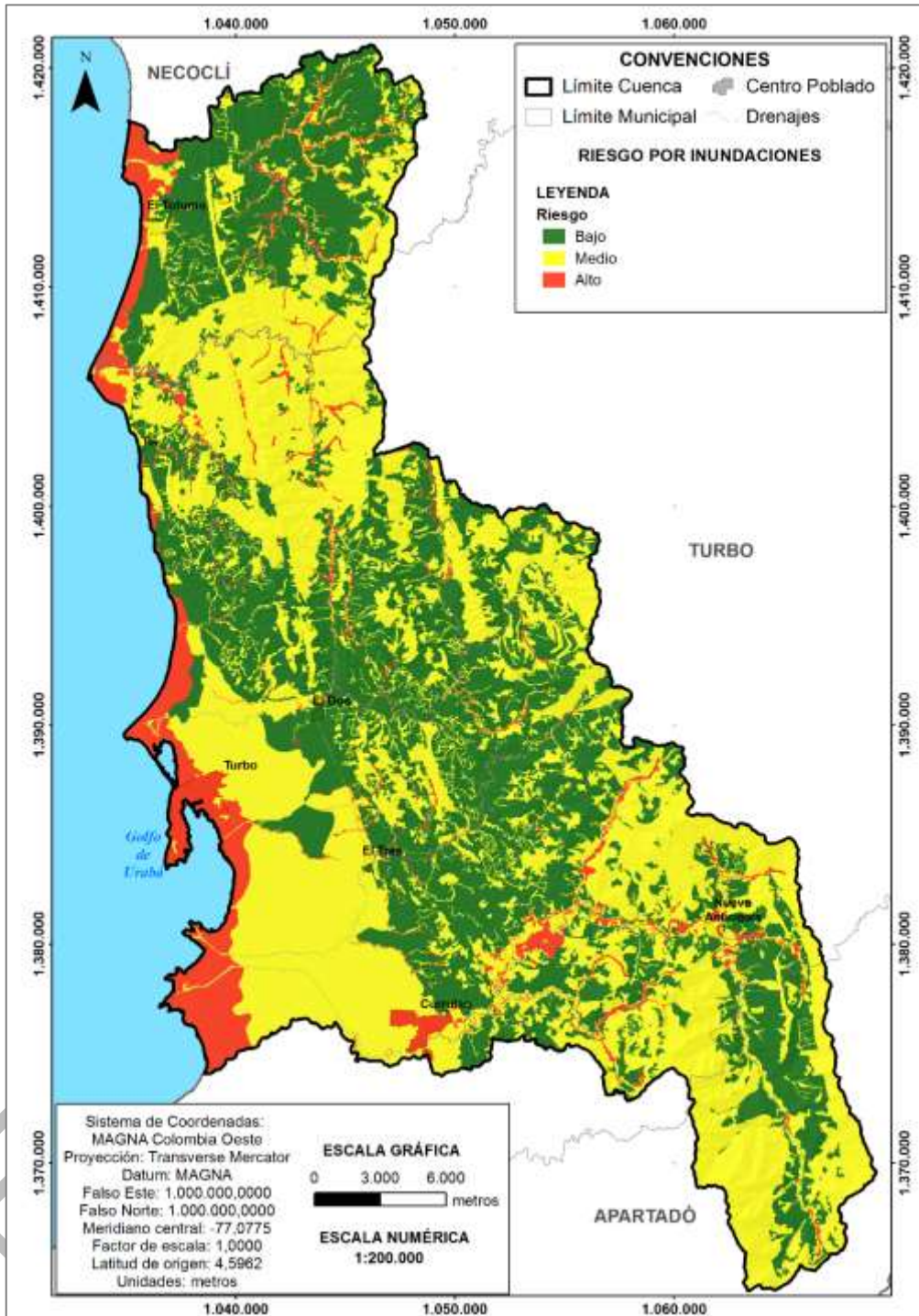


Figura 152. Riesgo por inundaciones.  
Fuente: Elaboración propia



FASE DE DIAGNÓSTICO  
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

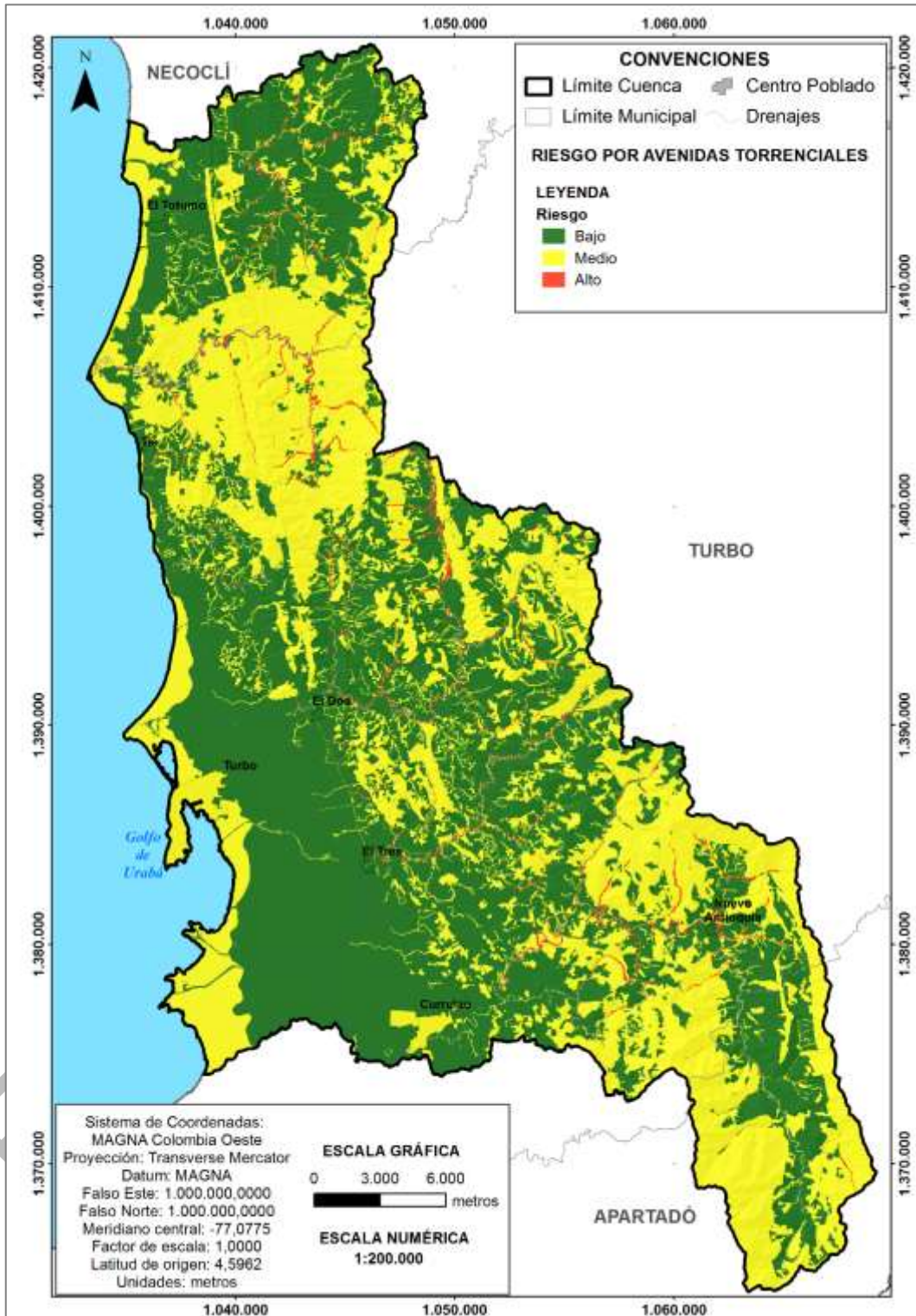


Figura 153. Riesgo por avenidas torrenciales.  
Fuente: Elaboración propia

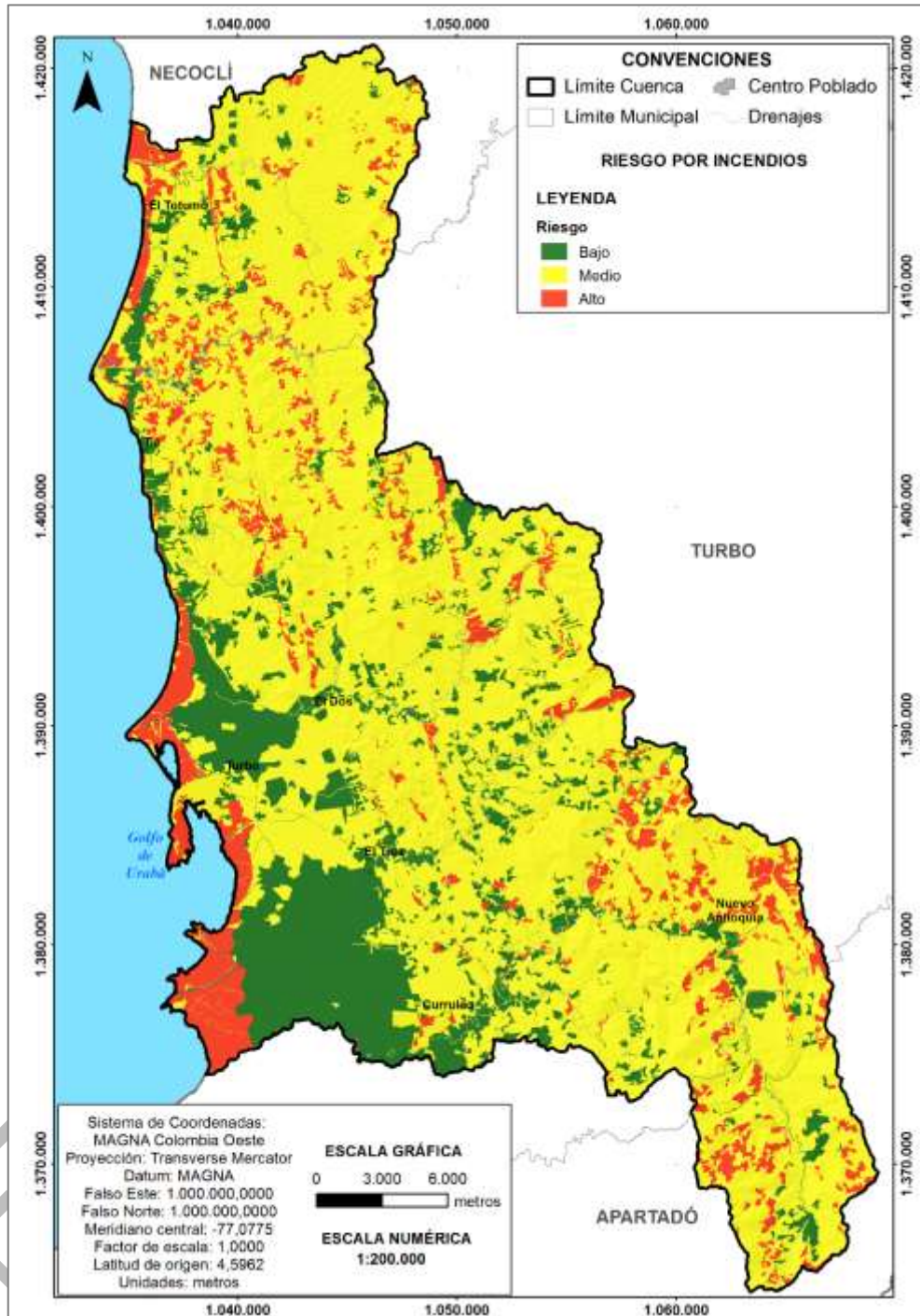


Figura 154. Riesgos por incendios forestales  
Fuente: Elaboración propia

Se debe reconocer que en términos generales la condición de riesgo en toda la cuenca es de categoría media, con excepciones de áreas expuestas a amenazas bajas en la parte media y baja y altas de manera dispersa. Aun cuando las condiciones no puedan



ser catalogadas como críticas para establecer condicionamientos específicos al uso y aprovechamiento del territorio para la mayoría del mismo, la existencia de amenazas altas en áreas pobladas expuestas llama la atención para que se identifiquen, prioricen y formulen programas y proyectos de conocimiento, reducción y manejo integral del riesgo de las áreas pobladas en amenaza alta en el marco de la ley 1523 de 2012 y del decreto 308 de 2016 como ejercicio de implementación de los objetivos del marco de acción de Sendai.

Así como se identifica en la caracterización de eventos amenazantes, las evaluaciones de amenaza y riesgo arrojan resultados que apuntan a las mismas áreas relacionadas con los cuerpos de agua del río Currulao, Guadualito Y Turbo, los cuales arrastran material de la parte alta de su área tributaria para generar avenidas torrenciales que pueden alcanzar áreas pobladas, y quebradas en áreas rurales que podrían afectar caseríos o poblaciones pequeñas de las riveras como Nueva Antioquia, Currulao, El Tres, y El Dos.

