FORMULACIÓN

POMCA

RÍO PIEDRAS - RÍO MANZANARES Y OTROS DIRECTOS AL CARIBE

Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica



FASE DE DIAGNÓSTICO
DOCUMENTO GENERAL

VOL.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL RIESGO

MINAMBIENTE

MINHACIENDA

TODOS POR UN NUEVO PAÍS
PAZ EQUIDAD EDUCACIÓN

POMCA MAGDALENA AMBIENTAL

CORPAMAG

Fondo Adaptación

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO i
LISTA DE FIGURAS iv
LISTA DE TABLAS. xi
VOLUMEN 3 1
CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL RIESGO 1
INTRODUCCIÓN 1
1. METODOLOGÍA GENERAL DEL COMPONENTE 3
2. GENERALIDADES 5
3. CARACTERIZACIÓN HISTÓRICA DE AMENAZAS Y EVENTOS AMENAZANTES 11
3.1. FUENTES DE INFORMACIÓN 11
3.1.1. Documentación 11
3.1.2. Bases de Datos 12
3.1.3. Georreferenciación 13
3.1.4. Actores Estratégicos 13
3.1.5. Recorridos de Campo 13
3.2. CATÁLOGO HISTÓRICO DE EVENTOS AMENAZANTES 14
3.3. CARACTERIZACIÓN HISTÓRICA DE EVENTOS AMENAZANTES 16
3.3.1. Movimientos en masa 17
3.3.2. Inundaciones 21
3.3.3. Incendios Forestales 21
3.3.4. Avenidas Torrenciales 23
3.3.5. Otros eventos Amenazantes 25
4. IDENTIFICACIÓN, CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FENÓMENOS AMENAZANTES Y EVALUACIÓN DE LA AMENAZA 32
4.1. EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD 32
4.1.1. Susceptibilidad a Movimientos en masa 33
4.1.2. Susceptibilidad a Inundaciones 79
4.1.3. Susceptibilidad a Incendios Forestales 89
4.1.4. Susceptibilidad a Avenidas Torrenciales 104
4.1.5. Susceptibilidad a Otros eventos 119
4.2. DEFINICIÓN DE ÁREAS CRÍTICAS 119
4.2.1. Áreas Críticas por Movimientos en masa 119
4.2.2. Áreas Críticas por Inundaciones 121
4.2.3. Áreas Críticas por Incendios forestales 122
4.2.4. Áreas críticas por Avenidas Torrenciales 124
4.2.5. Áreas críticas por Otros eventos 126
4.3. EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA 126
4.3.1. Amenaza por Movimientos en masa 126
4.3.2. Amenaza por Inundaciones 174
4.3.3. Amenaza por Incendios Forestales 185
4.3.4. Amenaza por Avenidas Torrenciales 197

Figura 4.105. Zonificación de amenaza por avenidas torrenciales para la Cuenca Hidrográfica del Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe. 203
4.3.5. Amenaza por otros eventos 206
4.4. Conclusiones 243
5. VULNERABILIDAD 245
5.1. RESUMEN 245
5.2. INTRODUCCIÓN 245
5.2.1. Alcance 245
5.2.2. Objetivos 245
5.2.3. Marco Conceptual General 246
5.3. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD POR MODELO DE ÍNDICES E INDICADORES 248
5.3.1. Resultados del análisis de exposición 250
5.3.2. Resultados del análisis de fragilidad 261
5.3.3. Resultados del análisis de la resiliencia 268
5.3.4. Resultados del análisis de Vulnerabilidad 269
5.4. NECESIDADES DE INFORMACIÓN 271
5.5. RECOMENDACIONES FINALES 271
5.6. CONCLUSIONES 272
6. ANÁLISIS DE RIESGO 273
6.1. RESUMEN 273
6.2. INTRODUCCIÓN 273
6.2.1. Alcance 274
6.2.2. Objetivos 274
6.2.3. Antecedentes 274
6.3. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE RIESGO 276
6.4. RESULTADOS OBTENIDOS 279
6.4.1. Riesgo por movimientos en masa 279
6.4.2. Riesgo por inundaciones 312
6.4.3. Riesgo por Avenidas Torrenciales 316
6.4.4. Riesgo por incendios forestales 321
6.5. NECESIDADES DE INFORMACIÓN 326
6.6. RECOMENDACIONES FINALES 327
6.7. CONCLUSIONES SOBRE RIESGO EN LA CUENCA. 328
7. ANÁLISIS SITUACIONAL 330
7.1. POTENCIALIDADES 330
7.2. LIMITANTES Y CONDICIONAMIENTOS 331
7.3. SÍNTESIS DE LAS POTENCIALIDADES, LIMITANTES Y CONDICIONAMIENTOS PARA LA CUENCA 331
7.4. ANÁLISIS DE TERRITORIOS FUNCIONALES 334
8. SÍNTESIS AMBIENTAL 338
8.1. IDENTIFICACIÓN Y PRIORIZACIÓN DE PROBLEMAS Y CONFLICTOS 338
8.1.1. Análisis Situacional Inicial (Fase de Aprestamiento) 338
8.1.2. Rutas Veredales (Fase de diagnóstico) 339

8.1.3. Mesas Zonales de trabajo (Fase de Diagnóstico) 340
8.1.4. Aporte del Consejo de Cuenca en la priorización de problemas y conflictos 341
8.2. DETERMINACIÓN DE ÁREAS CRÍTICAS 345
8.2.1. Áreas críticas en las rutas veredales 345
8.2.2. Áreas críticas en las mesas zonales de trabajo 345
8.2.3. Áreas críticas desde los aspectos técnicos 347
8.3. LÍNEA BASE DE INDICADORES 348
BIBLIOGRAFÍA 356
ANEXOS. 358

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Localización geográfica de la Cuenca Río Piedras Río Manzanares y otros directos al Caribe 5
Figura 2.2. Geomorfoestructura de la Cuenca del Río Piedras, Río Manzanares y Otros Directos al Caribe 8
Figura 2.3. Número de coberturas por tipo. 9
Figura 3.1. Ruta de la tierra con acompañamiento de actores sociales para verificar el estado del río Manzanares 14
Figura 3.2. Eventos amenazantes en la cuenca hidrográfica 17
Figura 3.3. Eventos históricos y recientes de movimientos en masa 18
Figura 3.4. Frecuencia mensual de inundaciones 21
Figura 3.5. Eventos históricos por Incendios Forestales 22
Figura 3.6. Eventos Históricos por Avenidas Torrenciales 24
Figura 3.7. Crisis en Santa Marta por sequía en agosto de 2014 26
Figura 3.8. Erosión Costera sector Playa Salguero. 27
Figura 3.9. Ubicación del epicentro del sismo de 1834 que destruyo Santa Marta 28
Figura 3.10. Esquema de una Marejada Ciclónica 28
Figura 3.11. Olas contra el camellón de la bahía de Santa Marta, efecto de marejada en enero de 2016 29
Figura 3.12. Esquema del desplazamiento del Huracán Matthew próximo a la Costa Caribe colombiana, en octubre de 2016. 30
Figura 3.13. Caída de árboles por vendaval en zona rural de Santa Marta. 31
Figura 4.1. Esquema para la evaluación de susceptibilidad a movimientos en masa 36
Figura 4.2. Modelo digital del terreno utilizado en el are de la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe. 37
Figura 4.3. Formato para la recolección de información sobre movimientos en masa 38
Figura 4.4. Mapa de eventos históricos, activos y recientes para la cuenca en evaluación. 41
Figura 4.5. Variable Roca -Suelo 44
Figura 4.6. Variable Espesor 46
Figura 4.7. Variable Origen 49
Figura 4.8. Variable Densidad de fracturamiento 50
Figura 4.9. Variable Vegetación 52
Figura 4.10. Variable Geomorfología 54
Figura 4.11. Pendientes 56
Figura 4.12. Orientación de las laderas 57
Figura 4.13. Curvatura de las laderas 59
Figura 4.14. Variable insolación en la cuenca Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe. 60
Figura 4.15. Distancia a cauces 61
Figura 4.16. Distancia a vías 62

Figura 4.17. Densidad de drenaje 64
Figura 4.18. Muestra obtenida espacializada para la determinación de susceptibilidad de amenaza por movimientos en masa para la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe..... 65
Figura 4.19. Normalización de la variable orientación por el método de transformación de Johnson 67
Figura 4.20. Mapa de la susceptibilidad resultante del análisis multivariado discriminante para el área de la cuenca hidrográfica río Piedras – río Manzanares y Otros Directos al Caribe 78
Figura 4.21. Diagrama de flujo para la evaluación de la susceptibilidad por inundaciones fluviales lentas. 80
Figura 4.22. Eventos tipo inundación 82
Figura 4.23. Áreas susceptibles a inundarse 86
Figura 4.24. Áreas con procesos de encharcamientos 87
Figura 4.25. Susceptibilidad a inundaciones en la Cuenca Hidrográfica del Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe. 88
Figura 4.26. Metodología susceptibilidad de la cobertura vegetal. 90
Figura 4.27. Cobertura y uso de la tierra 92
Figura 4.28. Categoría de susceptibilidad de los combustibles de la cuenca 95
Figura 4.29. Susceptibilidad Tipo de Combustible 96
Figura 4.30. Duración de los combustibles de la cuenca 98
Figura 4.31. Susceptibilidad por Duración tipo de Combustible 99
Figura 4.32. Carga total del combustible 100
Figura 4.33. Susceptibilidad por Carga Total del Combustible 102
Figura 4.34. Susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal 103
Figura 4.35. Diagrama de flujo para la evaluación de la susceptibilidad por avenidas torrenciales 106
Figura 4.36. Análisis de imágenes satelitales para la determinación de áreas ocurrentes a eventos por avenidas torrenciales 107
Figura 4.37. Diario de ruta establecido en la obtención de información aportada por las comunidades para la zonificación de susceptibilidad y amenaza por avenidas torrenciales para la Cuenca Hidrográfica del Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe 108
Figura 4.38. Calificación de subunidades geomorfológicas integrada con el reporte de eventos históricos. 109
Figura 4.39. Índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales. 116
Figura 4.40. Susceptibilidad a avenidas torrenciales para la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe. 118
Figura 4.41. Salida cartográfica que muestra la percepción de los actores sociales frente a la zonificación de susceptibilidad por Movimientos en masa 120
Figura 4.42. Inundación Santa Marta, 2010 121
Figura 4.43. Área crítica por inundación en la Cuenca Hidrográfica del Río Piedras- Río Manzanares y Otros Directos al Caribe 122
Figura 4.44. Incendio forestal en Minca 123
Figura 4.45. Áreas críticas por incendios forestales en la Cuenca Hidrográfica Río Piedras - Río Manzanares y Otros directos al Caribe 124

Figura 4.46. Áreas críticas por avenidas torrenciales en la Cuenca Hidrográfica Río Piedras - Río Manzanares y Otros directos al Caribe 125
Figura 4.47. Esquema para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa para la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe. 128
Figura 4.48. Cohesión para la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe 133
Figura 4.49. Peso Unitario para la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe..... 134
Figura 4.50. Ángulo de Fricción para la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe..... 135
Figura 4.51. Tomografía por el método Wenner en las Sabanas de Bonda en el municipio de Santa Marta..... 136
Figura 4.52. Espesor para la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe 136
Figura 4.53. Mapa de unidades Geológicas Superficiales 137
Figura 4.54. Mapa Geológico-Geotécnico para la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe..... 138
Figura 4.55. Profundidad de nivel freático con promedios históricos para la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe. 139
Figura 4.56. Precipitación media máxima diaria en la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe. 142
Figura 4.57. Precipitación máxima para el periodo de retorno a 2 años..... 143
Figura 4.58. Precipitación máxima para el periodo de retorno a 20 años..... 144
Figura 4.59. Precipitación máxima para el periodo de retorno a 50 años..... 145
Figura 4.60. Precipitación máxima para el periodo de retorno a 100 años..... 146
Figura 4.61. Aceleración Horizontal para la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe. 147
Figura 4.62. Calculo del Factor de Seguridad para el escenario 1 seco sin sismo..... 149
Figura 4.63. Calculo del Factor de Seguridad para el escenario 2, seco con sismo 150
Figura 4.64. Calculo del Factor de Seguridad para el escenario 3, periodo de retorno a 2 años sin sismo 151
Figura 4.65. Calculo del Factor de Seguridad para el escenario 4, periodo de retorno a 2 años con sismo 152
Figura 4.66. Calculo del Factor de Seguridad para el escenario 5, periodo de retorno a 20 años sin sismo 153
Figura 4.67. Calculo del Factor de Seguridad para el escenario 6, periodo de retorno a 20 años con sismo 154
Figura 4.68. Calculo del Factor de Seguridad para el escenario 7, periodo de retorno a 50 años sin sismo 155
Figura 4.69. Calculo del Factor de Seguridad para el escenario 8, periodo de retorno a 50 años con sismo 156
Figura 4.70. Calculo del Factor de Seguridad para el escenario 9, periodo de retorno a 100 años sin sismo 157

Figura 4.71. Calculo del Factor de Seguridad para el escenario 10, periodo de retorno a 100 años con sismo 158
Figura 4.72. Escenario de Amenaza 1, seco sin sismo..... 159
Figura 4.73. Escenario de Amenaza 2, seco con sismo 160
Figura 4.74. Escenario de Amenaza 3, periodo de retorno a 2 años sin sismo..... 161
Figura 4.75. Escenario de Amenaza 4, periodo de retorno a 2 años con sismo 162
Figura 4.76. Escenario de Amenaza 5, periodo de retorno a 20 años sin sismo..... 163
Figura 4.77. Escenario de Amenaza 6, periodo de retorno a 20 años con sismo 164
Figura 4.78. Escenario de Amenaza 7, periodo de retorno a 50 años sin sismo..... 165
Figura 4.79. Escenario de Amenaza 8, periodo de retorno a 50 años con sismo 166
Figura 4.80. Escenario de Amenaza 9, periodo de retorno a 100 años sin sismo..... 167
Figura 4.81. Escenario de Amenaza 10, periodo de retorno a 100 años con sismo 168
Figura 4.82. Calibración del modelo de zonificación con el reconocimiento de campo y los eventos activos – recientes..... 170
Figura 4.83. Zonificación de amenaza por movimientos en masa..... 171
Figura 4.84. Porcentajes de cada categoría de amenaza por movimientos en masa..... 172
Figura 4.85. Diagrama de flujo para la aplicación de un modelo de amenaza por inundación..... 175
Fuente: El Consorcio. Adaptado de ERN (2011Diagrama de flujo para la aplicación de un modelo de amenaza por inundación..... 175
Figura 4.86. Distribución en escala de tiempo, de lluvia según los tipos de tormenta del Servicio de Conservación de suelos..... 176
Figura 4.87. Creación del modelo del terreno 178
Figura 4.88. Creación de la geometría de simulación 179
Figura 4.89. Asignación de las condiciones de frontera..... 180
Figura 4.90. Definición de la simulación 180
Figura 4.91. Lectura de los resultados 181
Figura 4.92. Zonificación de amenaza por inundaciones..... 182
Figura 4.93. Metodología zonificación amenaza por incendios forestales..... 186
Figura 4.94. Amenaza por precipitación 190
Figura 4.95. Amenaza por temperatura..... 191
Figura 4.96. Amenaza por pendientes 192
Figura 4.97. Amenaza por accesibilidad..... 193
Figura 4.98. Amenaza por frecuencia eventos históricos 194
Figura 4.99. Mapa de Amenaza por Incendios Forestales para la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe..... 195
Figura 4.100. Diagrama de flujo para la evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales en áreas críticas. 197
Figura 4.101. Indicadores sobre la cronología de flujos densos asociados a procesos torrenciales. 199
Figura 4.102. Geología en el área correspondiente a las áreas críticas de la cuenca Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe para la evaluación de amenaza por avenidas torrenciales. 200
Figura 4.103. Geomorfología caracterizada en las áreas críticas registradas para la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe. 201

Figura 4.104. Reconocimiento de campo en el área de estudio 202
Figura 4.105. Zonificación de amenaza por avenidas torrenciales para la Cuenca Hidrográfica del Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe. 203
Figura 4.106. Porcentajes de amenaza en el área total por Avenidas torrenciales de la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe. 204
Figura 4.107. Sequía en la Sierra Nevada, se observa la disminución de los cauces de las fuentes hídricas. agosto de 2014. 207
Figura 4.108. Comportamiento de la sequía 208
Figura 4.109. Influencia de las estaciones meteorológicas en la Cuenca Hidrográfica del Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe 212
Figura 4.110. Intensidad de los eventos de Sequía 214
Figura 4.111. Intensidad máxima de los eventos de sequía 216
Figura 4.112. Número de días con lluvia 216
Figura 4.113. Intensidad promedio de la sequía (SPI trimestral) en la Cuenca Hidrográfica del río Piedras - río Manzanares y otros directos al Caribe. 217
Figura 4.114. Magnitud máxima de la sequía (SPI trimestral) 218
Figura 4.115. Comportamiento mensual del fenómeno de sequía en la Cuenca Hidrográfica río Piedras - Manzanares y Otros Directos al Caribe. 220
Figura 4.116. Zonificación amenaza por sequía en la Cuenca Hidrográfica río Piedras - Manzanares y Otros Directos al Caribe. 222
Figura 4.117. Estación 67. Cauce del Río Manzanares invadido en el barrio Las Malvinas- Santa Marta. 225
Figura 4.118. Comparación de fotografías áreas que muestran el fenómeno de expansión en el sector de El Rodadero 227
Figura 4.119. Zonas que presentan erosión costera en la Cuenca Hidrográfica río Piedras - río Manzanares y Otros Directos al Caribe. 228
Figura 4.120. Confluencia de las placas tectónicas en la esquina Noroeste de Suramérica. 230
Figura 4.121. Ubicación del epicentro del sismo del 22 de mayo de 1834, que destruyó a Santa Marta, con magnitud de 6,6 a una profundidad de 35 Km. 231
Figura 4.122. Mapa Nacional de Amenaza Sísmica. 233
Figura 4.123. Detalle Sector Cuenca Rio Piedras Manzanares y Otros directos al Caribe. 233
Figura 4.124. Marejadas en Santa Marta 237
Figura 4.125. Imagen satelital de formación y desplazamiento de tormentas con influencia en costas de Colombia. 237
Figura 4.126. Caída de árboles en la vía Santa Marta – Minca, tras el paso de la tormenta Matthew, octubre 04 de 2016. 239
Figura 4.127. Tormenta eléctrica. 240
Figura 4.128. Vientos fuertes en la bahía de Santa Marta producen oleaje que restringe las actividades marítimas. 25 de mayo de 2016. 242
Figura 5.1. Mapa de procesos para el Análisis de Vulnerabilidad en los POMCAS. 250
Figura 5.2. Zonas homogéneas en centros poblados (ZHCP) en la Cuenca Hidrográfica río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe 252
Figura 5.3. Tipo de relieve 253
Figura 5.4. Tipo de coberturas predominantes en las zonas homogéneas 253

Figura 5.5. Zonas Homogéneas rurales 254
Figura 5.6. Índice de pérdida o exposición 261
Figura 5.7. Fragilidad física por tipo de amenaza 262
Figura 5.8. Fragilidad física total 263
Figura 5.9. Porcentaje de Fragilidad Socio Cultural 264
Figura 5.10. Fragilidad Socio – Cultural 265
Figura 5.11. Fragilidad Ecosistémica 266
Figura 5.12. Índice de Fragilidad Total 267
Figura 5.13. Porcentaje de área según las categorías de resiliencia 268
Figura 5.14. Índice de resiliencia 269
Figura 5.15. Índice de Vulnerabilidad 270
Figura 6.1. Procesos para gestión del riesgo en cada una de las fases de un POMCA 275
Figura 6.2. Mapa conceptual para el análisis del Riesgo probabilístico en los POMCAS 278
Figura 6.3. Distribución porcentual categorías de riesgo -Escenario 1 280
Figura 6.4. Valores de reposición categorías de riesgo por movimientos en masa -Escenario1 281
Figura 6.5. Escenario 1. Riesgo por Movimientos en masa 282
Figura 6.6. Distribución porcentual categorías de riesgo -Escenario 2 283
Figura 6.7. Valores de reposición categorías de riesgo por movimientos en masa –Escenario 2 285
Figura 6.8. Escenario 2. Riesgo por Movimientos en masa 286
Figura 6.9. Escenario 3. Riesgo por Movimientos en masa 287
Figura 6.10. Escenario 4. Riesgo por Movimientos en masa 290
Figura 6.11. Distribución porcentual de las categorías del escenario 5 292
Figura 6.12. Escenario 5: Movimientos en masa 293
Figura 6.13. Distribución porcentual de las categorías del escenario 6 294
Figura 6.14. Escenario 6: Movimientos en masa 295
Figura 6.15. Distribución porcentual categorías de riesgo -Escenario 7 296
Figura 6.16. Valores de reposición categorías de riesgo por movimientos en masa –Escenario 7 298
Figura 6.17. Escenario 7. Riesgo por Movimientos en masa 299
Figura 6.18. Distribución porcentual categorías de riesgo -Escenario 8 300
Figura 6.19. Valores de reposición categorías de riesgo por movimientos en masa –Escenario 8 302
Figura 6.20. Escenario 8. Riesgo por Movimientos en masa 303
Figura 6.21. Escenario 9. Riesgo por Movimientos en masa 304
Figura 6.22. Escenario 10. Riesgo por Movimientos en masa 306
Figura 6.23. Distribución porcentual del escenario de riesgo por movimientos en masa 308
Figura 6.24. Riesgo por movimientos en masa 309
Figura 6.25. Extensión de la cobertura (ha) afectada por la ocurrencia de movimientos en masa 310
Figura 6.26. Escenario de riesgo priorizado por movimientos en masa 311
Figura 6.27. Distribución porcentual de las categorías de riesgo por inundaciones 312
Figura 6.28. Riesgo por inundaciones 313
Figura 6.29. Escenarios de riesgo priorizados por inundaciones 315
Figura 6.30. Riesgo por avenidas torrenciales 317
Figura 6.31. Valores de reposición categoría de riesgo por avenidas torrenciales 319
Figura 6.32. Escenarios de riesgos priorizados por avenidas torrenciales 320
Figura 6.33. Porcentaje de área en riesgo por incendios forestales 321

Figura 6.34. Riesgo por incendios forestales..... 322
Figura 6.35. Valores de reposición por categorías de amenaza 325
Figura 6.36. Escenarios de riesgo priorizados por incendios forestales 326
Figura 7.1. Relaciones urbano-rurales en el área de la Cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe..... 336
Figura 8.1. Síntesis de problemas y fortalezas identificadas en la ruta veredal 339
Figura 8.2. Mapa de áreas críticas con aporte de actores de la cuenca 346
Figura 8.3. Leyenda mapa de áreas críticas 347
Figura 8.4. Áreas críticas determinadas desde los aspectos técnicos..... 348

LISTA DE TABLAS.

Tabla 2.1. Clases e intervalos en porcentaje y grados con sus respectivas áreas, utilizados por el SGC para clasificar las pendientes del terreno. 6
Tabla 2.2. Número de coberturas por tipo. 8
Tabla 2.3. Coberturas presentes en la cuenca. 9
Tabla 3.1. Documentación empleada en el catálogo histórico de eventos amenazantes 11
Tabla 3.2. Jerarquización de la distribución de los eventos amenazantes y los elementos expuestos (1) 15
Tabla 3.3. Jerarquización de la ocurrencia de los eventos amenazantes en la cuenca (2) 15
Tabla 3.4. Inventario Movimientos en Masa 19
Tabla 3.5. Inventario de incendios forestales 23
Tabla 3.6. Inventario de avenidas torrenciales 24
Tabla 3.7. Reporte de otros Eventos Amenazantes 25
Tabla 4.1. Movimientos en masa identificados en campo 39
Tabla 4.2. Variables utilizadas en el modelo de susceptibilidad 43
Tabla 4.3. Ponderación de la variable Roca – Suelo 43
Tabla 4.4. Ponderación de la variable Roca – Suelo 44
Tabla 4.5. Ponderación de la variable espesor 45
Tabla 4.6. Espesores de los depósitos neógenos y cuaternarios 45
Tabla 4.7. Ponderación de la variable Origen 47
Tabla 4.8. Origen y composición de los depósitos de suelos 47
Tabla 4.9. Ponderación de la variable densidad de fracturamiento 50
Tabla 4.10. Ponderación de la variable vegetación 51
Tabla 4.11. Ponderación de la variable Geomorfología 53
Tabla 4.12. Categorías de la variable Pendiente 55
Tabla 4.13. Categorías de la variable Orientación de las laderas 57
Tabla 4.14. Categorías de la variable curvatura de las laderas 58
Tabla 4.15. Categorías de la variable distancia a cauces 61
Tabla 4.16. Categorías de la variable distancia a vías 62
Tabla 4.17. Densidad y longitud de drenaje por subcuenca 63
Tabla 4.18. Categorías de la variable densidad de drenaje 64
Tabla 4.19. Test Kolmogorov – Smirnov (KS) para la muestra obtenida en la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe. 66
Tabla 4.20. Prueba de Kolmogorov – Smirnov para la variable categórica Orientación_v4 con valores normalizados. 67
Tabla 4.21. Análisis factorial de componentes principales en la matríz de correlación entre variables. 68
Tabla 4.22. Análisis de componentes principales para la varianza total explicada [a] 69
Tabla 4.23. Comunalidades [a] o varianza total de cada una de las variables. 69
Tabla 4.24. Matríz de componente [a, b] 70

Tabla 4.25. Matríz de componentes rotados [a, b] con pesos de las variables para cada uno de los 5 factores resultantes del analisis factorial mayores a 0,40. 70
Tabla 4.26. Relación de variables para cada factor a partir de la matríz de correlaciones 71
Tabla 4.27. Prueba "T" para el análisis de medias en cada variable categórica. 72
Tabla 4.28. Test ANOVA para el análisis de varianzas para las variables categóricas en la muestra. 75
Tabla 4.29. Resultados del análisis M de Box para las variables categóricas determinadas para la función discriminante..... 76
Tabla 4.30. Lambda de Wilks..... 76
Tabla 4.31. Coeficientes de la función Discriminante estandarizados..... 76
Tabla 4.32. Porcentajes de clasificación para cada función discriminante..... 77
Tabla 4.33. Calificación de susceptibilidad por inundaciones a partir de la caracterización geomorfológica. 81
Tabla 4.34. Categoría de amenaza – Tipo de combustible 91
Tabla 4.35. Categoría de amenaza – Duración del tipo de combustible..... 91
Tabla 4.36. Categoría de amenaza – Carga total del combustible..... 91
Tabla 4.37. Coberturas presentes en la cuenca 93
Tabla 4.38. Tipo de Combustible..... 94
Tabla 4.39. Duración del Combustible por tipo de cobertura..... 97
Tabla 4.40. Carga total de combustible por tipo de cobertura..... 100
Tabla 4.41. Categoría de susceptibilidad por incendios forestales..... 104
Tabla 4.42. Relaciones para categorizar el índice morfométrico para cada cuenca de segundo nivel subsiguiente 110
Tabla 4.43. Índices morfométricos de torrencialidad obtenidos para la Cuenca Hidrográfica del Río Piedras- Río Manzanares y otros directos al Caribe..... 110
Tabla 4.44. Clasificación del Índice de Variabilidad 113
Tabla 4.45. Clasificación del Índice de vulnerabilidad frente a Eventos Torrenciales (IVET)..... 114
Tabla 4.46. Índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales (IVET) para el área de la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe. 114
Tabla 4.47. Clasificación de la susceptibilidad de amenaza por avenidas torrenciales 117
Tabla 4.48. Parámetros Geológico – Geotécnicos obtenidos para las unidades geológicas superficiales en la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe . 129
Tabla 4.49. Correlación entre la fecha de ocurrencia de movimientos en masa y precipitación... 140
Tabla 4.50. Precipitación máxima diaria por periodo de retorno para la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe. 143
Tabla 4.51. Aceleración horizontal por municipios en el área de la cuenca..... 147
Tabla 4.52. Escenarios de análisis de escenarios de evaluación de amenaza por MM 148
Tabla 4.53. Grados de estabilidad según rangos del Factor de Seguridad para la zonificación de movimientos en masa en los POMCA. 149
Tabla 4.54. Categorías amenaza por inundación 177
Tabla 4.55. Categoría de amenaza – Temperatura 186
Tabla 4.56. Categoría de amenaza – Precipitación 187
Tabla 4.57. Categoría de amenaza – Pendiente..... 187
Tabla 4.58. Categoría de amenaza – Accesibilidad 188

Tabla 4.59. Categorización de amenaza por avenidas torrenciales 198
Tabla 4.60. Correlación de subunidades geomorfológicas, litología y procesos morfodinámicos. 202
Tabla 4.61. Porcentajes de amenaza en el área total de la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe. 204
Tabla 4.62. Categorización de eventos de sequía de acuerdo con el Índice SPI 210
Tabla 4.63. Categorización de eventos de sequía de acuerdo con el Índice SPI. 211
Tabla 4.64. Amenaza por sequía meteorológica 215
Tabla 4.65. Relación intensidad y magnitud máxima de los eventos de sequía por estación 218
Tabla 4.66. Municipios costeros del Departamento del Magdalena 223
Tabla 4.67. Áreas reportadas como críticas dentro de la cuenca 227
Tabla 4.68. Intensidad sísmica en escala Mercalli 234
Tabla 4.69. Escala de Magnitud Sísmica de Ritcher 235
Tabla 5.1. Variables requeridas para el análisis de vulnerabilidad 247
Tabla 5.2. Zonas homogéneas en centros poblados (ZHCP) 251
Tabla 5.3. Tipo de coberturas zonas homogéneas AMA y AMB 255
Tabla 5.4. Tipo de coberturas zonas homogéneas APA y APB 256
Tabla 5.5. Tipo de coberturas zona homogénea ART 257
Tabla 5.6. Tipo de coberturas zonas homogéneas BMA y BMB 257
Tabla 5.7. Tipo de coberturas zonas homogéneas BPA Y BPB 258
Tabla 5.8. Tipo de coberturas zonas homogéneas HCA 259
Tabla 5.9. Índice de pérdida zonas homogéneas centros poblados 260
Tabla 5.10. Índice de pérdida zonas homogéneas rurales 260
Tabla 5.11. Categorías del ICV 264
Tabla 5.12. Categorías para la evaluación de la fragilidad de ecosistemas estratégicos. 265
Tabla 5.13. Categorización del índice de vulnerabilidad (IV) 270
Tabla 6.1. Categorías de probabilidad de ocurrencia de un evento amenazante 279
Tabla 6.2. Matriz de categorización para Niveles de índice Riesgo (IR) en el análisis probabilístico. 279
Tabla 6.3. Tipo de cobertura por categoría de riesgo – Escenario 1 280
Tabla 6.4. Tipo de cobertura por categoría de riesgo – Escenario 2 283
Tabla 6.5. Índice de pérdida de las coberturas vegetales –Escenario 3 288
Tabla 6.6. Índice de pérdida de las coberturas vegetales –Escenario 3 291
Tabla 6.7. Tipo de cobertura por categoría de riesgo – Escenario 7 297
Tabla 6.8. Tipo de cobertura por categoría de riesgo – Escenario 8 300
Tabla 6.9. Índice de pérdida de las coberturas vegetales –Escenario 9 305
Tabla 6.10. Índice de pérdida de las coberturas vegetales –Escenario 10 307
Tabla 6.11. Estimación daños en los elementos expuestos lineales -Riesgo por movimientos en masa 312
Tabla 6.12. Estimación daños en los elementos expuestos puntuales -Riesgo por movimientos en masa 312
Tabla 6.13. Índice de pérdida de las coberturas vegetales más representativas en el escenario de riesgo por inundaciones 314
Tabla 6.14. Estimación daños en los elementos expuestos lineales -Riesgo por Inundación 316
Tabla 6.15. Estimación daños en los elementos expuestos puntuales -Riesgo por Inundación 316

Tabla 6.16. Riesgo vs Vulnerabilidad y amenaza por avenidas torrenciales 317
Tabla 6.17. Valor de reposición en las coberturas vegetales más representativas en el escenario de riesgo por avenidas torrenciales 318
Tabla 6.18. Estimación daños en los elementos expuestos lineales -Riesgo por avenidas torrenciales 320
Tabla 6.19. Estimación daños en los elementos expuestos puntuales -Riesgo por avenidas torrenciales 321
Tabla 6.20. Riesgo vs vulnerabilidad y amenaza por incendios forestales 323
Tabla 6.21. Valores de reposición de las coberturas vegetales 323
Tabla 7.1. Síntesis de las potencialidades, limitantes y condicionamientos 332
Tabla 8.1. Síntesis Análisis Situacional Inicial 338
Tabla 8.2. Matriz de priorización de problemas y conflictos 342
Tabla 8.3. Problemáticas Y Conflictos Priorizados Desde Los Aspectos Técnicos 342
Tabla 8.4. Descripción de áreas críticas en la cuenca mediante Diario de Ruta 345

VOLUMEN 3

CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL RIESGO

INTRODUCCIÓN

La Fase de Diagnostico, implica la caracterización de los diferentes aspectos que conforman la cuenca y la interrelación entre estos, por lo tanto implica que desarrolle la caracterización del medio físico-biótico, de las condiciones sociales, culturales y económicas, del modelo político administrativo, de las funcionalidades de la cuenca y de las condiciones de riesgo; respecto de este último aspecto, corresponde, de acuerdo con el Anexo Alcances Técnicos, realizar la identificación y análisis de las condiciones de amenaza y vulnerabilidad que puedan limitar o condicionar el uso del territorio y el aprovechamiento de los recursos naturales; para ello, contar con la participación de los actores claves identificados dentro de la cuenca, es uno de los recursos de mayor importancia, puesto que ellos aportan en la identificación de las áreas críticas donde se da la ocurrencia de fenómenos amenazantes, y a la priorización de los problemas y conflictos ambientales derivados de la ocurrencia de estos fenómenos.

La caracterización de las condiciones de riesgo, se desarrolla bajo tres derroteros establecidos que corresponden a: 1. Caracterización histórica de amenazas y eventos amenazantes, 2. identificación, clasificación y caracterización de fenómenos amenazantes y evaluación de la amenaza y 3. Análisis de vulnerabilidad y riesgos.

En el Anexo Alcances Técnicos, se encuentra definido que los eventos a evaluar son 1. Movimientos en masa, 2. Inundación, 3. Avenidas Torrenciales, y 4. Incendios forestales; estos eventos se han analizado en diferentes niveles y en función de la información disponible y pertinente para la escala de trabajo. Adicionalmente, se ha considerado incluir otros eventos que eventualmente se han presentado en la Cuenca Hidrográfica del río Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe y han tenido repercusiones negativas sobre vidas humanas, infraestructura y desarrollo socio económico los cuales corresponden a sequias intensas y sismos, que se analizan a partir de información secundaria.

El objetivo general de la Caracterización De Las Condiciones Del Riesgo, es el de Identificar y analizar la susceptibilidad de la Cuenca Hidrográfica del río Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe a la generación de diferentes amenazas naturales, su vulnerabilidad y escenarios de riesgo, de acuerdo con el comportamiento espacio – temporal de los eventos amenazantes y sus afectaciones a las estructuras socioeconómicas y eco sistémicas; y como objetivos específicos se plantea

Inventariar y caracterizar los eventos históricos amenazantes ocurridos en la Cuenca Hidrográfica del río Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe.

Identificar la susceptibilidad de la cuenca objeto de ordenación, a la generación u ocurrencia de amenazas naturales, tales como: Movimientos en Masa, Inundaciones, Avenidas Torrenciales, Incendios Forestales y Desertización.

Evaluar y zonificar las amenazas naturales en las áreas identificadas como de susceptibilidad crítica (Alta y Media).

Identificar y caracterizar los elementos expuestos que son vulnerables ante los diferentes eventos amenazantes analizados en las áreas identificadas como de amenaza alta.

Determinar el grado de afectación que puede ocasionar un determinado evento amenazante sobre los elementos vulnerables que conforman los ecosistemas, centros poblados, superficies agrícolas y población.

Definir y priorizar los escenarios de riesgos, con base al análisis de las vulnerabilidades y eventos amenazantes de la cuenca objeto de ordenación.

1. METODOLOGÍA GENERAL DEL COMPONENTE

La caracterización de las condiciones de riesgo, implica una serie de actividades específicas para cada uno de los tres derroteros establecidos, las cuales se explican a continuación como metodología general empleada para su desarrollo, sin embargo, en los ítems específicos para cada uno de ellos, la metodología de su análisis se expone de manera detallada.

El primer derrotero es la Caracterización histórica de amenazas y eventos amenazantes, en el cual se realizó la compilación y análisis de la información correspondiente a eventos históricos ocurridos en la cuenca, a partir de información colectada en campo, con los habitantes de la cuenca, la encontrada en diferentes archivos de periódicos regionales, informes de entidades locales y registros de algunos estudios técnicos. Luego esta información se validó, contrastando los datos de un mismo evento en diferentes fuentes y con ello se construyó el inventario, que se sistematizó con los parámetros definidos, para su posterior análisis en el Sistema de Información Geográfica SIG.

La construcción del inventario, permitió elaborar las correspondientes salidas cartográficas para cada uno de los tipos de eventos a analizar y sobre ellas se pudo nuevamente validar con la comunidad la información obteniendo algunos ajustes y complementos los cuales fueron incorporados en la salida cartográfica final, la cuales se elaboraron siguiendo los estándares definidos en el documento de Protocolo para la incorporación de la gestión de riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas[1].

El segundo derrotero es la Identificación, clasificación y caracterización de fenómenos amenazantes y evaluación de la amenaza, que corresponde con la Evaluación y Zonificación de la Susceptibilidad y Amenaza para cada uno de los tipos de eventos amenazantes a analizar: Movimientos en Masa, Inundaciones, Avenidas Torrenciales e Incendios Forestales.

Las actividades desarrolladas en la construcción de este derrotero, se encaminaron a definir la Zonificación de la Susceptibilidad, la Zonificación de la Amenaza y la Elaboración de los productos que corresponden a este documento técnico en el cual se presentan los antecedentes, objetivos y alcances de la caracterización; la metodología especifica empleada en el desarrollo del análisis de cada uno de los tipos de eventos analizados; se indican las variables temáticas, se describen los resultados obtenidos y se dan recomendaciones tendientes a definir condicionamientos y exigencias de las zonas definidas como propensas a la ocurrencia de eventos amenazantes. También se presentan los anexos que incluyen los formatos de campo, el inventario de eventos históricos y activos, registro fotográfico, salidas cartográficas y mapas finales.