Nótese que la evaluación de riesgo resulta de la convolución de la amenaza con la vulnerabilidad, siendo ésta última utilizada sin la variable de fragilidad física para evitar el uso redundante de la condición de amenaza. Esto se sustenta considerando las siguientes premisas:

1. Los alcances técnicos piden evitar el uso de variables altamente correlacionadas (Nuria, 2001), es decir, aquellas que puedan contener espacialmente la misma información. Tener en cuenta varias veces una misma variable o simultáneamente dos similares representa redundancia, la cual debe evitarse.
2. Los alcances técnicos piden el uso del concepto de "riesgo implícito" con el cual se obvia la vulnerabilidad física y se traslada la amenaza directamente a la fragilidad sugiriendo un modelo binario de fragilidad física.
3. En los alcances técnicos la vulnerabilidad se calcula como la resiliencia de la comunidad y de las instituciones, su capacidad de respuesta frente a emergencias, desde el punto de vista de prevención y de atención, acotado al concepto de desastres en general en combinación con variables ecosistémicas y ambientales.
4. La exposición es la referencia espacial de localización de un objeto sobre una amenaza. Permite tener una referencia de la posibilidad de que un evento amenazante alcance a un elemento expuesto (personas, infraestructura, etc.).
5. La fragilidad física depende del tipo de amenaza, la magnitud de la amenaza y aún más del elemento expuesto, de sus características físicas (constructivas en el caso de infraestructura) y la configuración espacial de la exposición (Ávila y Perico, 2015).