[1] Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible, Ministerio De Hacienda, Fondo De Adaptación. Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas. Bogotá D.C., 2014

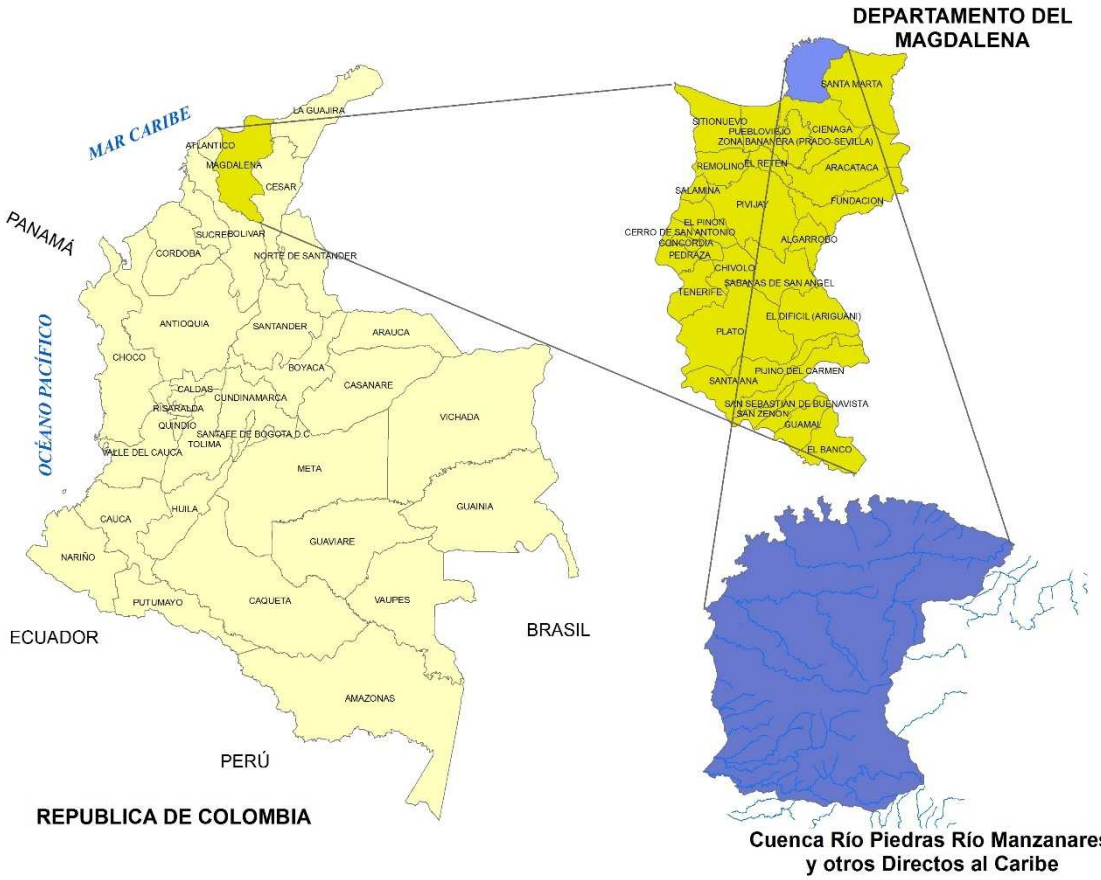
Y el tercer derrotero, complemento para llegar a la estimación del riesgo, es el Análisis de vulnerabilidad, cuyo análisis tiene por objeto conocer, estudiar y anticipar la propensión de un sistema o sociedad de ser dañada o afectada como consecuencia de la ocurrencia de un evento amenazante, se sintetiza en el establecimiento de índices de vulnerabilidad e indicadores de riesgo que definen zonas para evaluación de amenazas. Estas zonas se establecen específicamente para cada uno de los tipos de eventos amenazantes analizados y teniendo en cuenta las zonas identificadas como de amenaza, relacionadas con las frecuencias de los fenómenos más que su intensidad, y con los aspectos que caracterizan las condiciones predominantes en términos de áreas propensas, fragilidad socioeconómica y falta de resiliencia social.

La metodología empleada para analizar la vulnerabilidad a cada uno de los tipos de eventos amenazantes, es descrita detalladamente en el ítem respectivo.

2. GENERALIDADES

La cuenca hidrográfica río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe, está localizada dentro del departamento de Magdalena que a su vez colinda con los departamentos de La Guajira al Nororiente, Cesar al oriente, Bolívar al sur occidente, Atlántico al occidente y al norte con el océano Atlántico. Esta cuenca pertenece a la macro cuenca Caribe, posee una extensión total aproximada de 92799.45 hectáreas. La Figura 2.1 muestra la ubicación espacial de la Cuenca en el contexto Nacional, Regional y Local.

Figura 2.1. Localización geográfica de la Cuenca Río Piedras Río Manzanares y otros directos al Caribe



La Cuenca Río Piedras Río Manzanares y otros directos al Caribe está geográficamente enmarcada en las siguientes coordenadas:

X min: -74.24247914 X máx.: -73.8859823099
Y min: 10.991065152 Y máx.: 11.34891207

Los límites hidrográficos de la cuenca son:

Norte:
Océano Atlántico

Sur:
Cuencas de los ríos Frío y Sevilla

Occidente:
Océano Atlántico

Oriente:
Cuenca de los ríos Guachaca, Mendiguaca y Buritaca

Las pendientes en la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y Otros directos al Caribe son variables, de las cuales cinco de las clases en la cuenca tienen una distribución homogénea (clases 1, 2, 3, 4 y 6), salvo la clase plana a suave (1) las restantes incrementan gradualmente; la clase muy abrupta (5) junto con la clase muy escarpada (7) resultan atípicas, la primera por su alta ocurrencia mientras que la segunda por la escasa presencia. No obstante, lo anterior indica lo proclive de la cuenca a presentar fenómenos de remoción en masa y lo expuesto que están los asentamientos humanos e infraestructuras a la amenaza. En este sentido, la cuenca es vulnerable a la propagación de incendios por lo fuerte de sus gradientes de inclinación, aunado a la exposición de vientos y bajas precipitaciones.

Tabla 2.1. Clases e intervalos en porcentaje y grados con sus respectivas áreas, utilizados por el SGC para clasificar las pendientes del terreno.

Clase			Área		
Símbolo	**Nombre**	**Intervalo °**	**m²**	**Ha**	**%**
1	Plana a suave	0 - 5	133675900	13367.590	14.4
2	Inclinada	5 - 10	104198600	10419.860	11.23
3	Muy inclinada	10 - 15	120294800	12029.480	12.96
4	Abrupta	15 - 20	141039000	14103.900	15.2
5	Muy abrupta	20 - 30	272770400	27277.040	29.39
6	Escarpada	30 - 45	149289300	14928.930	16.09
7	Muy Escarpada	> 45	6726400	672.640	0.72

Geológicamente la cuenca hidrográfica, se encuentra ubicada en el sector norte del Departamento del Magdalena, haciendo parte de los denominados Terrenos Geológicos de la Sierra Nevada, Sevilla y Santa Marta. El Terreno Sierra Nevada, corresponde a "un terreno ensiálico, limitado al Norte por el Lineamiento de Sevilla, al Oeste por la Falla de Santa Marta- Bucaramanga y al este por el Lineamiento del Cesar, y constituido por una alternancia de varios tipos de rocas félsicas y mafias de la facies granulita, muchos con ortopiroxenos de edad precámbrica; atravesando plutones félsicos jurásicos dispuestos en una faja cuarzodioritica al Norte y otra cuarzo monzonitica al Sur; y con cobertera sedimentaria de conglomerados, arenitas, lodolitas rojas y rocas volcánicas espilíticas conservadas al sur y paralelamente al Lineamiento del Cesar. El Terreno Sevilla, limitado al Norte por la Falla de Oca, al Oeste por la Falla de Santa Marta- Bucaramanga, al Sureste por el Lineamiento de Sevilla y al Noroeste por el Complejo Metamórfico de Sevilla – Cinturón Metamórfico de Santa Marta; está constituido por un complejo poli metamórfico de neises máficos y esquistos, algunos bloques de granulitas y de rocas Ultramáficas; y es un terreno que probablemente representa la corteza oceánica acrecentada durante el jurásico al terreno de la Sierra Nevada a lo largo del Lineamiento de Sevilla (sutura criptica). El Terreno Santa Marta, limitado al Norte por la Falla de Oca, al Oeste por la Falla de Santa Marta – Bucaramanga y al Sureste por el Complejo Metamórfico de Sevilla- Cinturón Metamórfico de Santa Marta, está constituido por dos fajas metamórficas: la de la costa presenta filita y esquisto verde; la de la contracosta contiene mica esquistos y anfibolita[2].

Las geomorfoestructuras son extensas áreas que se caracterizan por las estructuras geológicas con procesos de deformación o basculamiento (Carvajal, 2011). En la Cuenca Río Piedras, Río Manzanares y Otros Directos al Caribe se identificaron dos geomorfoestructuras: la megacuenca de sedimentación, configurada tanto por los sedimentos provenientes de la erosión de la Sierra Nevada de Santa Marta, la sedimentación de los ríos Manzanares, Piedras, Toribio y Cordobita y, la sedimentación marina y costera. La segunda megaestructura es la cordillera que corresponde a la SNSM. En la Figura 2.2 se presenta la ubicación de la geomorfoestructura en el área de estudio.

Las provincias geomorfológicas representan un conjunto de geoformas definidas por un macro-relieve y una génesis geológica similar, en este sentido la Cuenca Río Piedras, Río Manzanares y Otros Directos al Caribe pertenece a las provincias geomorfológicas: Sierra Nevada de Santa Marta y plataforma continental caribe, dentro de las cuales se identifican las siguientes regiones geomorfológicas:

- Ambiente estructural: se refiere a zonas dominadas por bloques tectónicos de rocas sedimentarias plegadas y/o macizos ígneos – metamórficos, con geoformas derivadas de la dinámica interna, muy relacionadas con plegamientos y fallamientos.
- Ambiente denudacional: son geoformas cuya expresión morfológica está definida por la acción combinada de procesos moderados a intensos de meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial que remodelan y dejan remanentes de las unidades preexistentes.

[2] Colmenares F., Mesa A., Roncancio H., Et al. Geología de las Planchas 11,12,13,14,18,19,20,21,25,26,27,33 y 34. Proyecto "Evolución Geohistorica de la Sierra Nevada de Santa Marta". Bogotá, INGEOMINAS, 2007.

- Ambiente fluvial y lacustre: está dominado por la acción de las corrientes de agua y el transporte de sedimentos sobre la superficie terrestre, con geoformas resultantes de la sedimentación de ríos, quebradas, lagos y lagunas.
- Ambiente marino y costero: geoformas construidas por los procesos marinos de oleaje y la acción de las mareas sobre los elementos continentales tales como la estructura y la litología local, al igual que, los aportes fluviales deltaicos y las formaciones arrecifales.

Figura 2.2. Geomorfoestructura de la Cuenca del Río Piedras, Río Manzanares y Otros Directos al Caribe



Como resultado del proceso de interpretación de coberturas para la cuenca, se obtuvieron 66 tipos de coberturas entre naturales y antrópicas (ver Tabla 2.2 y Figura 2.3). La Tabla 2.3, muestra en valores de área (en ha) y porcentaje (%) cada una de las 67 coberturas identificadas durante el proceso de interpretación para la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe.

Tabla 2.2. Número de coberturas por tipo.

TIPOS DE COBERTURAS	
Coberturas antrópicas	44
Coberturas naturales	22
Sin información	1

Figura 2.3. Número de coberturas por tipo.

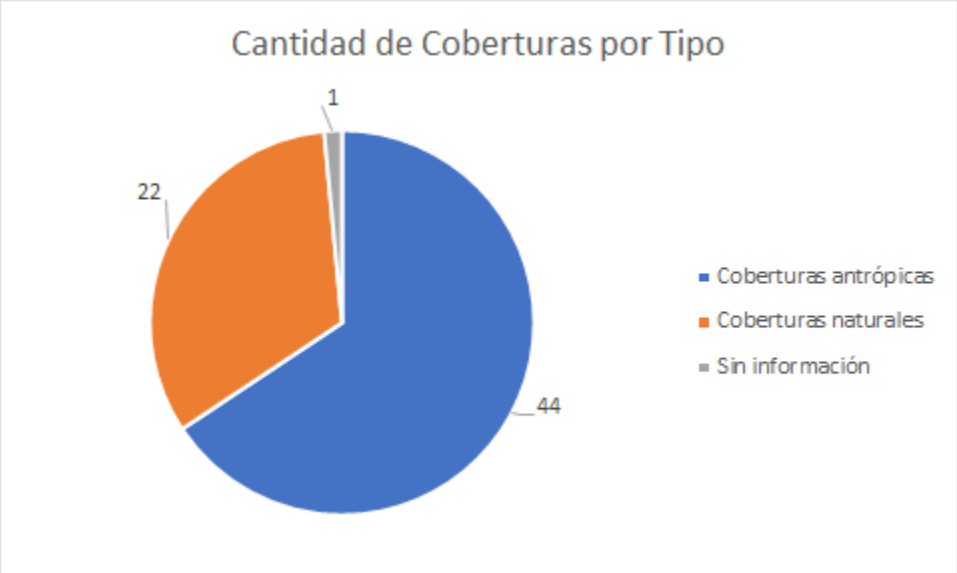


Tabla 2.3. Coberturas presentes en la cuenca.

COD.	NOMBRE COBERTURA	ÁREA_HA	%	COD.	NOMBRE COBERTURA	ÁREA_HA	%
111	Tejido urbano continuo	3483,69	3,75	2431	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos	917,1	0,99
112	Tejido urbano discontinuo	183,16	0,2	2432	Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos	1103,45	1,19
121	Zonas industriales o comerciales	30,37	0,03	2433	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales herbáceos	47,99	0,05
142	Instalaciones recreativas	32,43	0,03	2441	Mosaico de pastos con espacios naturales arbóreos	653,61	0,7
211	Otros cultivos transitorios	17,01	0,02	2442	Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos	6101,17	6,57
223	Cultivos permanentes arbóreos	247,89	0,27	2443	Mosaico de pastos con espacios naturales herbáceos	76,06	0,08
231	Pastos limpios	4201,98	4,53	2451	Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos	1887,54	2,03
232	Pastos arbolados	1224,42	1,32	2452	Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos	409,84	0,44
233	Pastos enmalezados	2046,58	2,21	2453	Mosaico de pastos con espacios naturales herbáceos	386,49	0,42
242	Mosaico de pastos y cultivos	714,84	0,77	3131	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	2810,72	3,03
332	Afloramientos rocosos	136,95	0,15	3132	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	7516,68	8,1
333	Tierras desnudas y degradadas	124,35	0,13	3141	Bosque de galería y/o ripario alto	293,27	0,32
411	Zonas Pantanosas	14,51	0,02	3142	Bosque de galería y/o ripario bajo	55,99	0,06
511	Ríos	266,49	0,29	3151	Plantación de coníferas	54,76	0,06

COD.	NOMBRE COBERTURA	ÁREA_HA	%	COD.	NOMBRE COBERTURA	ÁREA_HA	%
514	Cuerpos de agua artificiales	4,25	0,005	3231	Vegetación secundaria alta	2340,24	2,52
521	Lagunas costeras	21,27	0,02	3232	Vegetación secundaria baja	6124,47	6,6
522	Mares y océanos	26,74	0,03	3311	Playas	134,62	0,15
999	Nube, sombras o ausencia de insumo	4,39	0,005	3331	Tierras erosionadas	6,39	0,01
1211	Zonas industriales	328,4	0,35	3332	Remoción en masa	24,79	0,03
1212	Zonas comerciales	83,05	0,09	22221	Café a plena exposición	539,52	0,58
1221	Vias	249,83	0,27	22222	Café con semisombra sombrío	568,86	0,61
1231	Zonas portuarias fluviales	17,85	0,02	22223	Café con sombrío	3856,27	4,16
1241	Aeropuerto con infraestructura asociada	31,85	0,03	31111	Bosque denso alto de tierra firme	5825,35	6,28
1312	Explotación de hidrocarburos	139,05	0,15	31121	Bosque denso bajo de tierra firme	23375,08	25,19
1315	Explotación de materiales de construcción	13,17	0,01	31221	Bosque abierto bajo de tierra firme	2086,1	2,25
1411	Otras zonas verdes urbanas	9,94	0,01	32122	Herbazal abierto rocoso	9,63	0,01
1421	Áreas culturales	51,55	0,06	32211	Arbustal denso alto	9386,22	10,11
1422	Áreas deportivas	17,36	0,02	32212	Arbustal denso bajo	1139,99	1,23
1423	Áreas turísticas	99,8	0,11	32221	Arbustal abierto esclerofilo	248,06	0,27
2213	Plátano y banano	181,25	0,2	32222	Arbustal abierto mesófilo	281,04	0,3
2221	Otros cultivos permanentes arbustivos	1,93	0,002	121152	Avicultura	3,31	0,004
2231	Otros cultivos permanentes arbóreos	46,75	0,05	321111	Herbazal denso de tierra firme no arbolado	63,16	0,07
2232	Palma de aceite	53,21	0,06	321112	Herbazal denso de tierra firme arbolado	69,4	0,07
2233	Cítricos	2,56	0,003	321113	Herbazal denso de tierra firme con arbustos	293,42	0,32

3. CARACTERIZACIÓN HISTÓRICA DE AMENAZAS Y EVENTOS AMENAZANTES

Para la consolidación del inventario histórico de eventos amenazantes, se realizó la recopilación, análisis y georreferenciación de reportes e información secundaria, con el propósito de estimar características generales de los fenómenos naturales, tales como: Tipo, magnitud, duración, recurrencia y causas. Esta información es fundamental en el proceso metodológico, debido a que se constituye en el primer insumo para la calibración y validación de los resultados obtenidos en la zonificación de cada una de las amenazas naturales evaluadas.

3.1. *FUENTES DE INFORMACIÓN*

Las principales fuentes incluidas en la caracterización histórica de eventos amenazantes, fueron clasificadas en cuatro grupos de acuerdo con el tipo de información aportante. Estos grupos son: Documentación, Bases de Datos, Actores estratégicos y Recorridos de campo.

3.1.1. Documentación

En primera instancia, se consultaron los planes, informes técnicos y visitas de emergencia de cada una de las entidades territoriales que hacen parte de la cuenca objeto de ordenación, entre los que se destacan los Planes Municipales de Gestión del Riesgo de Desastres Planes de Ordenación y Manejo de las Cuencas Hidrográficas de los ríos Piedras, Manzanares y Gaira, y los Planes de Ordenamiento Territorial[3]. También se analizaron los datos, estadísticas y registros consignados en los ejercicios de ordenación anteriores y en los planes de acción desarrollados por la Gobernación del Magdalena y por la Corporación Autónoma Regional del Magdalena. La Tabla 3.1 contiene un resumen de la documentación consultada.

Tabla 3.1. Documentación empleada en el catálogo histórico de eventos amenazantes

Documento	Año	Autor
Plan de Ordenamiento territorial y manejo de la cuenca hidrográfica del Río Piedras	2013	CORPAMAG, Parques Nacionales Naturales y Otros
Plan de Ordenamiento y manejo de la cuenca hidrográfica del Río Manzanares	2013	CORPAMAG, Parques Nacionales Naturales y Otros
Plan de Ordenamiento y manejo de la cuenca hidrográfica del Río Gaira	2013	CORPAMAG, Parques Nacionales Naturales y Otros
Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres del municipio de Ciénaga (Magdalena)	2013	Consejo municipal para la gestión del riesgo de Desastres (CMGRD Ciénaga) y Alcaldía municipal de Ciénaga.
Plan Distrital para la Gestión del Riesgo de Desastres, Distrito turístico, cultural e histórico de Santa Marta.	2012	Consejo Distrital par la Gestión del Riesgo de Desastres.
Diagnóstico de las geoamenazas que afectan las cuencas hidrográficas de los ríos Gaira, Manzanares y Piedras y su	2012	Babilonia Franco, K. y García Álvarez L.

[3] Hace alusión a todos los tipos de planes previstos en el artículo 9 de la Ley 388 de 1997, es decir al conjunto de Planes de Ordenamiento Territorial – POT, Planes Básicos de Ordenamiento Territorial – PBOT y Esquemas de Ordenamiento Territorial - EOT

Documento	Año	Autor
incidencia en los planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas (POMCA)		
Control de Inundaciones de la cuenca del río Manzanares en el municipio de Santa Marta-Magdalena - Colombia	2009	Ing. Katherine Leal Bohórquez, Universidad Mayor de San Simón, ITC, CLAS
Reconstrucción de los efectos ambientales generados por la ola invernal 2010-2011 en el Departamento del Magdalena	2010	CORPAMAG
Amenazas Naturales asociadas al ascenso del nivel del mar en el Caribe Colombiano	2003	Kim Robertson, Néstor Javier Martínez, Omar Jaramillo
Plan de Contingencia para enfrentar la temporada seca en el periodo 2014-2015	2014	CORPAMAG
Plan Departamental de Gestión del riesgo de Magdalena	2012	Gobernación del Magdalena, UNGRD, PNUD

Los instrumentos de planificación mencionados, presentan de manera general el contexto amenazante de los ríos Piedras, Manzanares, Toribio y Córdoba, destacando áreas con mayor susceptibilidad a la ocurrencia de inundaciones y movimientos en masa; zonificación que se encuentra soportada en los reportes de los organismos de atención de emergencias y en un análisis de las condiciones biofísicas del territorio. Por otro lado, CORPAMAG dentro del documento Reconstrucción de los efectos ambientales generados por la ola invernal 2010-2011 en el Departamento del Magdalena; espacializa las zonas más críticas que fueron inundadas y analiza las posibles causas, a partir de los registros hidrológicos del IDEAM y del CREPAD Magdalena.