6. El riesgo se calcula como la interacción entre la amenaza y la vulnerabilidad. El modelo más sencillo es  $R=A \times V$ , pedido por el alcance técnico.

El procedimiento de los alcances técnicos pide calcular vulnerabilidad considerando las mismas variables administrativas y socioeconómicas para todas las amenazas (ver premisa 3) y sugiere hacer diferencia a través de un índice que denomina "fragilidad física" que dependería, simplificando, únicamente de la calificación de amenaza. Entonces se pide explícitamente por los alcances técnicos evaluar fragilidad en función de la amenaza y asumir que todo elemento expuesto a amenaza alta es completamente frágil físicamente y viceversa (modelo de vulnerabilidad binaria). Solo así, existiría



vulnerabilidad particular para cada amenaza, pero la única diferencia sería la calificación amenaza que queda implícita bajo el seudónimo de "índice de fragilidad".

Ahora bien, una vez exista esta "vulnerabilidad para cada amenaza" se pide calcular el riesgo. Entre las posibilidades está el modelo de riesgo que combina directamente la amenaza con la vulnerabilidad, una estimación cualitativa expresada matricialmente comparable con el modelo  $R=A \times V$  (ver premisa 6). No obstante, la vulnerabilidad tiene implícita la amenaza a la cual el alcance técnico llamó "índice de fragilidad" y el modelo de riesgo de nuevo la tiene en cuenta para la estimación de la condición de riesgo. Esto significa tener en cuenta dos veces la calificación de amenaza en el modelo de riesgo, lo que iría en contra de la premisa 1.

Resulta entonces conveniente el descarte de la amenaza en una de las variables mencionadas pues está contenida en el modelo de vulnerabilidad y en el modelo de riesgo. Evidentemente es mejor no considerarla en la estimación de fragilidad física pues el modelo de riesgo  $R=A \times V$  la involucra directamente, mientras en la "fragilidad" aparece implícita y bajo una hipótesis técnicamente incompleta (se tendría en cuenta solo una de las variables relevantes, descartando las demás descritas en la premisa 4 y premisa 5). Así, no se está planteando algo diferente al alcance técnico, solamente se aplica una mejora en el modelo conceptual.

## 7.9 RECOMENDACIONES E IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES DE INFORMACIÓN

Se elaboraron los mapas para las distintas amenazas a escala 1:25.000 para cada uno de los eventos identificados en los sitios definidos como de susceptibilidad crítica, en donde se realizó una valoración de la amenaza por niveles referida a la magnitud del evento y su recurrencia, el cual tiene como objetivo servir de base para definir y priorizar los escenarios de riesgo, la planificación del uso del territorio y de los planes y programas de reducción de riesgos.

La inundación históricamente ha sido el evento amenazante más recurrente en la cuenca con 140 ocurrencias. Los eventos por movimientos en masa reportados DesInventar y el SGC son de 25 ocurrencias; el equipo consultor identificó por medio de fotointerpretación 485 eventos entre activos e inactivos y, en la verificación de campo se identificaron 42 nuevos eventos para un total de 527 eventos por movimientos en masa. Los incendios forestales están documentados con 20 eventos, las avenidas torrenciales están representadas por 7 registros de eventos históricos. Finalmente el 66,33% del territorio está expuesto a amenazas por movimientos en masa en la siguiente proporción: alta (26%) y media (39%), el 11% de la cuenca esta expuesta a amenaza por inundación, el 13% a amenaza alta y el 28% de amenaza media por avenidas torrenciales, además el 48% esta expuesto a una amenaza alta por incendios forestales.

Las metodologías de evaluación de amenazas y los insumos técnicos utilizados en las amenazas identificadas guardan coherencia y pertinencia con la escala de evaluación para la cuenca (1:25.000). De acuerdo con las características geológicas, geomorfológicas, y bioclimáticas, los fenómenos amenazantes identificados que definen una mayor propensión a la ocurrencia de los mismos dentro de la Cuenca Río Turbo-



Currulao son: inundación, movimientos en masa, incendios forestales y avenidas torrenciales.

Si bien el desarrollo normativo y contractual del POMCA permite dar un panorama de las condiciones de amenaza, vulnerabilidad y riesgo en la cuenca su resultado debe ser solo una de las herramientas para la toma de decisiones en la definición de metas, planes y proyectos en gestión integral de riesgo las cuales deben ser definidas por los entes locales y territoriales desde sus propios instrumentos de ordenamiento territorial y de gestión del riesgo. Por consiguiente, toda decisión de acción puntual debe estar soportada por análisis de detalle que requieran la rigurosidad técnica propia de esa escala de análisis y no interpretar estos resultados de amenaza y riesgo regionales como los definitivos y suficientes para la definición de obras, reasentamientos de familias, restricciones de uso de suelo y demás acciones que afecten o favorezcan el uso del mismo.

En las áreas urbanas se deben desarrollar análisis para la zonificación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo con mayor detalle para que dentro del ordenamiento urbano y de expansión urbana se tomen las decisiones prescriptivas y prospectivas del territorio. Para ello es recomendable orientar los análisis y la generación de información primaria, considerando las siguientes necesidades:

- Estudios regionales de zonificación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo urbano con identificación de áreas específicas con condición de riesgo que requieran acciones de mitigación y reducción en el corto y mediano plazo sobre las cuales se deberán ejecutar y revisar estudios con análisis de estabilidad de taludes, modelación hidrodinámica y de capacidad hidráulica de la red de drenaje con evaluación de alternativas entre las que se deben considerar diseños de obras civiles de contención de laderas, reconfiguración morfológica del relieve, estructuras de drenaje y manejo de aguas, protección de los márgenes de los cauces y aumento de su capacidad hidráulica, diseño de aliviaderos y otras estructuras de contención y control de sedimentos, caracterización de vulnerabilidad social para relocalización transitoria de familias o su reasentamiento definitivo y programas de acompañamiento e integración social de las mismas en sus nuevos espacios socioculturales orientado a la reconstrucción del tejido social.
- Evaluación de las estrategias de respuesta a emergencias, planes de emergencia y contingencia y planes institucionales de respuesta a emergencias.

Las fronteras urbano rurales corresponden con las áreas de crecimiento urbano informal en la periferia de la cabecera municipal y área urbana de Currulao que se desarrollan sin considerar el perímetro de suelo urbano ni sus normas urbanísticas asociadas en una situación más compleja que la propia interacción rural con la cabecera municipal. Estos modos de ocupación del territorio no reciben control urbano ni cuentan con infraestructura o equipamientos suficientes debido a su informalidad; sin embargo, en ellos se forman nichos culturales, sociales y económicos con dinámicas locales propias que generan interdependencia con los sectores formales, por lo cual deben ser objeto de tratamiento especial dentro de los proyectos que se desarrollen enfocados a la gestión integral del riesgo territorial.