La información consignada en los anteriores documentos, aporta características geográficas y temporales de los eventos, tales como: Municipio, Evento, Fecha de Ocurrencia y Causas; aportando atributos relevantes dentro de la caracterización histórica de los fenómenos amenazantes ocurridos en la cuenca objeto de ordenación.

3.1.2. Bases de Datos

Se consultó la información disponible en las páginas web y banco de documentación de la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) y del Servicio Geológico Colombiano (SGC), en cuyas bases de datos se presenta una estimación de las afectaciones y/o daños generados como consecuencia de la ocurrencia de un determinado evento amenazante. Cabe aclarar, que el SGC, a través del Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA), establece la ubicación precisa de los fenómenos monitoreados, a comparación de la UNGRD, quien determina de manera general la localización de los reportes.

Adicionalmente, se accedió al Sistema de Inventario de Desastres (Desinventar), para extraer información acerca de los eventos amenazantes ocurridos en los municipios con jurisdicción en la cuenca objeto de ordenación. Los datos que allí se registran, son un compilado de diferentes fuentes, dentro de las que se encuentran: diarios oficiales, Consejos Departamentales y Municipales para la gestión del riesgo de desastres (Anteriormente denominados CREPAD y CLOPAD).

3.1.3. Georreferenciación

Con apoyo de los sensores remotos, se localizaron puntos donde se evidencia la presencia u ocurrencia de un movimiento en masa; algunos de los cuales, lograron ser verificados en campo durante el recorrido de rutas veredales. La información recopilada, fue empleada como una variable de agrupación en la selección de la muestra y análisis estadístico para la determinación de la susceptibilidad a movimientos en masa de la cuenca objeto de ordenación.

3.1.4. Actores Estratégicos

A través de los espacios de participación, los actores estratégicos aportaron información relevante para la caracterización histórica de los eventos amenazantes de la Cuenca Hidrográfica del río Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe. Es así, como en la fase de aprestamiento, mediante una estrategia de investigación-acción-participativa conocida como "Cartografía Social", se identificaron fenómenos naturales ocurridos, con algún tipo de repercusión en las comunidades; reportes, que fueron coincidentes con lo registrado en las bases de datos, complementando los datos y observaciones descritas.

Adicionalmente, en la fase de Diagnóstico, se realizaron encuestas a las comunidades (Ver Anexo 1), con el propósito de corroborar el estado de los eventos amenazantes reportados e identificar aquellos fenómenos con procesos de activación recientes. Como resultado del proceso de acercamiento social, se ingresaron 20 eventos al catálogo, que hacen referencia explícita a inundaciones, incendios forestales, movimientos en masa y sequía, con afectaciones significativas para los pobladores, especialmente en las viviendas, cultivos y vías.

3.1.5. Recorridos de Campo

El inventario de los eventos amenazantes activos, identificados en el área objeto de ordenación, se llevó a cabo mediante el diligenciamiento de los formatos de campo (Anexo 2 y 3), establecidos acorde con la escala de trabajo, los cuales permiten describir las principales características de los fenómenos naturales evaluados. Dicha información, fue incorporada al catálogo y se estructuró sobre la cartografía en plataforma SIG para el POMCA.

La ruta de la tierra se enfocó además de su objetivo propio, a percibir las amenazas naturales que se presentan en el área de la cuenca, a través de un espacio de interacción con los actores estratégicos para diagnosticar de manera conjunta el componente de gestión del riesgo.

En el Anexo 4, se presenta el registro fotográfico del recorrido de campo, que se llevó a cabo en la cuenca hidrográfica objeto de ordenación.

Figura 3.1. **Ruta de la tierra con acompañamiento de actores sociales para verificar el estado del río Manzanares**



3.2. CATÁLOGO HISTÓRICO DE EVENTOS AMENAZANTES

La estructura y organización del catálogo histórico de eventos amenazantes para la Cuenca Hidrográfica del río Piedras - río Manzanares y otros directos al Caribe, se elaboró de acuerdo con los ítems establecidos en el documento que indica los alcances técnicos para este POMCA, adicionalmente, se incorporaron otros ítems o atributos, que permitieron ampliar la caracterización de cada una de las amenazas naturales encontradas. Los ítems que componen este catálogo, que se presenta en el Anexo 5 del presente Volumen, son los siguientes:

- *Id Evento:* Código de identificación del evento
- *Departamento:* Departamento dónde se localiza el evento
- *Municipio:* Municipio dónde se localiza el evento
- *Código:* Número de identificación del municipio dónde se localiza el evento
- *Vereda:* Nombre de la vereda donde se localiza el evento
- *Sitio:* Localización precisa del evento amenazante, expresada a nivel de predio
- *Coordenada Este:* Coordenada Este del punto, debe ser calculada en el sistema de referencia oficial Magna Sirgas.
- *Coordenada Norte:* Coordenada norte del punto, debe ser calculada en el sistema de referencia oficial Magna Sirgas.

- *Tipo de evento:* Indica el tipo de fenómeno natural reportado (Ej. Movimiento en Masa, Incendio Forestal, Inundación, Avenida Torrencial, sismo)
- *Ocurrencia:* Expresa el día, mes y año en el cual se presentó el evento amenazante
- *Causa:* Define las razones por las cuales se originó el evento amenazante
- *Detonante:* Elemento que dio origen al evento amenazante
- *Fuente:* Origen de la información del evento.
- *Estado:* Condición en la que se encuentra el evento amenazante
- *Verificado:* Indica si la fuente de información pudo ser verificada (Si/No)
- *:* Ordena el evento amenazante respecto a los otros, dependiendo del tipo de evento y sus afectaciones. Esta jerarquización se realizó tomando en consideración las siguientes tablas:

Tabla 3.2. Jerarquización de la distribución de los eventos amenazantes y los elementos expuestos (1)

		Elementos Expuestos		
		Ninguno	**Elementos Bióticos**	**Infraestructura**
RECURRENCIA (Proporción eventos en la cuenca)	**>30% eventos**	Media	Muy Alta	Alta
	20-30% eventos	Baja	Alta	Media
	10-20% eventos	Muy Baja	Media	Baja
	0-10% eventos	Muy Baja	Baja	Baja

Tabla 3.3. Jerarquización de la ocurrencia de los eventos amenazantes en la cuenca (2)

		AFECTACIÓN				
		Muy baja	**Baja**	**Media**	**Alta**	**Muy Alta**
OCURRENCIA	**< 15 años**	4	3	2	1	1
	15-50 años	5	4	3	2	1
	>50 años	5	5	4	3	2

- *Magnitud:* Medida cuantitativa del tamaño sismo; valor expresado acorde con la escala de Richter.
- *Profundidad:* Medida desde la superficie de la tierra en el punto llamado epicentro hasta el punto exacto donde se produjo el sismo; su valor expresa en Km.
- *Vidas:* Número de muertes por causa del evento amenazante
- *Heridos:* Número de heridos a causa del evento amenazante
- *Desaparecidos:* Número de desaparecidos por causa del evento amenazante
- *Damnificados:* Número de personas afectadas por causa del evento amenazante
- *Viviendas destruidas:* Número de viviendas destruidas, como consecuencia de la ocurrencia del evento.
- *Viviendas averiadas:* Número de viviendas averiadas, como consecuencia de la ocurrencia del evento.

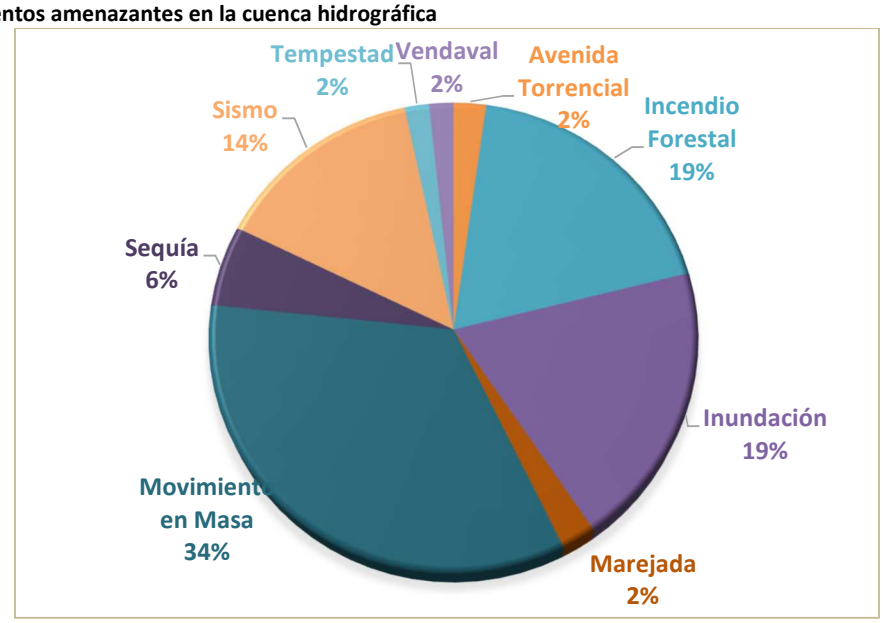
- *Vías:* kilómetros de vías averiadas o destruidas, como consecuencia de la ocurrencia del evento.
- *Servicios:* Fallas en la prestación de los servicios públicos domiciliarios, como consecuencia de la ocurrencia del evento amenazante.
- *Puentes Vehiculares y/o Peatonales: Número de pasos vehiculares o peatonales que han sido afectados por causa del evento amenazante.*
- *Cultivos y/o Bosques:* Hectáreas de cultivos y/o bosques que han sido destruidas a causa de un evento amenazante.
- *Semovientes:* Número de cabezas de ganado perdidas por causa del evento
- *C. Educativo:* Número de instituciones educativas afectadas
- *C. Salud:* Número de hospitales y/o centros de salud afectados
- *C. Comunitarios:* Número de centros comunitarios afectados
- *Otros:* Expresa las afectaciones a los bienes, infraestructura o elementos que no están clasificados dentro de las anteriores categorías
- *Observaciones:* Información adicional y/o ampliación de las características del suceso amenazante. En este ítem se incluyen los aportes de los actores estratégicos.

El inventario histórico de eventos amenazantes, se alimentó con información recopilada de las fuentes de información ya mencionadas, obteniendo como resultado un catálogo conformado por 180 eventos que cubren una ventana de tiempo de 1942 a 2016.

3.3. CARACTERIZACIÓN HISTÓRICA DE EVENTOS AMENAZANTES

El análisis histórico de los eventos amenazantes registrados en la Cuenca Hidrográfica del río Piedras - río Manzanares y otros directos al Caribe, denota la ocurrencia de 180 desastres naturales, siendo los movimientos en masa, los fenómenos más recurrentes en el periodo comprendido entre el 04 de octubre de 1942 y el 30 de septiembre de 2016. También, se aprecia mayor número de eventos dentro del Distrito de Santa Marta, representando el 79,44% del total de eventos amenazantes registrados en la cuenca hidrográfica como se muestra en la Figura 3.2 y se adjunta en el Anexo 6.

Figura 3.2. **Eventos amenazantes en la cuenca hidrográfica**



En el Anexo 6, se presenta la especialización de los diferentes eventos incluidos en el catálogo por tipo de evento.

3.3.1. Movimientos en masa

En jurisdicción del departamento del Magdalena, los movimientos en masa se presentan principalmente por las altas pendientes en las cuencas hidrográficas localizadas en la Sierra Nevada de Santa Marta, debido a la saturación de los suelos y las malas prácticas agropecuarias que alteran la geomorfología del territorio (PDGRD, 2012). A su vez, la deforestación, los procesos de ocupación rápidos y desordenados aceleran o inciden en la ocurrencia de este tipo de eventos, constituyéndose en un condicionante para la infraestructura vial y el desarrollo urbano.

En este sentido, la Cuenca Hidrográfica del río Piedras - río Manzanares y otros directos al Caribe, reporta la ocurrencia de 61 movimientos en masa en las veredas de: Calabazo, El Campano, La Esmeralda, Córdoba, Mazinga, San Rafael, Las Tinajas, Palangana, San Isidro y La Tigrera (Figura 3.3). Estos eventos, se presentan con mayor frecuencia en el mes de Julio, debido al inicio de la temporada invernal; siendo las lluvias intensas, el factor detonante que predomina en el área de estudio.

Cabe resaltar, el 67% de los movimientos en masa registrados, fueron inventariados durante el recorrido de campo realizado en el mes de agosto de 2016 por el equipo consultor; la siguiente tabla ilustra los datos de este inventario levantado en campo.

Figura 3.3. **Eventos históricos y recientes de movimientos en masa**

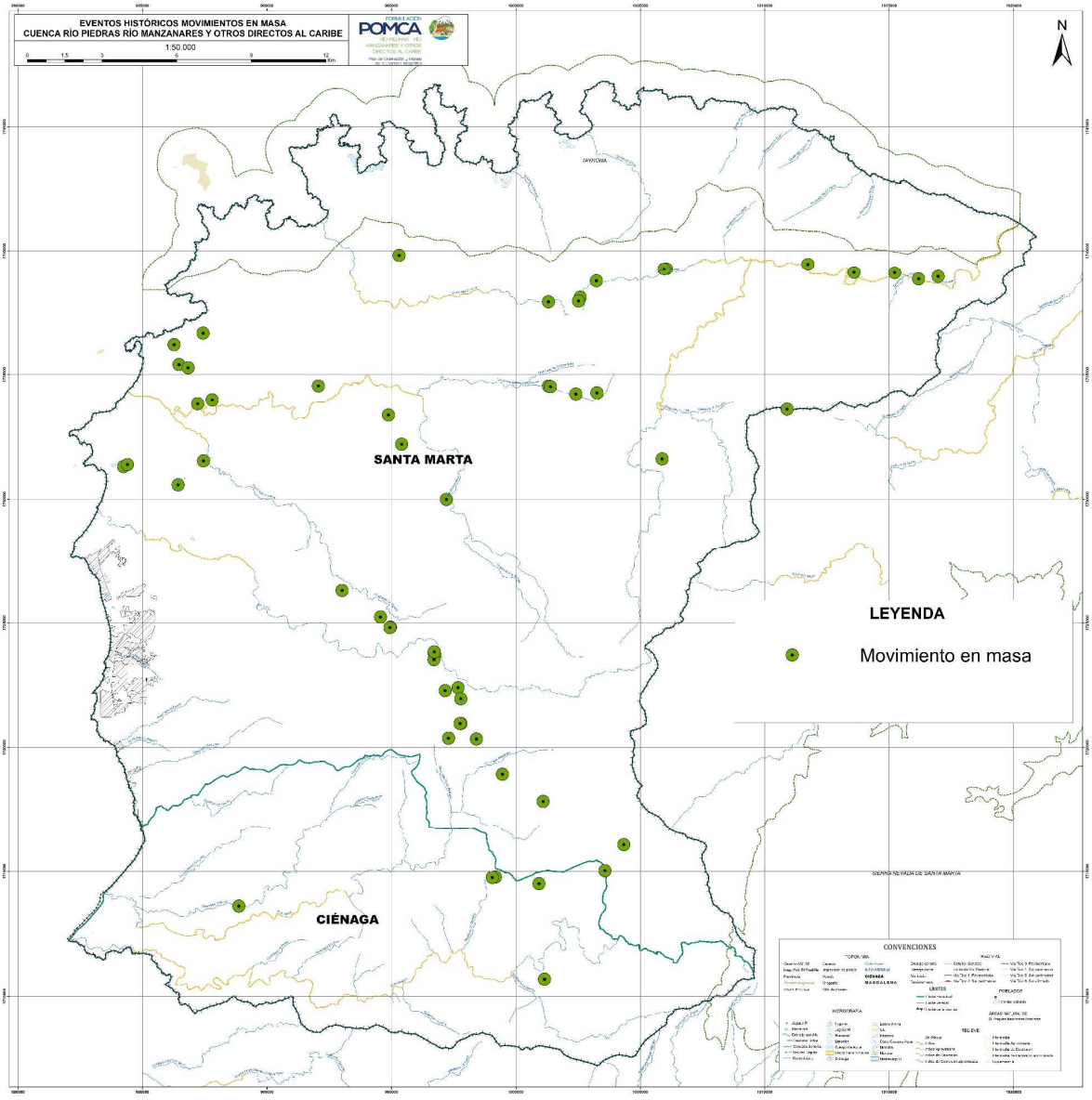


Tabla 3.4. Inventario Movimientos en Masa

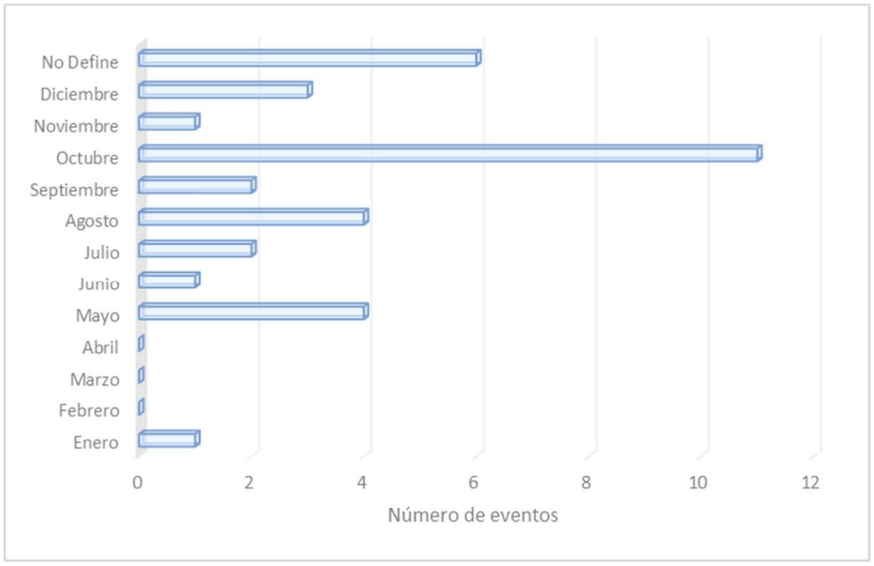
Código.	N	E	Municipio	Vereda	Referente Geográfico	Movimiento Principal	Fotografía
MM-001	1723840	996726	Santa Marta	El Campano	Vía que comunica a Minca con La Tagua, margen derecho de la vía	Flujo o Caída-Flujo	
MM-002	1722280	997164	Santa Marta	El Campano	Vía que comunica a Minca con La Tagua, margen derecho de la vía	Deslizamiento Traslacional	
MM-003	1721956	997788	Santa Marta	El Campano	Vía que comunica a Minca con La Tagua, margen derecho de la vía	Deslizamiento Traslacional	
MM-004	1720960	997765	Santa Marta	El Campano	Vía que comunica a Minca con La Tagua, margen derecho de la vía	Flujo o Caída-Flujo	
MM-005	1714504	1000935	Ciénaga	Córdoba	Vía que comunica Los Moros con la vereda Agua Linda, márgenes de la vía	Flujo o Caída-Flujo	

Código.	N	E	Municipio	Vereda	Referente Geográfico	Movimiento Principal	Fotografía
MM-006	1714773	999183	Ciénaga	Córdoba	Camino de herradura que conduce de la Vereda Agua linda a la Vereda El Vergel	Deslizamiento Traslacional en Cuña	
MM-007	1714755	999061	Ciénaga	Córdoba	Camino de herradura que conduce de la Vereda Agua linda a la Vereda El Vergel	Reptación	
MM-008	1733385	994886	Santa Marta	Masinga	Vía que comunica a Paso del Mango con la Vereda Masinga, margen derecho de la vía, Sector Masinga	Caída	
MM-009	1734515	1001396	Santa Marta	Las Tinajas	Vía que comunica el cruce de la Vereda Las Tinajas con Bonda, margen izquierdo de la vía, Sector Quebrada Matogiro	Flujo o Caída-Flujo	
MM-010	1738772	1003242	Santa Marta	Calabazo	Vía que comunica la Vereda Calabazo con Las Tinajas, Vía principal Riohacha-Santa Marta, margen derecho de la vía	Caída	

3.3.2. Inundaciones

La Cuenca Hidrográfica del río Piedras - río Manzanares y otros directos al Caribe, presenta dos temporadas de lluvia; la primera en parte del mes de abril y el mes de mayo, la segunda entre los meses de septiembre y noviembre con un promedio de precipitación multianual que alcanza los 1300 mm (PDGRD, 2012). Esta situación, aunada a la disminución de la cobertura vegetal, el inadecuado manejo de residuos sólidos y el desarrollo urbanístico en las planicies de inundación, posibilita el desbordamiento de los cauces, afectando alrededor de 84.205 personas, especialmente en el Distrito Turístico, Cultural e Histórico de Santa Marta. Las inundaciones son más frecuentes durante el mes de octubre (Ver Figura 3.4), correspondiente con los picos de precipitación reportados por el IDEAM para la región, lo cual fue corroborado por las comunidades dentro de los acercamientos participativos realizados en la etapa de diagnóstico.

Figura 3.4. **Frecuencia mensual de inundaciones**



El catálogo de eventos históricos amenazantes revela la ocurrencia de 35 registros dentro de la jurisdicción de la cuenca, de los cuales el 91% ocurren en jurisdicción de la ciudad de Santa Marta y tan sólo el 9% se presentan en el municipio de Ciénaga. Estos eventos están asociados principalmente al desbordamiento de los ríos Gaira, Toribio, Piedras y Manzanares.

3.3.3. Incendios Forestales

En la cuenca hidrográfica objeto de ordenación, el uso del fuego está asociado a las prácticas agrícolas, tales como, preparación y limpieza de los terrenos, convirtiéndose en uno de los factores detonantes del riesgo de incendios de la cobertura vegetal.

Este riesgo se da principalmente en temporadas de clima seco, durante los tres primeros meses del año; debido a las condiciones climáticas extremas y al tipo de vegetación presente en el territorio, el cual corresponde a bosque seco tropical; principalmente, en el piedemonte de la Sierra Nevada de Santa Marta, en las cuencas de los ríos Gaira, Manzanares, Piedras y Córdoba.

Durante el análisis, se han presentado 34 incendios forestales, en los sectores de Minca, El Limón, El Campano, Palangana, Viravira, Calabazo, Cordobita, el Reposo y Calabacito como se muestra en la Figura 3.5; generando como resultado la pérdida de al menos 12 hectáreas de cultivos y/o bosques.

El recorrido de campo, permitió registrar los siguientes eventos amenazantes asociados a incendios forestales:

Figura 3.5. **Eventos históricos por Incendios Forestales**

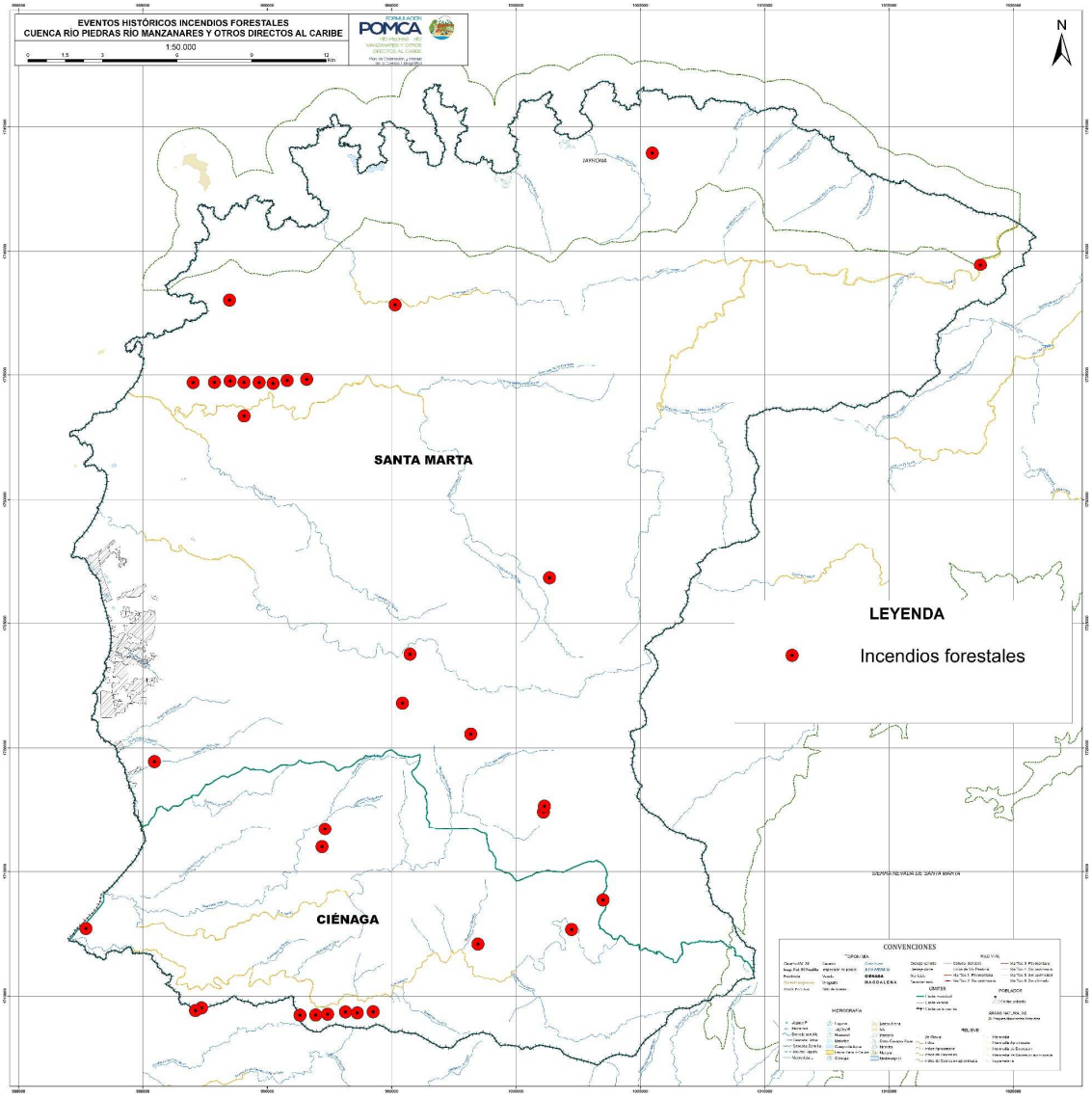


Tabla 3.5. Inventario de incendios forestales

N	E	Municipio	Vereda	Referente Geográfico	Fotografía
1713629	996606	Ciénaga	Córdoba	Incendio Forestal en la Vereda Bajo Agua Linda, en la Finca de Johnny Villazón, afectando 100 hectáreas aproximadamente, ocasionando afectación en potreros y cultivos	
1713062	995545	Ciénaga	Córdoba	Incendio Forestal en la vereda Bajo Agua Linda - Córdoba, hace 1 año aproximadamente afectando gran cantidad de hectáreas, donde se perdieron totalmente Cultivos de Café y de vegetación de Bosque principalmente	
1730581	998832	Santa Marta	El Campano	Incendio hace menos de un año, en el sector conocido como Paso El Mango por descontrol en fogata, afectando aprox. 1 ha.	

3.3.4. Avenidas Torrenciales

Las avenidas Torrenciales se originan por la presencia de altas y continúas precipitaciones, principalmente en las partes alta y media de las cuencas; en donde, la reducida cobertura vegetal y la baja capacidad de infiltración de los suelos, generan altos volúmenes de escurrimiento superficial o caudales capaces de arrastrar enormes cantidades de materiales a gran velocidad, que arrasan todo lo que encuentran a su paso (PDGRD, 2012).

En la Cuenca Hidrográfica del río Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe se han registrado cuatro avenidas torrenciales en los sectores La Esmeralda y Calabacito y en el casco urbano del distrito de Santa Marta; generando afectaciones especialmente sobre las viviendas. Aunque se han registrado pocos eventos, se deben vigilar los fenómenos erosivos que se presentan a la altura de la cuenca media de los ríos Gaira, Manzanares, Piedras; con el fin, de evitar la generación de avenidas torrenciales durante las temporadas invernales.

De igual manera, durante el recorrido de campo, se reconoció un evento torrencial con ayuda de la comunidad, el cual afectó a los barrios Las Vegas, salamanca, las Torres y Simón Bolívar; observando que han modificado las fachadas de las viviendas para impedir el ingreso del agua (Ver Tabla 3.6).

Figura 3.6. **Eventos Históricos por Avenidas Torrenciales**

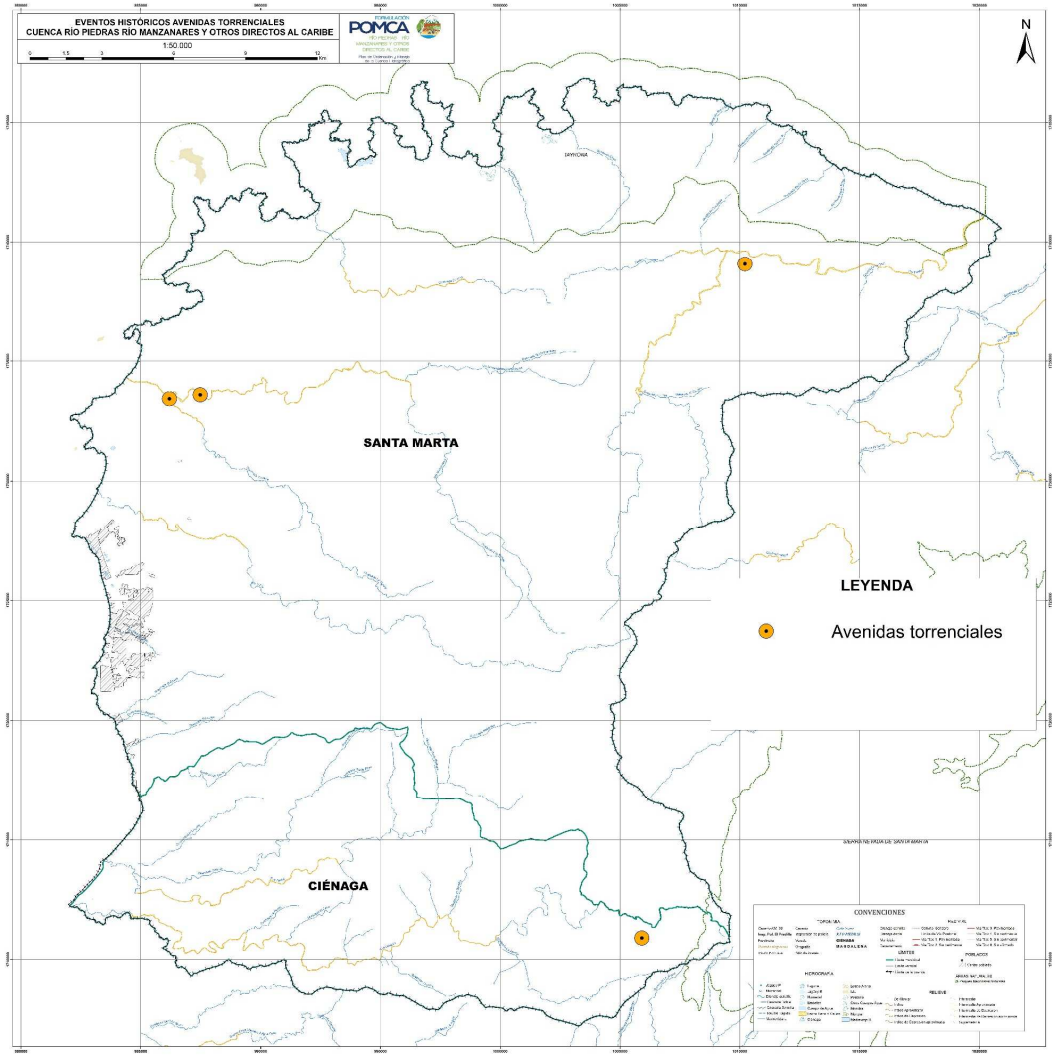


Tabla 3.6. Inventario de avenidas torrenciales

N	E	Municipio	Vereda	Referente Geográfico	Fotografía
1724285	995780	Santa Marta	Mazinga	Sobrecarga de material a causa de relleno antrópico para estacionamiento sin tener en cuenta la distancia prudente a la quebrada, ocasionando caída de material sobre el cauce en temporada invernal por socavación del relleno.	

3.3.5. Otros eventos Amenazantes

Las características climáticas y geográficas de la cuenca en ordenación, pone en manifiesto la susceptibilidad del territorio a la presencia de otros fenómenos naturales como: Sismos, Vendavales, Marejada, Sequía, Tempestad y Erosión Costera. Este escenario, es ratificado por los registros históricos, tal como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 3.7. Reporte de otros Eventos Amenazantes

Municipio	Sequia	Erosión Costera	Sismo	Marejada	Tempestad	Vendaval
Santa Marta	9	0	15	4	3	1
Ciénaga	1	0	11	0	0	2
TOTAL	**10**	**0**	**26**	**4**	**3**	**3**

Este tipo de eventos, ha causado afectaciones a lo largo de la cuenca, destruyendo cosechas, viviendas y embarcaciones, lo cual reduce la capacidad económica de algunos pobladores y en consecuencia su calidad de vida.

3.3.5.1. *Sequía*

La sequía hace referencia a un largo periodo de tiempo, que se extiende por meses o incluso años, en los que las aguas superficiales o subterráneas se reducen considerablemente, debido a bajos o nulos niveles de precipitación en la zona.

Este fenómeno se presenta en todo el departamento de Magdalena y consecuentemente en la Cuenca Hidrográfica del río Piedras - río Manzanares y otros directos al Caribe; generando daños y/o efectos dentro de los que se puede mencionar: desabastecimiento de agua para consumo humano, racionamiento de energía, disminución de bienes y servicios ecológicos, reducción de la seguridad alimentaria y generación incendios forestales.

El análisis histórico de la amenaza por sequía, revela el reporte de 10 eventos correspondientes a los periodos comprendidos entre 1982-1983, 1985-1986, 1991-1992; 2015-2016; etapas que son coincidentes con la presencia de un fenómeno climático en el país denominado “Fenómeno del Niño”. De acuerdo a los reportes, las áreas con mayor afectación por sequía dentro de la jurisdicción de la cuenca se localizan en las veredas Palangana, quebrada Seca, El Limón, Córdoba y en la cabecera del distrito de Santa Marta.

Figura 3.7. **Crisis en Santa Marta por sequía en agosto de 2014**



Fuente: www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/crisis-de-sequia-en-santa-marta/

3.3.5.2. *Erosión Costera*

Se define como la invasión de la tierra por el mar, después de promediar un periodo suficientemente largo para eliminar los impactos del clima, las tormentas y la dinámica local de sedimentos (EUROSION, 2012)[4]. Para el caso de Colombia, no se tiene establecida una escala sistemática de trabajo para realizar los estudios de este fenómeno; sin embargo, se han adelantado por parte de Invemar ejercicios de monitoreo trimensual y multianual desde hace algunos años, y a partir de fotografías áreas de diferentes épocas, algunos investigadores han hecho el ejercicio de georreferenciar y comparar las líneas de costa de varios sectores del Caribe.

La erosión costera conlleva tres tipos de impactos o riesgos: La pérdida de superficie, con un valor económico, social o ecológico; la destrucción de las defensas costeras naturales por los temporales hecho que favorece la inundación y el deterioro de las obras de protección, que también favorece el riesgo de inundación.

Algunos de los factores naturales que causan la erosión en la franja de costa de la Cuenca Hidrográfica del río Piedras - río Manzanares y otros directos al Caribe son: El tipo de sustrato que conforma el litoral, la acción del oleaje, el aumento de tormentas tropicales, el aumento relativo del nivel del mar y la bioerosión. Mientras que algunos de las factores antrópicos son: la extracción de arenas y guijos (china) en las playas o en el lecho de los ríos, la tala indiscriminada del mangle, la construcción de obras fijas en las zonas intermareales y en playas y dunas, el crecimiento urbano en zonas de acantilados, el crecimiento urbano en la orilla de los ríos o del mar, la construcción de represas en la parte alta de los ríos, la desviación de ríos y construcción de canales alternos para navegación y el daño a corales y pastos marinos.

[4] Posada B., Henao W. Diagnóstico de la Erosión en la zona costera del Caribe Colombiano. Invemar. Santa marta, Colombia 2007.

Aunque no se tienen reportes dentro del inventario de eventos históricos, este es un fenómeno latente, que se ha venido dando a través del tiempo a lo largo de la línea de costa; y es considerado por los habitantes de la cuenca como una amenaza natural constante, por cuanto si afecta algunas de sus actividades económicas, principalmente las asociadas al turismo y pone en riesgo la infraestructura próxima a las zonas de playa.

Figura 3.8. **Erosión Costera sector Playa Salguero.**



3.3.5.3. *Sismos*

Un sismo, es la liberación de la energía acumulada durante la fricción entre las placas y fallas. Como se mencionó en el capítulo de geología, la zona de estudio, se encuentra dentro de una región catalogada como de baja a intermedia sismicidad, sin embargo, la historia registra un terremoto que casi desapareció a Santa Marta en 1834 y que dejo a la ciudad en aspecto ruinoso durante varias décadas, este sismo se atribuye a la proximidad de la zona de estudio con el sector de movimiento de las placas Caribe y Nazca, en la llamada zona de subducción.

A pesar que, en la zona existen pocos instrumentos para monitoreo de la sismicidad, la red instalada por el SGC, ha reportado 26 sismos con epicentro dentro del área de estudio. Es probable que estos sismos estén asociados al movimiento de las placas, como e mencionó antes, o como lo proponen otros estudios, se asocie a la liberación de energía que puede darse en la Falla de Oca, cuyo trazo se localiza en margen norte de la Sierra Nevada de Santa Marta, por fuera del área de la Cuenca.

Figura 3.9. **Ubicación del epicentro del sismo de 1834 que destruyo Santa Marta**



Fuente: http://sish.sgc.gov.co/visor/visor.html?oper=EPICENTROS

3.3.5.4. *Marejadas*

Fenómeno natural conocido como Marejada Ciclónica es una inundación costera asociada con un sistema atmosférico de baja presión (normalmente, con un ciclón tropical). La marejada ciclónica es principalmente producto de los vientos en altura que empujan la superficie oceánica, el viento hace que el agua se eleve por encima del nivel del mar normal. La baja presión en el centro del sistema atmosférico también tiene un pequeño efecto secundario, ya que puede alterar la batimetría de la masa de agua. [5]

Figura 3.10. **Esquema de una Marejada Ciclónica**



[5] https://es.wikipedia.org/wiki/Marejada_ciclónica

El efecto combinado de la baja presión y el viento persistente sobre una masa de agua poco profunda es la causa más común de los problemas de la marejada ciclónica. La marejada ciclónica es particularmente dañina cuando coincide con la pleamar, ya que los efectos de la marejada se combinan con los de la marea. Esto aumenta la dificultad de predecir la magnitud de la marejada ciclónica, dado que requiere predicciones meteorológicas muy precisas en pocas horas.

Los eventos más extremos de marejada ciclónica ocurren como resultado de sistemas atmosféricos extremos, como los ciclones tropicales, pero también puede ser producto de tormentas menos potentes.

Dentro del inventario de eventos amenazantes, se encuentran reportados cuatro eventos de marejada en jurisdicción de Santa Marta y ninguno en Ciénaga.