Las fronteras urbano rurales y de crecimiento informal han presentado procesos de consolidación y dinámicas de crecimiento urbano que conviene cuantificar con objeto de establecer control urbano que incluya la revisión de oportunidades de legalización total o parcial y acciones de reubicación o reasentamiento si llega a ser necesario. Este tipo de acciones evidentemente se escapan del análisis de riesgo del presente diagnóstico pero deberán contemplarse para la toma de decisiones en función de las condiciones de riesgo detallado, como complemento, por supuesto, a las variables que se deben tener en cuenta para un proceso de legalización y regularización de un sector urbano-rural informal. Como un proceso de esta complejidad requiere información más detallada e integral que el POMCA no alcanza a contemplar en su alcance, es preciso que se establezca una articulación interinstitucional que destine esfuerzos, recursos y tiempo de manera apremiante en la gestión integral del riesgo iniciando en estos sectores. Desde su competencia, cada una de las instituciones debe ejercer control urbano, integración social y ambiental relacionados con el ordenamiento territorial urbano y rural, protección de recursos naturales y fortalecimiento del tejido social y cultural.

Para aquellas zonas que cuenten con una zonificación de amenaza alta por movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundaciones es importante evaluar y priorizar la ejecución de estudios y obras de mitigación y reducción del riesgo discriminados por categoría y tipo de amenaza entre los cuales se encuentran:

#### **7.9.1 Zonas de amenaza por movimientos en masa**

Si se requiere analizar en detalle predios o áreas particulares que vayan a ser objeto de cualquier destino de uso de aprovechamiento conviene realizar estudios detallados de amenaza y riesgo debido a que los resultados obtenidos consideran las condiciones que favorecen o desfavorecen la ocurrencia de movimientos en masa, pero no indican directamente su magnitud ni alcance. Por tanto, la zonificación presentada es un indicador de amenaza por movimientos en masa y no reemplaza los análisis detallados de las áreas que se verían directamente afectadas por la ocurrencia de movimientos en masa. Tampoco evalúa volumen desplazado ni distancia de viaje, características necesarias para la estimación detallada de vulnerabilidad y riesgo en elementos expuestos.

Los movimientos en masa reportados para la Cuenca Río Turbo-Currulao, son pocos y se localizan en relieves altos, como los variables más influyentes son las lluvias fuertes, la deforestación, las discontinuidades de la roca sedimentaria y los espesores de suelo residual sobre laderas de alta pendiente, es de especial cuidado, las reptaciones, las cuales son movimientos de tipo viscoso sumamente lento, asociados a una deformación continua de terrenos. Las reptaciones, frecuentemente presenta terracetas debidas a pisadas del ganado, lo cual favorece posteriormente otros procesos, como la desertificación de suelos (Serranía Abibe Las Palomas).

Considerando lo anterior se recomienda condicionar el uso de las áreas en amenaza alta por movimientos en masa a la elaboración de análisis determinísticos detallados que permitan definir las porciones de área que realmente se encuentran en amenaza alta para que dependiendo del uso que se le vaya a dar se plantee la posibilidad de adaptarse y convivir con los movimientos en masa o el planteamiento de obras civiles que los mitiguen. Los estudios locales y puntuales deben incluir como mínimo geología, geomorfología, coberturas vegetales y zonificación geotécnica, insumos necesarios para



análisis de estabilidad de taludes con diseño de alternativas de mitigación de amenaza como reconformación morfométrica de la ladera, obras civiles de contención, manejo de aguas superficiales y subsuperficiales, bioingeniería y renaturalización o de reducción de riesgo como mejoramiento integral de vivienda, relocalización o reasentamiento de la población e infraestructura expuesta en dichas zonas.

### **7.9.2 Zonas de amenaza por inundaciones**

Es recomendable ejecutar estudios locales y puntuales que incluyan como mínimo topografía y batimetría de detalle, insumos necesarios para modelaciones hidrodinámicas y de capacidad hidráulica de la red de drenaje en los cauces principales que permitan delimitar con mayor precisión el área de influencia de este tipo de fenómenos y evaluar la pertinencia de medidas y obras de aumento de capacidad hidráulica (dragados del fondo de cauce, modificación de la sección transversal del cauce, ampliación y remplazo de superficie de márgenes, redistribución de pendientes, entre otras), protección de márgenes (caissons o pilotes, enrocados, bolsacretos, canalización rígida, etc.) y protección ante desbordamiento (jarillones, muros, canales paralelos de alivios de cauda, llanuras inundables, entre otras) o el reasentamiento de familias y relocalización de infraestructura estratégica.

También es importante contar con una red propia de instrumentación hidrometeorológica con al menos una estación pluviográfica por cada subcuenca y sensores de nivel a lo largo del cauce principal de los ríos Currulao, Guadualito y Turbo y de la quebradas principales con las que se pueda recolectar información pluviométrica de detalle complementaria a información sinóptica por variabilidad climática y cambio climático. Con esta información se aporta a la modelación hidrológica e hidráulica de las condiciones de niveles y velocidad de flujo del cauce principal en función de las variaciones de caudal provocadas por eventos de variabilidad climática y cambio climático.

Adicionalmente formular mecanismos de adaptación a la amenaza por inundación dentro de las actividades o destinos de uso que se vaya establecer a cada sector de la cuenca. Las inundaciones pueden generar afectación en términos de gran extensión, pero la recuperación posevento para este tipo de amenaza es la más práctica con consecuencias controlables si se llevan a cabo los mecanismos de adaptación adecuados en lugar de establecer restricciones directas de uso.

### **7.9.3 Zonas de amenaza por avenidas torrenciales**

A pesar que se lograron buenos resultados de zonificación de amenaza por avenidas torrenciales y se hicieron análisis adicionales a los métodos exigidos en los alcances técnicos, estos tienen un enfoque de identificación de los cuerpos de agua que pueden presentar este tipo de fenómenos físicos y su posible afectación en caso de ocurrencia. De manera que se deben adelantar estudios locales y puntuales que incluyan topografía y batimetría de detalle y todos los insumos necesarios para modelaciones hidrodinámicas y de capacidad hidráulica de la red de drenaje en cada subcuenca orientados a delimitar con mayor precisión el área de influencia de este tipo de fenómenos.



Dentro de las zonas en las que por estudios en escala de detalle se confirme la condición de amenaza alta se deberán ejecutar programas de reasentamiento, recuperación ambiental y renaturalización de áreas expuestas por este tipo de amenaza. También es importante contar con una red de propia de instrumentación hidrometeorológica con al menos una estación pluviográfica por cada subcuenca y sensores de nivel a lo largo de los ríos Currulao, Guadualito y Turbo y de sus principales afluentes con las que se pueda recolectar información pluviométrica de detalle complementaria a información sinóptica por variabilidad climática y cambio climático.

De manera similar a las zonas de amenaza alta por avenidas torrenciales, las de amenaza media deben ser sometidas a estudios locales y puntuales que incluyan como mínimo topografía y batimetría de detalle y todos los insumos necesarios para modelaciones hidrodinámicas y de capacidad hidráulica de la red de drenaje en cada subcuenca que permitan delimitar con mayor precisión del área de influencia de este tipo de fenómenos y evaluar la inminente necesidad de reasentamiento de familias y relocalización de infraestructura estratégica o la posibilidad del diseño de obras de drenaje, estructuras de contención, recuperación natural del cauce y manejo de aguas residuales que permitan mitigar las condiciones de amenaza en algunos sectores para condicionar su uso y aprovechamiento.

#### **7.9.4 Zonas de amenaza por incendios de coberturas vegetales**

Como se indica en las recomendaciones y necesidades generales, se hace necesario consolidar una base de datos georreferenciada y unificada que le permita a los diferentes actores de riesgo consultar información básica (daños, afectaciones, magnitud) de los eventos amenazantes. En este específico es necesario que se garantice que los eventos por incendios forestales se georreferencien acertadamente en adelante en cuanto a ubicación y espacialización tipo polígono que represente el área de afectación de cada uno.

Con el fin de mitigar la amenaza por incendios forestales o de coberturas vegetales, se deben tomar medidas de divulgación, orientación y capacitación para reducción de actividades detonantes como quemas indiscriminadas de cultivos y demás que pueden generar focos de ignición de la cobertura vegetal.

Potencializar la concientización sobre las consecuencias de los incendios forestales y el fuerte deterioro de la capa vegetal que estos producen, así como promover la conservación de ecosistemas estratégicos de la cuenca, los cuales una vez afectados por eventos de ignición de la capa vegetal, nunca pueden llegar a recuperarse completamente.

##### **7.9.1 Generales de vulnerabilidad y riesgo**

- Es necesario y oportuno ejecutar estudios de precio de la tierra teniendo en cuenta la espacialización de coberturas y usos del suelo se ve estancada por la ausencia de información con escalas mayores a municipio o vereda.
- Para análisis de vulnerabilidad social e institucional se recomienda realizar censos rurales y urbanos levantando información específica de condiciones de sociales, económicas, conocimiento de riesgos y demás relacionados con la percepción de



amenazas, exposición, capacidad de respuesta y riesgo. La evaluación de riesgo a la escala presentada se vio limitada por la resolución y actualización de estas variables.