Figura 3.11. **Olas contra el camellón de la bahía de Santa Marta, efecto de marejada en enero de 2016.**



Fuente: http://www.elheraldo.co/magdalena/olas-hasta-de-4-metros-de-altura-en-santa-marta

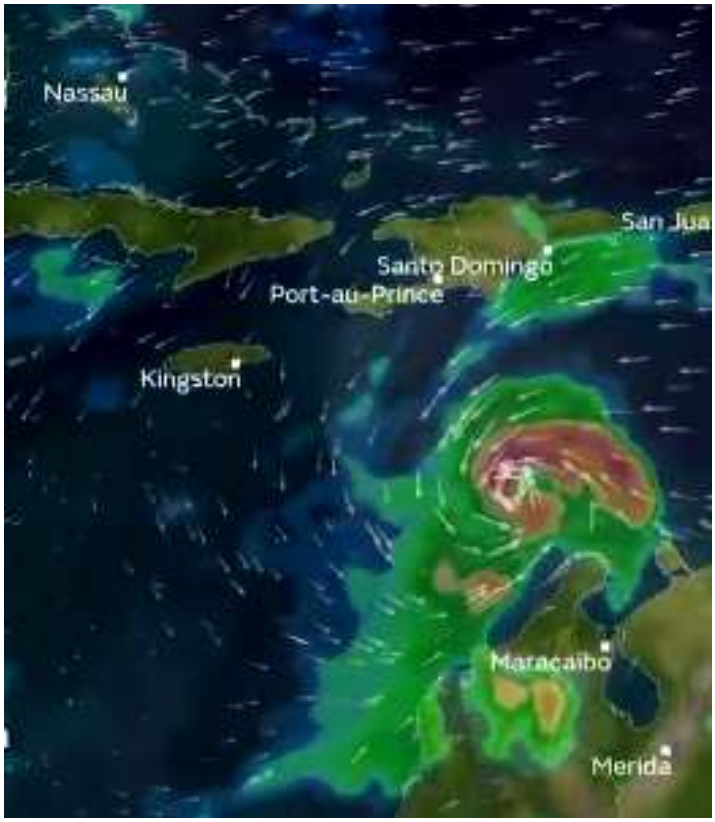
3.3.5.5. *Tempestades*

Fenómeno meteorológico producido por desequilibrios térmicos en la atmósfera, que progresivamente se manifiesta con viento, grandes nubes y culmina en violentas precipitaciones acompañadas de aparato eléctrico como rayos, truenos y relámpagos.

En la Cuenca Hidrográfica del río Piedras - río Manzanares y otros directos al Caribe, estos fenómenos meteorológicos están asociados a tormentas tropicales y huracanes; traen como consecuencia fuerte oleaje (con altura de entre 6 y 9 metros), fuertes precipitaciones y sectores de fuertes lluvias con ráfagas de vientos. Este tipo de eventos pone en alerta a la comunidad, especialmente a los pescadores, navegantes de pequeñas embarcaciones y bañistas de este sector del departamento quienes ven alteradas sus actividades cotidianas.

El inventario de eventos amenazantes registra tres tempestades en Santa Marta y no registra tempestades en Ciénaga.

Figura 3.12. **Esquema del desplazamiento del Huracán Matthew próximo a la Costa Caribe colombiana, en octubre de 2016.**



Fuente: https://www.publimetro.co/co/barranquilla/2016/10/04/alerta-colombia-paso-huracan-matthew-caribe.html

3.3.5.6. *Vendavales*

Toda perturbación atmosférica que genera vientos fuertes y destructivos, principalmente sin lluvia, o con poca lluvia. Se pueden encontrar documentados como, vientos huracanados, torbellinos, borrasca, ciclón, viento fuerte, ventisca, tromba, ráfaga, racha, tornado.[6]

Dentro del inventario de eventos amenazantes se encuentran registrados en total tres vendavales dentro del área de la cuenca. Estos eventos han causado daños en las redes eléctricas, por caída de torres, postes y árboles.

En octubre de 2014 la caída de un árbol afecto el suministro de energía a la zona rural de Calabazo, Las Tinajas, La Esmeralda, Cañaveral, La Revuelta, Mendihuaca, Los Cocos, Guachaca, Puerto Nuevo, Buritaca, Don Diego, Perico Aguao.

[6] http://www.infojardin.net/glosario/vela/vendaval-vendavales.htm

Figura 3.13. **Caída de árboles por vendaval en zona rural de Santa Marta.**



Tomado de: http://www.seguimiento.co/la-samaria/fuerte-vendaval-afecto-servicio-de-energia-en-zona-rural-de-santa-marta

4. IDENTIFICACIÓN, CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FENÓMENOS AMENAZANTES Y EVALUACIÓN DE LA AMENAZA

El alcance de la gestión del riesgo en los POMCA, busca proyectar la protección, conservación, uso y aprovechamiento de los recursos naturales; la ocupación del territorio en forma segura y el evitar nuevas condiciones de riesgo en la cuenca. Llegar a la Zonificación ambiental, a partir del consenso participativo; poder definir acciones y medidas para el manejo y administración de los recursos naturales, así como para el conocimiento, reducción y manejo del riesgo en la cuenca son elementos fundamentales en los procesos de ordenamiento y planificación del desarrollo para un territorio.

La caracterización de las condiciones del riesgo, implica un primer paso, ya descrito en el numeral anterior, esta caracterización histórica de amenazas y eventos amenazantes confluye en la identificación, clasificación y caracterización de fenómenos amenazantes y evaluación de la amenaza, la cual comprende tres ítems específicos: el Primero que corresponde con la Evaluación y zonificación de la susceptibilidad, para cada uno de los tipos de eventos amenazantes analizados en toda la cuenca; el segundo con la síntesis de los resultados obtenidos del análisis de susceptibilidad, define las zonas críticas para cada uno de los tipos de eventos amenazantes, y el tercero con la Evaluación y zonificación de la amenaza, únicamente para las áreas definidas como críticas, estos ítems se refieren en escala 1:25.000.

A continuación, se presenta la Evaluación y Zonificación de la Susceptibilidad para Movimientos en masa, Inundaciones, Avenidas torrenciales e Incendios Forestales. Los registros categorizados como "Otros Eventos", no se tienen en cuenta para el análisis de susceptibilidad; sin embargo, se presenta una breve descripción de cada uno de ellos dentro de la evaluación y zonificación de la amenaza.

4.1. *EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD*

La susceptibilidad en los estudios de análisis y evaluación de amenazas, constituye la base inicial, el primer paso para el análisis y zonificación de amenazas. Se entiende como la predisposición de un territorio a presentar determinados fenómenos amenazantes. De acuerdo con la naturaleza de los eventos amenazantes, cada uno de ellos tiene una fuente y una forma como se materializa en un espacio geográfico.

Por lo tanto, se plantea que no se puede configurar un evento de origen natural si no existen determinadas condiciones ya sean geológicas, geográficas, meteorológicas, atmosféricas, ambientales y sociales para que se puedan materializar. Los mapas de susceptibilidad para cada evento deben delimitar áreas de acuerdo con unas características específicas que dan lugar a uno de los tipos de eventos determinados.[7]

[7]Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de las Cuencas Hidrográficas POMCAS. Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá. 2014.

La evaluación y zonificación de la susceptibilidad para cada uno de los tipos de amenazas analizados o eventos determinados dentro de la cuenca, permite establecer parámetros similares para su caracterización; partiendo de la información base ya definida, se toman para su desarrollo los métodos propuestos en el Protocolo para la incorporación de la gestión de riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, definidos para cada uno de los tipos de eventos amenazantes.

De esta manera, para la zonificación de susceptibilidad por Movimientos en masa, se desarrolla el método estadístico multivariado; para la zonificación de susceptibilidad por Inundaciones, se desarrollan por el análisis histórico de eventos ocurridos y análisis geomorfológico; para la zonificación de susceptibilidad por Avenidas torrenciales se fundamenta en el análisis histórico de eventos ocurridos, trabajo de campo y análisis geomorfológico; para la zonificación de susceptibilidad por Incendios forestales, se parte del análisis de coberturas; y para la zonificación de susceptibilidad por otros eventos, se toma como base el análisis de información secundaria.

4.1.1. Susceptibilidad a Movimientos en masa

4.1.1.1. *Resumen*

En el presente subcapítulo se describe el marco teórico de manera explicativa con los conceptos básicos correspondientes a la susceptibilidad de amenaza por movimientos en masa, donde se detalla la metodología utilizada propuesta en el protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los POMCA, realizando una categorización de las variables temáticas y las derivadas del modelo digital del terreno. Partiendo de tener los insumos ya clasificados se realiza un análisis estadístico multivariado obteniendo una malla de puntos con la identificación de las celdas estables e inestables, a partir del proceso estadístico se obtienen las variables a introducir en el análisis discriminante determinando así, las funciones que se analizaron en el desarrollo metodológico, utilizando la función con mayor porcentaje de confiabilidad y espacializada por medio del software ArcGis para la obtención de la susceptibilidad de amenaza por movimientos en masa.

Para la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe se determinaron 3 grados de susceptibilidad de amenaza por movimientos en masa, donde la susceptibilidad alta se distribuye en un 28,56%, la susceptibilidad media un 54,80% y la susceptibilidad baja en 16,64% donde la categoría media presenta mayor distribución en el área total de la cuenca. Cabe resaltar que el análisis de amenaza por movimientos en masa se desarrolla siguiendo el protocolo para la incorporación del riesgo en los POMCA en las categorías media y alta las cuales corresponden al 83,36% del área total.

4.1.1.2. *Marco Teórico*

El término movimientos en masa hace referencia a todos aquellos desplazamientos ladera abajo, de una masa de roca, de detritos o de tierra por efectos de la gravedad (Cruden, 1991). Bajo esta definición, se pueden consideran una gran variedad de movimientos en masa, algunos, como la reptación de los suelos, son lentos, pequeños e imperceptibles, en tanto que otros, involucran

grandes volúmenes de material y alcanzan altas velocidades con un gran poder destructivo (GEMMA, 2007).

Los movimientos en masa son el producto del debilitamiento progresivo de las propiedades mecánicas de los materiales de las vertientes por procesos naturales tales como meteorización, levantamientos tectónicos y actividades humanas (Costa & Baker, 1981; Soeteres & van Westen, 1996). Sin embargo, la precipitación y los eventos sísmicos, son considerados como estímulos externos que puede generar la movilización de los materiales que conforman la ladera (Wang & Sassa, 2006).

La clasificación de los movimientos se basa fundamentalmente en el mecanismo de rotura y propagación del movimiento, diferenciando cinco tipos básicos de movimientos:

- **Deslizamientos:** En este tipo de movimiento de ladera el desplazamiento del terreno se produce sobre una o varias superficies de rotura bien definidas. La masa generalmente se desplaza en conjunto, comportándose como una unidad, prácticamente sin deformación interna, en su recorrido (González de Vallejo, 2002). En función de la geometría de la superficie de rotura, se pueden clasificar en:

  - *Deslizamiento traslacional*: Un deslizamiento traslacional es aquél que se produce cuando la superficie de rotura es un plano con una inclinación más o menos constante; se caracterizan por no ser muy profundos, aunque pueden alcanzar grandes extensiones. Pueden darse en suelos y rocas; las masas que deslizan en ocasiones son bloques rectangulares previamente independizados por discontinuidades o por grietas de tracción (González de Vallejo, 2002).

  - *Deslizamiento rotacional*: Los deslizamientos rotacionales se producen fundamentalmente en materiales homogéneos o en macizos rocosos muy fracturados, con una superficie de rotura cóncava; los cuales, suelen diferenciarse por una inclinación contrapendiente de la cabecera (Antoine, 2002). Una vez iniciada la inestabilidad, la masa empieza a rotar, dividiéndose en varios bloques que deslizan entre sí y dan lugar a «escalones» con la superficie basculada hacia la ladera y a grietas de tracción estriadas (González de Vallejo, 2002).

- **Flujos:** En esta categoría, se agrupan los diferentes movimientos de ladera que presentan deformación interna y continua del material y ausencia de una superficie neta de desplazamiento (Varnes, 1978). Las diferencias radican en el material implicado, su contenido de agua y la velocidad de desarrollo, de lenta (reptación) a súbita (Flujos de rocas), presentándose movimientos de suelo (Flujos o coladas de tierra o barro), de derrubios (flujos de derrubios) o de bloques rocosos (Flujos de fragmentos rocosos).

- **Desprendimientos:** Corresponde al rápido movimiento de una masa de cualquier tamaño de roca o de suelo en forma de bloques aislados o material masivo. Los desplazamientos se producen principalmente en sentido vertical por caída libre, son típicos en macizos rocosos y

generalmente están controlados por las discontinuidades. Este tipo de movimientos requiere una topografía como escarpes o pendientes fuertes y se caracterizan por la acumulación de bloques de tamaño variable en el pie de ladera (González de Vallejo, 2002).

- **Derivas o extensiones laterales:** Este término hace referencia al movimiento de bloques rocosos o masas de suelo sobre un material blando y deformable. Como consecuencia de esta diferencia de competencia entre el material supra yacente y el infrayacente, se produce la fragmentación de las capas superiores y los desplazamientos diferenciales. Los bloques se desplazan lateral y lentamente a favor de pendientes muy bajas. No son movimientos frecuentes y suelen ser bastante extensos (González de Vallejo, 2002).

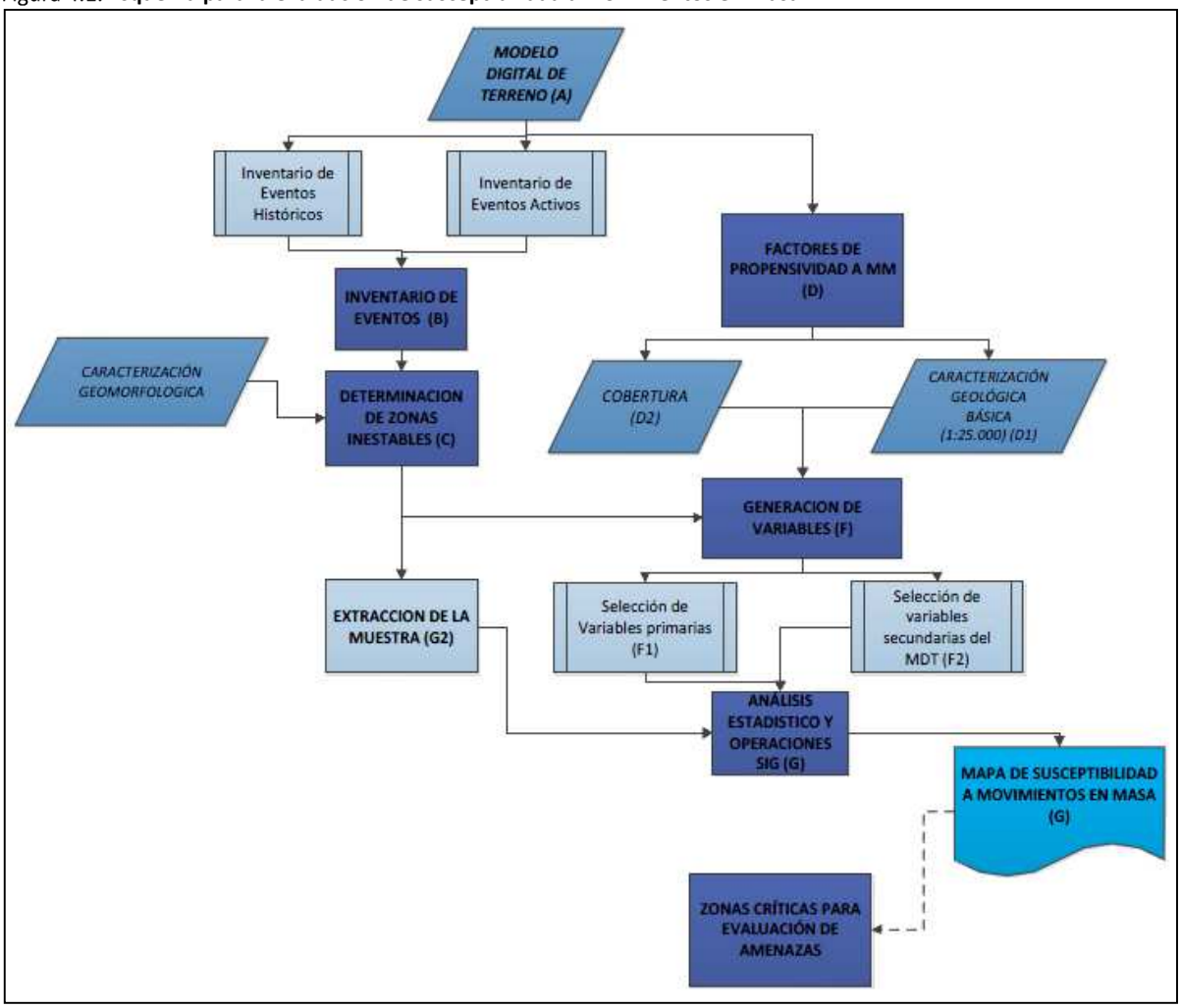
- **Avalanchas:** Las avalanchas son generalmente el resultado de deslizamientos o desprendimientos de gran magnitud que, por lo elevado de la pendiente y la falta de estructura y cohesión de los materiales, descienden a gran velocidad ladera abajo en zonas abruptas, pudiendo superar los 100 km/hora. En algunos casos, pueden ir acompañadas de hielo y nieve (González de Vallejo, 2002).

En este capítulo se describe la metodología adoptada y se presentan las variables utilizadas para el modelo de susceptibilidad. Cada variable, se trata individualmente mediante análisis estadístico, para verificar la normalidad de los datos y la dependencia de las mismas, generando salidas cartográficas que expresan su aporte a la susceptibilidad. De manera independiente, se generó un inventario georreferenciado de movimientos en masa, el cual se utilizó como modelo de referencia en la obtención de la muestra estadística y en la validación de la función discriminante seleccionada.

4.1.1.3. *Metodología para la evaluación y zonificación de la susceptibilidad a movimientos en masa*

El proceso metodológico empleado para la evaluación de la susceptibilidad de la Cuenca Hidrográfica del río Piedras - río Manzanares y otros directos al Caribe a los Movimientos en Masa (MM), está fundamentado en una técnica multivariante de análisis discriminante, tal como se describe en el documento “Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas”, elaborado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, en colaboración con el Fondo Adaptación. En la Figura 4.1, se presenta de manera general, los procesos para la evaluación de la susceptibilidad a movimientos en masa.

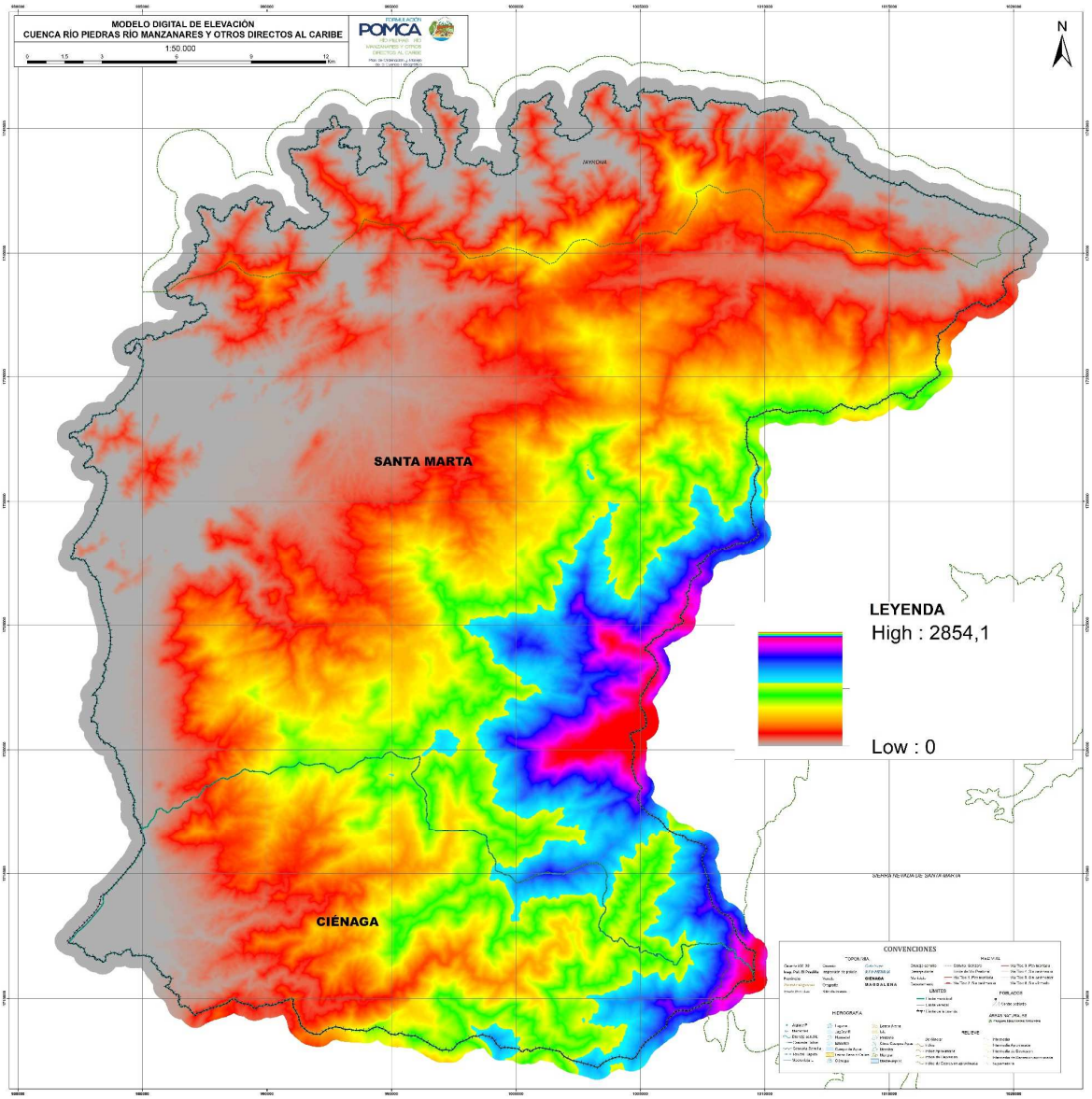
Figura 4.1. **Esquema para la evaluación de susceptibilidad a movimientos en masa**



Fuente: MADS y Fondo Adaptación, 2014

Como se aprecia en el esquema anterior, el primer paso para la aplicación del modelo de susceptibilidad, está relacionado con la generación del Modelo digital del Terreno (MDT) a escala 1:25.000, lo propio para el POMCA es que se hubiese contado con el DEM que el IGAC construyó para generar la cartografía oficial; dado que no fue posible tal información, se hizo necesario la construcción de un DEM para el proyecto, sobre la base de la información entregada por la Corporación, la provista por el Fondo de Adaptación por intermedio de la Interventoría o la obtenida por el Consorcio, con estos productos se prosiguió a valorar su pertinencia para la construcción del DEM con una resolución de 10m, obteniendo de allí la mayor parte de las variables secundarias que serán analizadas para el análisis de susceptibilidad como se muestra en la . Para mayor información sobre la obtención del modelo digital de elevación se remite al componente Biofísico capitulo número 1.

Figura 4.2. Modelo digital del terreno utilizado en el are de la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe.

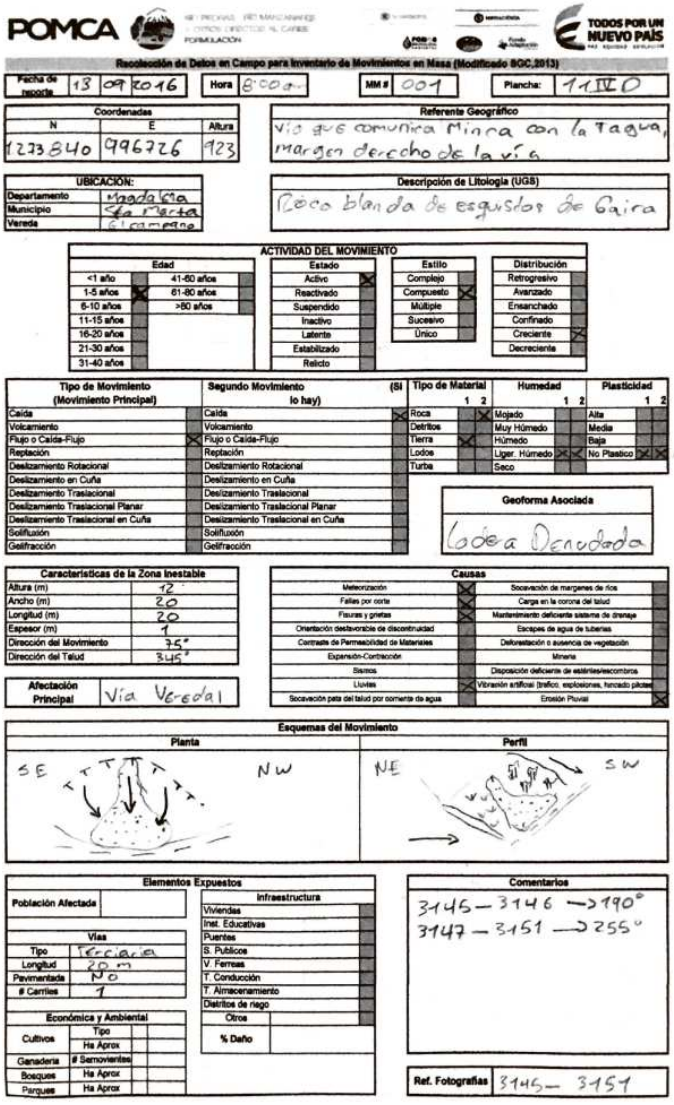


A su vez, a partir de la identificación de los eventos históricos y activos de la cuenca, apoyado en la caracterización geomorfológica, se determinan las zonas inestables, las cuales se convierten en una variable de agrupación, que será empleada en el análisis estadístico y de selección de la muestra.

Por otra parte, se seleccionan las variables a utilizar, de acuerdo con la información disponible: Modelo Digital del Terreno, información secundaria y de campo; reduciendo al máximo, las variables categóricas (Variables no derivadas del MDT) que van a ser introducidas en el análisis estadístico.

Para el inventario de eventos realizado en los recorridos de campo de acuerdo a la escala de trabajo 1:25.000, se llevó a cabo un levantamiento de información en campo desarrollado en el formato propuesto por el protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los POMCA modificado por el consultor según el presentado por el servicio geológico colombiano para el levantamiento de información (SIMMA) como se muestra en la Figura 4.3. Para la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe se presentaron 10 eventos asociados a movimientos en masa cartografiables identificados distribuidamente en la cuenca, principalmente en el sector de moderadas – altas pendientes al este de la cuenca, se resumen algunos procesos identificados en la Tabla 4.1

Figura 4.3. Formato para la recolección de información sobre movimientos en masa.



POMCA

TODOS POR UN NUEVO PAÍS

Recolección de Datos en Campo para Inventario de Movimientos en Masa (Modificado SGC,2013)

Fecha de reporte	13 09 2016	Hora	8:00a.	MM #	001	Plancha:	111D

Coordenadas N	Coordenadas E	Altura
1273840	996726	923

Referente Geográfico: Vía que comunica Minca con la Tagua, margen derecho de la vía

UBICACIÓN: Departamento: Magdalena; Municipio: Santa Marta; Vereda: Filomena

Descripción de Litología (UGS): Roca blanda de esquistos de Gaira

ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO

Edad	Estado	Estilo	Distribución
<1 año	Activo	Complejo	Retrogresivo
1-5 años	Reactivado	Compuesto	Avanzado
6-10 años	Suspendido	Múltiple	Ensanchado
11-15 años	Inactivo	Sucesivo	Confinado
16-20 años	Latente	Único	Creciente
21-30 años	Estabilizado		Decreciente
31-40 años	Relicto		
41-60 años			
61-80 años			
>80 años			

Tipo de Movimiento (Movimiento Principal)	Segundo Movimiento (Si lo hay)	Tipo de Material	Humedad	Plasticidad
Caída	Caída	Roca	Mojado	Alta
Volcamiento	Volcamiento	Detritos	Muy Húmedo	Media
Flujo o Caída-Flujo	Flujo o Caída-Flujo	Tierra	Húmedo	Baja
Reptación	Reptación	Lodos	Liger. Húmedo	No Plastico
Deslizamiento Rotacional	Deslizamiento Rotacional	Turba	Seco	
Deslizamiento en Cuña	Deslizamiento en Cuña			
Deslizamiento Traslacional	Deslizamiento Traslacional			
Deslizamiento Traslacional Planar	Deslizamiento Traslacional Planar			
Deslizamiento Traslacional en Cuña	Deslizamiento Traslacional en Cuña			
Solifluxión	Solifluxión			
Gelifracción	Gelifracción			

Geoforma Asociada: Ladera Denudada

Características de la Zona Inestable	
Altura (m)	12
Ancho (m)	20
Longitud (m)	20
Espesor (m)	1
Dirección del Movimiento	75°
Dirección del Talud	345°

Afectación Principal: Vía Vereda1

Causas

Meteorización	Socavación de margenes de ríos
Fallas por corte	Carga en la corona del talud
Fisuras y grietas	Mantenimiento deficiente sistema de drenaje
Orientación desfavorable de discontinuidad	Escapes de agua de tuberías
Contraste de Permeabilidad de Materiales	Deforestación o ausencia de vegetación
Expansión-Contracción	Minería
Sismos	Disposición deficiente de estériles/escombros
Lluvias	Vibración artificial (tráfico, explosiones, hincado pilotes)
Socavación pata del talud por corriente de agua	Erosión Pluvial

Esquemas del Movimiento

Elementos Expuestos

Población Afectada	
Vías	
Tipo	Terciaria
Longitud	20 m
Pavimentada	No
# Carriles	1

Económica y Ambiental		
Cultivos	Tipo	
	Ha Aprox	
Ganadería	# Semovientes	
Bosques	Ha Aprox	
Parques	Ha Aprox	

Infraestructura	
Viviendas	
Inst. Educativas	
Puentes	
S. Publicos	
V. Ferreas	
T. Conducción	
T. Almacenamiento	
Distritos de riego	
Otros	
% Daño	

Comentarios: 3145 – 3146 → 190°; 3147 – 3151 → 255°

Ref. Fotografías: 3145 – 3151

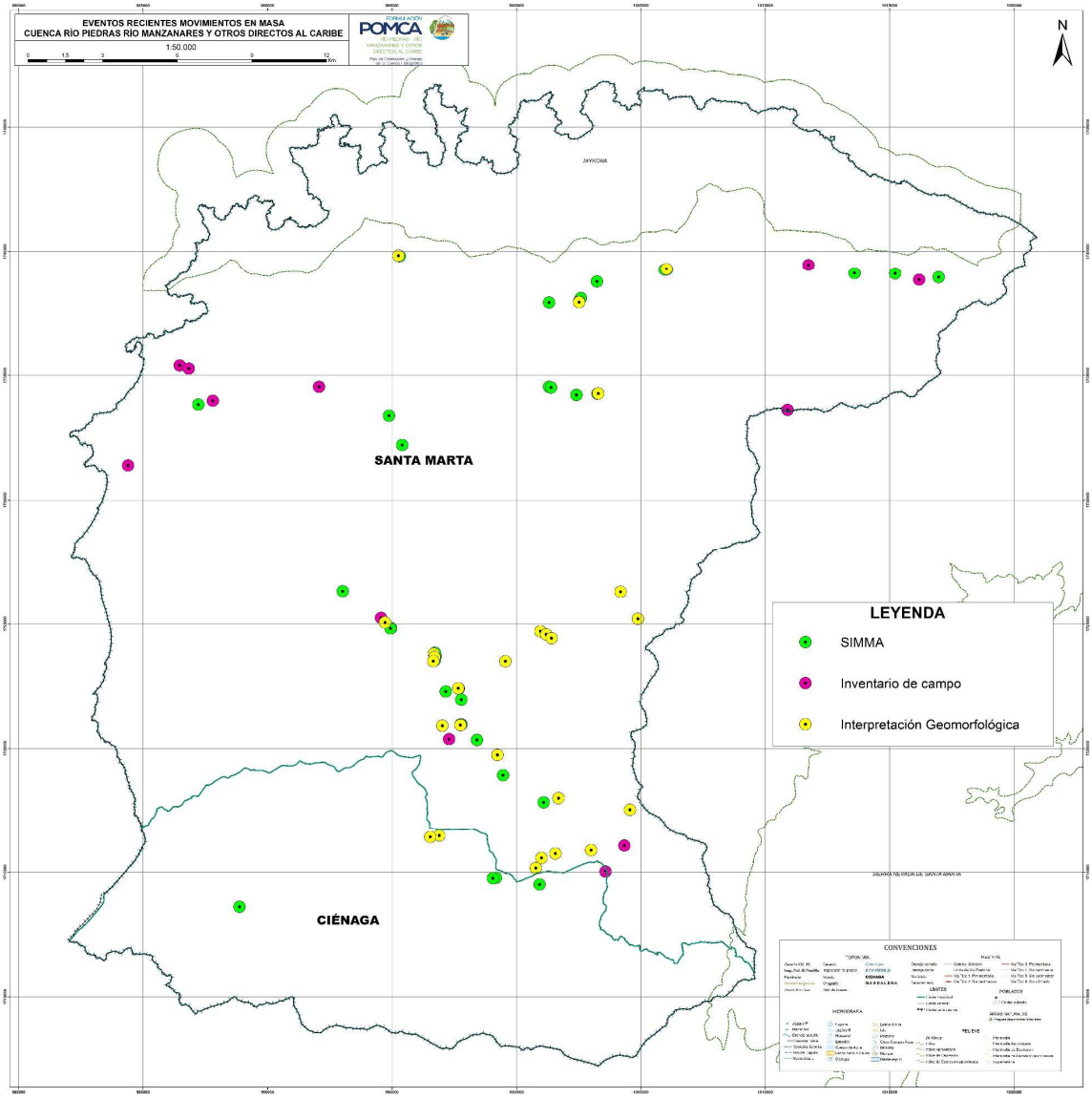
Tabla 4.1. Movimientos en masa identificados en campo

Cód. Movimiento	Coordenadas		Edad	Estado	Estilo	Distribución	Movimiento Principal	Fotografía
MM-001	N	1723840	1-5 años	Activo	Compuesto	Creciente	Flujo o Caída-Flujo	
	E	996726						
	Z	923						
MM-002	N	1722280	1-5 años	Activo	Sucesivo	Creciente	Deslizamiento Traslacional	
	E	997164						
	Z	1079						
MM-003	N	1721956	1-5 años	Activo	Compuesto	Ensanchado	Deslizamiento Traslacional	
	E	997788						
	Z	1248						
MM-004	N	1720960	1-5 años	Activo	Único	Creciente	Flujo o Caída-Flujo	
	E	997765						
	Z	1354						
MM-005	N	1714504	<1 año	Activo	Compuesto	Creciente	Flujo o Caída-Flujo	
	E	1000935						
	Z	1642						
MM-006	N	1714773	5-10 años	Activo	Compuesto	Creciente	Deslizamiento Traslacional en Cuña	
	E	999183						
	Z	1550						
MM-007	N	1714755	1-5 años	Activo	Único	Ensanchado	Reptación	

Cód. Movimiento	Coordenadas		Edad	Estado	Estilo	Distribución	Movimiento Principal	Fotografía
	E	999061						
	Z	1544						
MM-008	**N**	1733385	1-5 años	Activo	Único	Ensanchado	Caída	
	E	994886						
	Z	67						
MM-009	**N**	1734515	1-5 años	Activo	Compuesto	Creciente	Flujo o Caída-Flujo	
	E	1001396						
	Z	226						
MM-010	**N**	1738772	1-5 años	Activo	Único	Ensanchado	Caída	
	E	1003242						
	Z	261						

Del componente geomorfológico se extrajeron procesos, los cuales corresponden a eventos activos recientes identificados a partir de imágenes satelitales y rasgos detallados en campo, junto al inventario de eventos y catalogo reportados de información secundaria, se obtiene el mapa de eventos para el análisis estadístico en la zonificación de susceptibilidad de amenaza por movimientos en masa para la cuenca hidrográfica Río Piedras, río Manzanares y Otros Directos al Caribe, como se presenta en la Figura 4.4.

Figura 4.4. Mapa de eventos históricos, activos y recientes para la cuenca en evaluación.



Posteriormente, se efectúa el tratamiento estadístico, siguiendo los pasos descritos en el protocolo (MADS y Fondo Adaptación, 2014), los cuales se citan textualmente a continuación:

- Rasterización de las variables vectoriales (SIG)
- Ajuste / categorización de las variables (SIG)
- Obtención de la muestra (SIG): malla con presencia o ausencia de zonas de inestabilidad). Cada celda se caracteriza de acuerdo a las variables definidas.
- Depuración de los datos mediante el uso de análisis estadísticos (análisis de errores). Dentro de este proceso se ejecutan los siguientes pasos:

- Chequeo del ajuste a una distribución normal de las variables: se debe verificar que todas las variables se ajustan a una distribución normal mediante un test Kolmogorov – Smirnov (KS); uso de la media y la desviación estándar de la muestra. Se corrige mediante distribuciones log normales.
- Chequeo de variables independientes: las variables usadas en análisis discriminante no deben tener un alto grado de dependencia (98%). Los factores de interés son los que tienen asociada una mayor varianza. No son recomendables las dependencias lineales.
- Realizar un análisis de contraste entre las variables con mayor grado de dependencia: (análisis de la media y análisis múltiple de la varianza), para definir cuales variables excluir del análisis discriminante
- Selección de las variables independientes de mayor importancia estadística para construir la función discriminante.
- Creación de variables compuestas: por ejemplo, la función Senoidal de la pendiente.
- Recodificación cuantitativa de las variables cualitativas, calificación de atributos o adopción de pesos o valores numéricos de acuerdo al criterio experto.

Con estos pasos se selecciona un número reducido de variables independientes y de gran valor estadístico. Si estas variables tienen una distribución normal multivariante con igual Matriz de varianza – covarianza para cada unidad de evaluación, se aplica entonces el análisis discriminante.

- *Construcción y definición de la función discriminante:* Se puede utilizar el método por pasos, mediante el cual las variables entran una a una en la función discriminante hasta que se encuentre la función más significativa con el menor número de variables. De este proceso se pueden obtener distintas combinaciones de variables y se selecciona la función discriminante óptima, es decir la que con menor combinación de variables obtenga la mejor clasificación de la población inestable. Luego de este proceso se obtiene la malla regular discriminante, para lo cual se utiliza una herramienta SIG.
- Definición de la susceptibilidad y del mapa de susceptibilidad mediante el uso de herramientas SIG. Los métodos se basan en los valores de la función discriminante.
- Validación de la función y el mapa de susceptibilidad (SIG).

4.1.1.4. *Variables*

Para la selección de las variables o parámetros intrínsecos influyentes en la ocurrencia de movimientos en masa, fue necesario acudir al análisis previo de la información disponible, al reconocimiento de campo y a la experticia de los profesionales de componente de gestión del riesgo, teniendo en cuenta aspectos tales como: representatividad del área de estudio, medibilidad de los criterios y no redundancia entre las variables. De esta manera, se definieron para el análisis de susceptibilidad, las siguientes variables que se muestran en la Tabla 4.2:

Tabla 4.2. Variables utilizadas en el modelo de susceptibilidad

Variables Categóricas	Variables derivadas del MDT	Otras Variables
Roca - Suelo: Identifica las zonas de roca o suelo. **Espesor:** Expresa la profundidad de los depósitos de suelos. **Origen:** Hace referencia a la composición de los materiales de la zona de estudio. **Densidad de fracturamiento:** Representa el fracturamiento que afecta los materiales rocosos. **Vegetación: Cobertura** vegetal que cubre el suelo de la zona de estudio. **Geomorfología:** Expresa la susceptibilidad a la ocurrencia de MM, según criterios geomorfológicos. **Movimientos en MM:** Hace referencia al inventario de MM, históricos y recientes de la zona de estudio.	**Pendiente:** Expresa la inclinación del terreno. **Orientación de las laderas:** Dirección de exposición de una ladera **Curvatura de las laderas:** Indica el grado de convexidad/concavidad del terreno.	**Distancia a Cauces:** Expresa la longitud desde un punto al cauce más cercano. **Distancia a vías:** Expresa la longitud desde un punto a la vía más cercana. **Densidad de drenaje:** Indica el número de drenajes por unidad de área.

4.1.1.4.1. *Variables Categóricas*

- **Roca - Suelo:** Esta variable define la presencia o ausencia de un depósito o suelo en la cuenca objeto de ordenación. Su importancia radica en que los depósitos, presentan menos resistencia y mayor susceptibilidad a los movimientos en masa.