- Se hace necesario consolidar una base de datos georreferenciada y unificada que le permita a los diferentes actores de riesgo consultar información básica (daños, afectaciones, magnitud) de los eventos amenazantes que afecten la cuenca del río Turbo-Currulao, de manera tal que dicho catálogo se alimente a lo largo de la historia y los análisis de probabilidad de ocurrencia sean mucho más asertivos. En este específico es necesario que se garantice que los eventos por incendios forestales se georreferencien acertadamente en adelante pues carece de históricos espacializados.
- La cuenca del río Turbo-Currulao presenta escenarios de alta amenaza para inundaciones, movimientos en masa e incendios forestales dentro de la misma, si bien el resultado de la aplicación de cada una de las metodologías muestra una condición regional de la cuenca es importante que dentro de las sugerencias y recomendaciones orientadas a la gestión del riesgo se tenga en cuenta la formulación y revisión de estudios detallados orientados al control y mitigación de aquellas zonas que han sido zonificadas en condición de amenaza.
- Es necesario mayor detalle en cuanto a la información para la identificación y caracterización de los centros poblados en aquellas zonas que localmente evidenciaron condiciones de susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo para cada una de las amenazas evaluadas dentro de la cuenca.
- Luego de realizar un análisis completo asociado a las condiciones de riesgo implícitas dentro de la cuenca se observa una necesidad de conocimiento y divulgación en la comunidad y hacia los actores específicos del riesgo sobre la percepción y mitigación del mismo y esto sólo se logra a través de espacios sociales efectivos que alimenten el conocimiento de las amenazas en cada sector de la cuenca.
- Espacios liderados por el consejo de cuenca son esenciales dentro del aprendizaje y comprensión de la gestión del riesgo, de forma similar es importante formular espacios que brinden conocimiento del riesgo a la comunidad incluso desde la formación académica básica buscando mantener una cultura en el largo plazo sobre la prevención y respuesta a desastres siconaturales.
- Teniendo en cuenta las condiciones de la zona, es importante desarrollar más espacios en conjunto con las alcaldías municipales y entes locales en donde se propenda por un adecuado ordenamiento del territorio considerando de la manera más asertiva posible las condiciones de amenazas y riesgos, así como la conservación de los escenarios hídricos (ríos y zonas de recarga) entendiendo que estos juegan un papel fundamental en la dinámica del agua sobre la superficie terrestre y la regulación de los sistemas hídricos.
- Generar fortalecimiento o creación de programas de entrenamiento, preparación y capacitación con el fin de fortalecer los equipos locales de respuesta, a la comunidad en general y a las entidades encargadas de responder ante una emergencia o desastre de origen siconatural.



- Los resultados obtenidos son indicativos para observar las zonas con mayor susceptibilidad y amenaza para ser considerada en análisis más detalladas dentro de las actualizaciones de instrumentos de ordenamiento territorial en los municipios de Apartado, Turbo y Necocli. Simultáneamente es recomendable identificar y diagnosticar la efectividad de las obras civiles de mitigación de amenazas ejecutadas y en ejecución para replantear las zonas expuestas necesarias de estudios específicos.
- Se recomienda realizar estudios detallados de amenazas en las sectores hidrográficos tributarios de las quebradas que obtuvieron calificación de amenaza alta por avenidas torrenciales considerando el fenómeno físico como la combinación de crecientes súbitas de caudal en cauces torrenciales con la detonación de movimientos en masa que aportarían material tras la ocurrencia de flujos canalizados o deslizamientos cerca del cauce del cuerpo de agua. Para ello se deben considerar los fenómenos presentados en Salgar (Antioquia) en el año 2015 o el reciente caso de Mocoa (Putumayo) en marzo de 2017 que aportan comprensión de las condiciones de riesgo en Colombia y las metodologías adecuadas para su análisis, siempre combinando el criterio cualitativo y heurístico a partir de análisis geológico y geomorfológico, la modelación hidráulica de la torrencialidad de los cauces, la modelación geotécnica de la estabilidad de las laderas y la modelación del flujo de materiales sólidos y líquidos para que la zonificación no quede reducida a solo un aspecto y se logre integrar efectivamente todo el análisis mínimo que requiere un fenómeno de esta naturaleza (geológico, geomorfológico, hidrológico, geotécnico, hidráulico y físico en general).
- Establecer esquemas de monitoreo observacional e instrumental en combinación con capacitación comunitaria e institucional en el marco de la iniciación a Sistemas de Alerta Temprana (SATs) para evitar exposición directa de vidas humanas en los instantes de ocurrencia de los fenómenos de avenidas torrenciales, inundaciones y movimientos en masa.

#### **7.10 RECOMENDACIONES PARA LAS PROPUESTAS DE INTERVENCIONES PROSPECTIVAS Y PRESCRIPTIVAS**

Los conflictos entre el uso del suelo y la vocación del mismo han transformado las condiciones naturales del territorio, lo que ha generado, la alteración de la dinámica hidráulica de los ríos, la deforestación, la desecación de humedales, la contaminación y la sobreexplotación de los recursos naturales.

Los asentamientos humanos en las inmediaciones de los ríos, la agricultura y la ganadería son las principales intervenciones antrópicas que inciden en esta transformación. Un suelo sin vegetación está expuesto a ser arrastrado por el agua, a perder la capacidad de infiltración, a incrementar los cursos temporales del agua, además de facilitar inundaciones o avenidas torrenciales. Adicionalmente a los factores de degradación de cuencas que generan cambios en la susceptibilidad o una probabilidad de ocurrencia de inundaciones y deslizamientos (aumento de la amenaza), el crecimiento demográfico, la concentración urbana y mayores niveles de exposición sin una disminución importante de los factores de vulnerabilidad contribuyen también en la ecuación del mayor crecimiento del riesgo.



Los fenómenos amenazantes, como inundaciones, movimientos en masa, avenidas torrenciales, vendavales, sequías, entre otros, se correlacionan con la variabilidad climática interanual, períodos secos y lluviosos, que son incrementados considerablemente con la ocurrencia de fenómenos El Niño y La Niña. Durante la presencia de episodios cálidos del fenómeno ENSO (El Niño/La Niña-Southern Oscillation), El Niño, hay déficit de precipitaciones, lo que se traduce en sequías, escasez de agua y el incremento notable de incendios forestales. Durante la ocurrencia de episodios fríos, La Niña, hay un aumento de las lluvias y consecuentemente más inundaciones, inestabilidad de taludes por movimientos en masa y efectos sobre vidas humanas, viviendas, vías y actividades agropecuarias.

La inadecuada articulación entre entidades y la poca armonización de los instrumentos de planificación y de gestión pública inciden en el aumento de la vulnerabilidad institucional y política, y por consiguiente en el riesgo de la población de la cuenca. La ambigüedad en las competencias regionales para la planeación y el ordenamiento territorial, la desarticulación de los POT con los PD departamentales y municipales y la falta de incorporación de la gestión del riesgo en la gestión pública, denotan la inapropiada estructura existente para una real reducción del riesgo de desastres en la cuenca.

Teniendo en cuenta la estimación y evaluación del riesgo y la magnitud de los posibles daños de los diferentes eventos amenazantes dentro de la cuenca, llama la atención la alta exposición en la que se encuentra la población de Nueva Antioquia, debido a los valores obtenidos en las diferentes amenazas, lo cual se determina que su población, sus actividades productivas, la infraestructura estratégica, la sostenibilidad ambiental del territorio y de los servicios ecosistémicos se encuentran en alto riesgo.

Se recomienda para la gestión del riesgo de la cuenca que los sectores de Playa Larga, márgenes del río Currulao, La Carbonera y Cruz de Hueso, Tío López, Alto de Mulatos, márgenes del río Guadualito, Manuel Cuello, La Playona, sector La Caña, márgenes del río Caimán Viejo, sector Aguas Claras y sector de las veredas Barro Arriba y Bellavista, se manejen como zonas de cambio de uso del suelo y/o de protección para la conservación, debido a que estos suelos son muy susceptibles a presentar procesos de remoción en masa, como también, por inundaciones los sectores La Arenera y sector de Puerto Cesar. Estos sectores corresponden a las unidades geológicas de Pavo Inferior 2, Pavo Superior 2, Pavo Superior 1, Pavo Inferior 3, Pavo Superior 3, Pavo Superior 4, depósitos aluviales y Arenas Monas respectivamente.

Con el objeto de mitigar los efectos de la erosión costera se recomienda la protección de las costas mediante programas con la comunidad para la siembra especialmente de mangle.

Uno de los problemas identificados en el análisis del riesgo de la cuenca, es las deficiencias en el conocimiento y la incorporación de las restricciones ambientales y de las condiciones de riesgo en los procesos de planificación y ordenamiento, los cuales generan el aumento de los asentamientos en zonas no aptas y el crecimiento de barrios informales con infraestructura deficitaria (la no articulación de los instrumentos de planificación).



Otro de los problemas, es la falta de aplicación de la Ley 1523 de 2012 en cuanto al principio de corresponsabilidad definido en el artículo 2 como sigue; *"La gestión del riesgo es responsabilidad de todas las autoridades y de los habitantes del territorio colombiano y que en cumplimiento de esta responsabilidad, las entidades públicas, privadas y comunitarias desarrollarán y ejecutarán procesos de conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y manejo de desastres en el marco de sus competencias, su ámbito de actuación y su jurisdicción, como componentes del SNGRD, asimismo los habitantes del territorio nacional, como corresponsables de la gestión del riesgo, deberán actuar con precaución, solidaridad, autoprotección, tanto en lo personal como en lo de sus bienes, y acatarán lo dispuesto por las autoridades"*. Ante la ausencia de la aplicación de la Ley y teniendo en cuenta la definición de los niveles de responsabilidad del estado y del sector privado frente a la gestión del riesgo, se hace necesaria la ejecución del proceso de conocimiento del riesgo en las áreas inentificada como críticas, es decir donde existen amenazas naturales que puedan afectar el normal desarrollo de las comunidades, además de la implementación de políticas de reducción del riesgo, tanto las estructurales, como las no estructurales.

Desde el ámbito ambiental se han creado instrumentos para incluir el riesgo y la gestión del riesgo. De acuerdo a la Política Nacional de Gestión Integrada de la Biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos: *"La gestión del riesgo puede ser un factor clave de articulación intra, inter institucional e intersectorial y movilizador de gestión al interior de las políticas económicas y sectoriales, para enfrentar los riesgos asociados al cambio ambiental y reducir así, la vulnerabilidad social y sectorial asociada al deterioro de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos"* (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012). Desde la perspectiva de dicha política, la corporación debe tener cuenta estos resultados en el manejo integrado del riesgo ambiental de su territorio. Incorporación del riesgo en el ordenamiento territorial, ante lo cual, se evidencia la necesidad de la protección de ecosistemas (y su biodiversidad) la cual puede contribuir a la reducción de la vulnerabilidad de los territorios y comunidades ante desastres naturales. En la siguiente fase se desarrollará el eje de *"Biodiversidad, Gestión del Riesgo y Servicios Ecosistémicos"* el cual se refiere a *"la necesidad de adelantar acciones para enfrentar las amenazas relacionadas con el cambio ambiental (pérdida y transformación de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos + variabilidad y cambio climático), para mantener la resiliencia socio-ecosistémica y reducir su vulnerabilidad, siguiendo el enfoque de mitigación y adaptación basadas en ecosistemas, de manera que no se comprometa la calidad de vida a escalas nacional, regional, local y transfronteriza"* (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012).



EN ETAPA DE PUBLICIDAD