Como cartografía temática para evaluar este parámetro se tomó el mapa de Unidades Geológicas Superficiales, el cual presenta las unidades de material caracterizados con base en los criterios de origen, textura y consistencia de la matriz, generando una cobertura vectorial de polígonos con dos valores: 1 para las celdas sin depósito y 2 para las celdas donde existe depósito, tal como se observa en la Tabla 4.3

Tabla 4.3. Ponderación de la variable Roca – Suelo

ROCA-SUELO	CALIFICACIÓN
Rocas Ígneas	1
Rocas Metamórficas	1
Rocas Sedimentarias	1
Suelos Residuales	1
Suelos Transportados (depósitos)	2

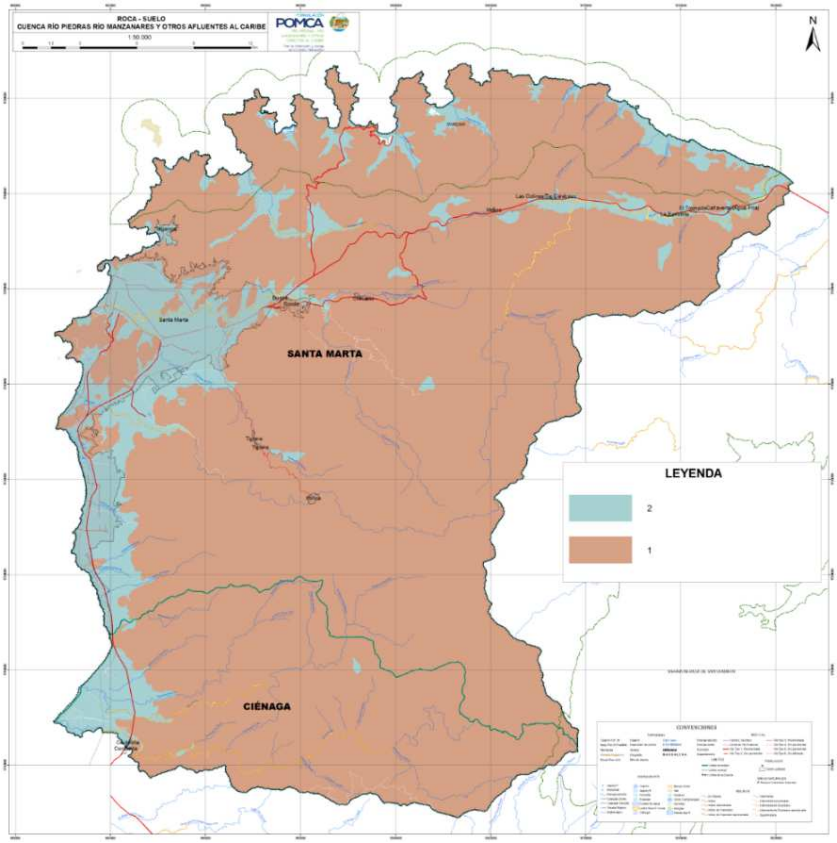
En la Cuenca Hidrográfica del río Piedras - río Manzanares y otros directos al Caribe, se encuentran rocas de tipo sedimentario, ígneas, metamórficas, suelos residuales y transportados que conforman depósitos de muy poco espesor, ubicados en algunos sectores de laderas, como producto resultante del mecanismo de meteorización de las rocas ígneas, principalmente granitos. (Tabla 4.4).

Tabla 4.4. Ponderación de la variable Roca – Suelo

Nombre Unidad	Símbolo	Calificación
Depósito de llanura de inundación	Q2lli	2
Deposito aluvial	Q2al	2
Deposito coluvial	Q2c	2
Depósito de Playa	Q2pl	2
Batolito de Santa Marta	E2smb	1
Batolito de Santa Marta y Plutón de Buritaca	E2smbd-cd	1
Filita de Taganga	K2K5ft	1
Esquistos de Concha	K2k5c	1
Esquistos de Gaira	K2k5eg	1
Mármoles de Ciénaga	K1mc	1
Esquistos de San Lorenzo Superior	K1sl2	1
Rocas ultramáficas intrusivas y metamórficas	Kum	1
Esquistos de San Lorenzo Inferior	J3sl1	1
Neis de Buritaca	Pb	1
Granulita de Los Mangos	PRm	1

En la Figura 4.5 se visualiza la espacialización de la variable roca - suelo para la Cuenca Hidrográfica del río Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe.

Figura 4.5. **Variable Roca -Suelo**



- **Espesor:** El espesor hace referencia a la profundidad o grosor de la formación superficial (depósitos superficiales y regolitos de alteración). Es una variable, que influye en la cantidad de agua que puede contener y en la magnitud de las presiones que pueden generarse; de igual manera, un gran espesor puede reducir el efecto estabilizador de las raíces.

Es un factor cualitativo obtenido a partir de las secciones trasversales tomadas de la información geológica a escala 1:100.000 para depósitos de edades neógenas y cuaternarias; el cual, se ha ponderado cuantitativamente para efectuar el análisis estadístico, con valores que oscilan entre 1 y 5, tal como se señala en la Tabla 4.5. La visualización espacial de esta variable se presenta en la Figura 4.6.

Tabla 4.5. Ponderación de la variable espesor

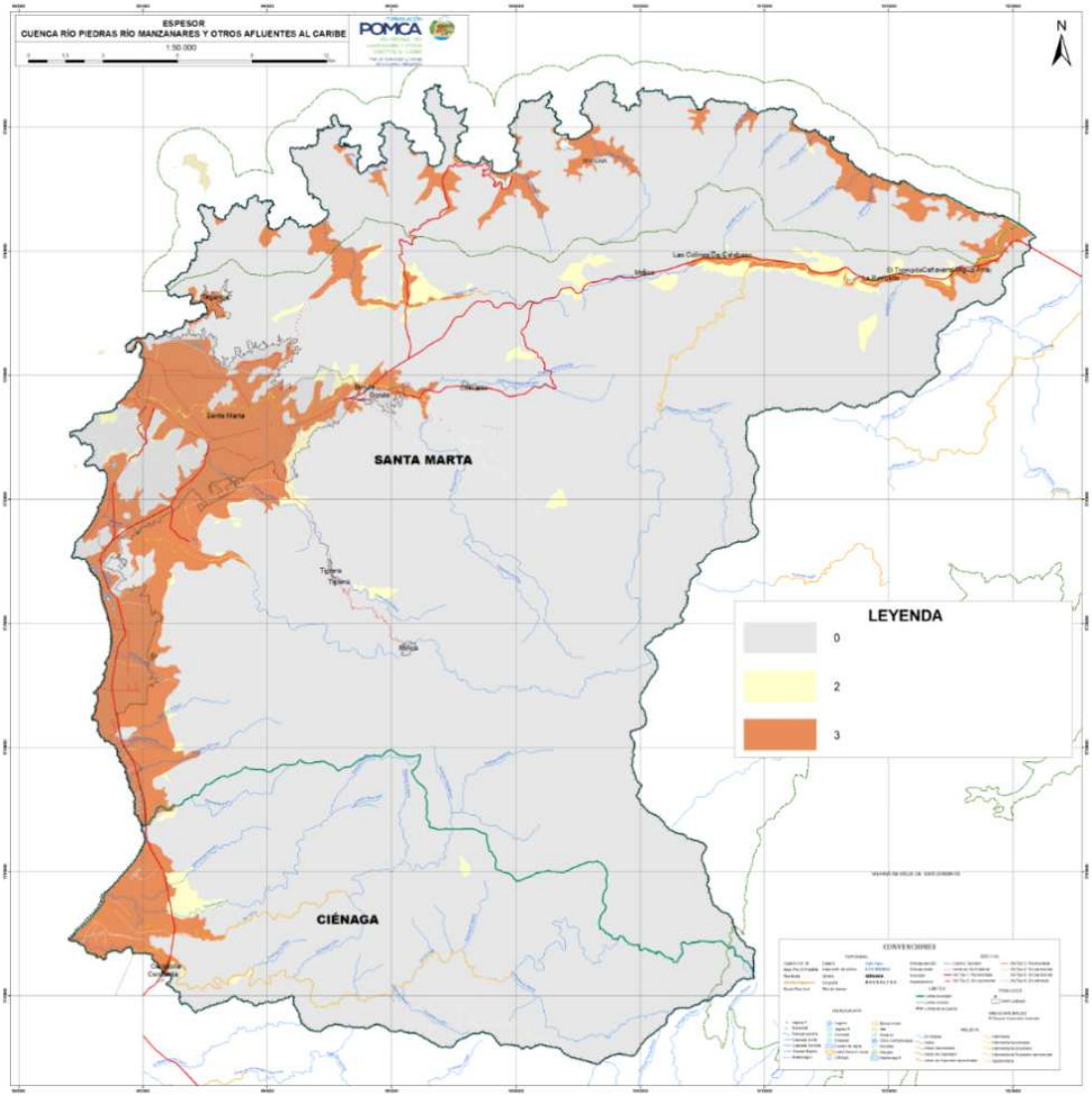
ESPESOR (Metros)	CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD	CALIFICACIÓN
< 10	Muy Baja	1
10 - 20	Baja	2
20 - 30	Moderada	3
30 - 40	Alta	4
> 40	Muy Alta	5

Para la Cuenca Hidrográfica del río Piedras - río Manzanares y otros directos al Caribe, los datos de los espesores de estos depósitos son los mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 4.6. Espesores de los depósitos neógenos y cuaternarios

Unidad Geológica	Espesor Reportado	Calificación
Q2lli	30	3
Q2al	25	3
Q2c	15	2
Q2pl	15	2

Figura 4.6. **Variable Espesor**



- **Origen:** Hace referencia al origen y composición de los depósitos de suelo de la zona de estudio. Se considera desde el punto de vista del comportamiento mecánico de los materiales de superficie. Considera su composición y origen directamente relacionados con las propiedades de resistencia y deformación de los mismos (suelos residuales, transportados, etc.). Es una variable cualitativa obtenida de forma manual representada mediante una cobertura vectorial de polígonos en SIG (Protocolo GR, 2014).

De acuerdo a lo anterior, en la Cuenca Hidrográfica del río Piedras - río Manzanares y otros directos al Caribe, se definieron cinco categorías ponderadas numéricamente para el análisis estadístico (Ver Tabla 4.7) generando una salida cartográfica, tal como se observa en la Figura 4.7.

Tabla 4.7. Ponderación de la variable Origen

ORIGEN	CATEGORIA	CALIF
Aluvión compacto permeable; calizas permeables; rocas intrusivas ligeramente fisuradas, basaltos, ignimbritas, andesitas; bajo grado de meteorización, niveles freáticos bajos, poco fisuradas y alta resistencia al corte.	Baja	1
Alto grado de meteorización de las litologías mencionadas anteriormente y de rocas sedimentarias masivas; baja resistencia al corte y fracturas de cizalla.	Moderada	2
Rocas sedimentarias, intrusivas, metamórficas y volcánicas considerablemente meteorizadas; suelos regolíticos arenosos compactos; fracturación considerable y nivel freático fluctuante.	Media	3
Meteorización considerable, alteración hidrotermal de cualquier clase de rocas; rocas fuertemente fracturadas y con fisuras llenas de arcilla; suelos piroclásticos y fluviolacustres pobremente compactados; niveles freáticos poco profundos.	Alta	4
Rocas extremadamente alteradas; suelos residuales, coluviales y aluviales con baja resistencia cortante; niveles freáticos profundos.	Muy Alta	5

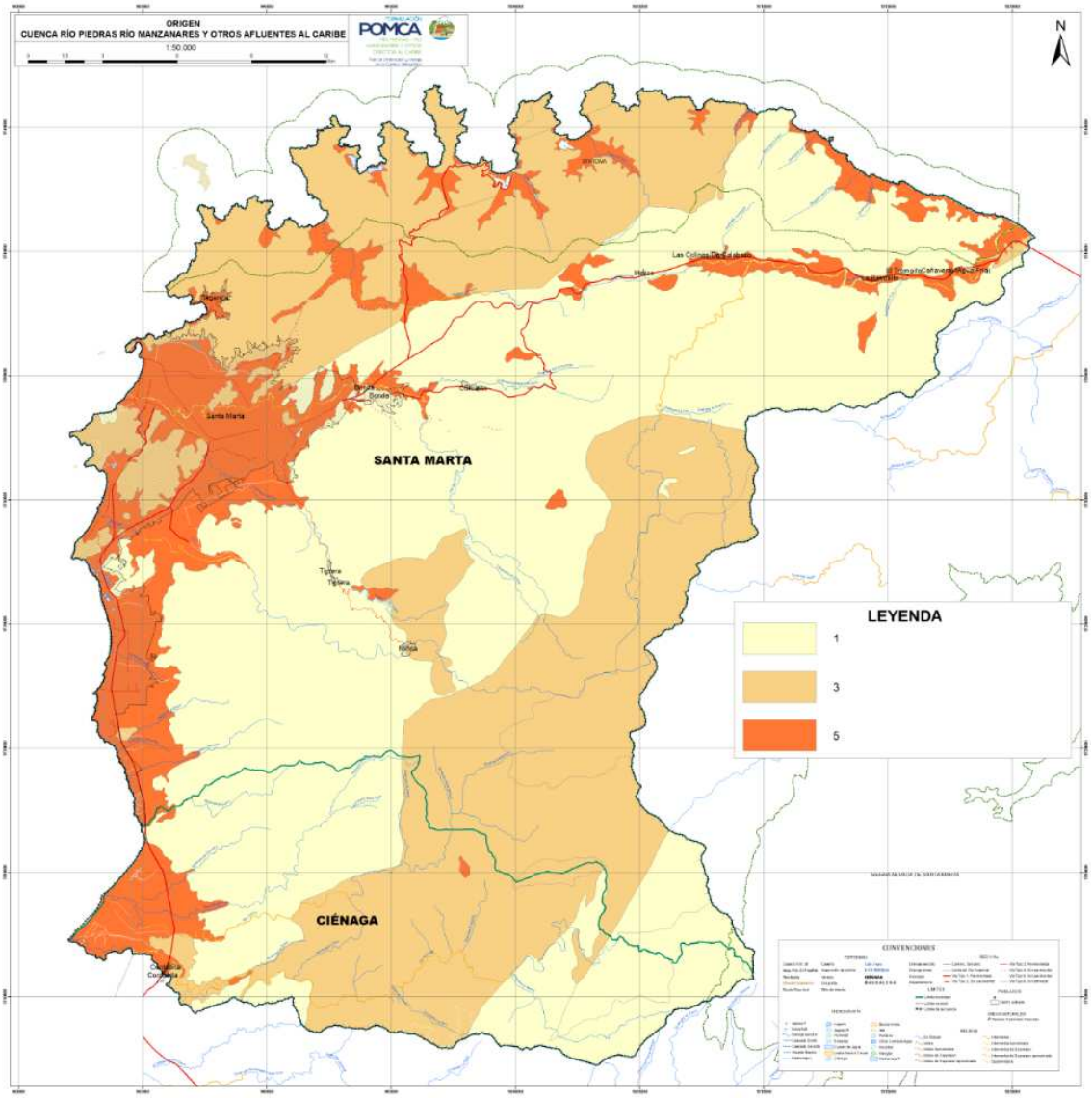
Para la Cuenca Hidrográfica del río Piedras - río Manzanares y otros directos al Caribe, los datos del factor origen se muestran en la Tabla 4.8, que muestra las unidades geológicas, donde se identifica el material que da origen a los depósitos presentes en el área de estudio.

Tabla 4.8. Origen y composición de los depósitos de suelos

Unidad Geológica	Nombre de la Unidad	Descripción del Material que conforma la Unidad Geológica	Categoría
Q2lli	Depósito de llanura de inundación	Depósitos compuestos principalmente por limos y arcillas y arenas finas.	Muy Alta
Q2al	Deposito aluvial	Depósitos de gravas y fragmentos de rocas metamórficas e ígneas de las rocas que se encuentran en las zonas topográficamente más altas.	Muy Alta
Q2c	Deposito coluvial	Depósitos de gravas subredondeados y bloques de hasta de más de 1m de diámetro de diámetro, derivados de rocas ígneas y metamórficas, con escasa en matriz arenosa	Muy Alta
Q2pl	Depósito de Playa	Depósitos de arenas de playa de grano fino, compuestas por cuarzo y minerales pesados, dispuestas en forma plano paralela a semiparalela continua, presenta algunos lentes de materiales con carbonatos, y de material arcilloso de color claro, contiene abundantes conchas	Baja
E2smbd-cd	Batolito de Santa Marta y Plutón de Buritaca	Rocas ígneas intrusivas de composición tonalitica y de rocas híbridas que afloran en la zona de contacto de esquistos, intruyendo las rocas metamórficas del Jurásico -Cretácico.	Baja
K2K5ft	Filita de Taganga	Filitas cloríticas y sericiticas de color verde claro con una foliación pizarrosa; dentro de esta unidad se encuentran en menor proporción otros tipos de rocas como anfibolitas de grano fino y talco esquistos, también unas rocas masivas, pero ligeramente esquistosas de grano medio a grueso que contienen fenocristales de un mineral negro no identificado	Media
K2k5c	Esquistos de Concha	Sedimentos Paleozoicos o Mesozoicos de grano fino, sometidos durante el intervalo de tiempo Cretácico– paleoceno a metamorfismo regional de bajo grado en facies esquisto verde	Media

Unidad Geológica	Nombre de la Unidad	Descripción del Material que conforma la Unidad Geológica	Categoría
K2k5eg	Esquistos de Gaira	Esquistos anfibióticos densos, negros y micaesquistos, la parte inferior presenta algunas capas de filita clorita con foliación crinkled, con pequeños cristales de cloritoide y espesarita. Los micaesquistos son principalmente esquistos biotíticos, pero algunos contienen también moscovita; presentan biotita semitransparente metamórfica baja en hierro que da un brillo plateado a la superficie	Media
K1mc	Mármoles de Ciénaga	Mármoles arenosos impuros y dolomitas; no contienen minerales metamórficos.	Baja
K1sl2	Esquistos de San Lorenzo Superior	Esquistos grafitosos, micáceos y anfibólicos; con cuarcitas micáceas bien estratificadas de aspecto cristalino, compactas que preservan la estructura sedimentaria	Media
Kum	Rocas ultramáficas intrusivas y metamórficas	Rocas ultramáficas, intrusivas y metamórficas que carecen de foliación definida e incluyen serpentinintas (probablemente) de origen intrusivo, rocas talco tremolita, tremolita masiva posiblemente metamorfoseada, horblendas, piroxénos, periodotitos y rocas de talco serpentina o rocas de clorita talco-serpentina-tremolita, rocas intrusivas ultramáficas (con olivino) y mármoles ricos en magnesio o piroxenitas y serpentina.	Media
J3sl1	Esquistos de San Lorenzo Inferior	Rocas metamórficas de diferente grado de metamorfismo, predominan esquistos micáceos y ocasionalmente esquistos grafitosos, cloríticos, anfibolitas y cuarcitas, mármoles y neises. Es común la presencia de lentes (augen) de cuarzo, que ocurren tanto por segregación como por presión solución; se observan diques pegmatiticos graníticos, moscovíticos y localmente con granates, es común la precipitación secundaria de yeso y azufre	Media
Pb	Neis de Buritaca	Neises meta ígneos, máficos y migmatíticos con asociación mineral de las facies anfibolita almandino. Son neises de horblenda – plagioclasa, anfibolitas y migmatitas compuestos principalmente por horblenda y plagioclasa con menor cantidad de cuarzo, biotita y epidota baja en hierro. Las migmatitas son rocas bandeadas con alternancia de niveles espesos de neises máficos y delgados irregulares, neises concordantes de cuarzodiorita o granodiorita biotíticas. En las capas granitas son más abundantes el feldespato potásico y la biotita	Baja
PRm	Granulita de Los Mangos	Consiste de bandas paralelas alternantes de granulitas máficos a Ultramaficas densas, de tono oscuro, granulitos graníticos de tonos claros y composición intermedia. presenta algunas intercalaciones delgadas de capas de mármol diópsido o rocas calcosilicatadas, con granulitas de grano medio a grueso, bien foliadas, de textura granoblástica	Baja

Figura 4.7. **Variable Origen**



- **Densidad de Fracturamiento:** La condición y estado de fracturamiento de las rocas se asocia particularmente a las zonas de mayor deformación tectónica, que corresponde a las fallas geológicas y plegamientos de las rocas sedimentarias. En el caso de las fallas geológicas es de esperar que la deformación y el fracturamiento se intensifiquen con las tasas de desplazamiento de las fallas, mientras en el caso de los pliegues el mayor fracturamiento se concentra en las crestas donde predominen las rocas frágiles (SGC, 2012).

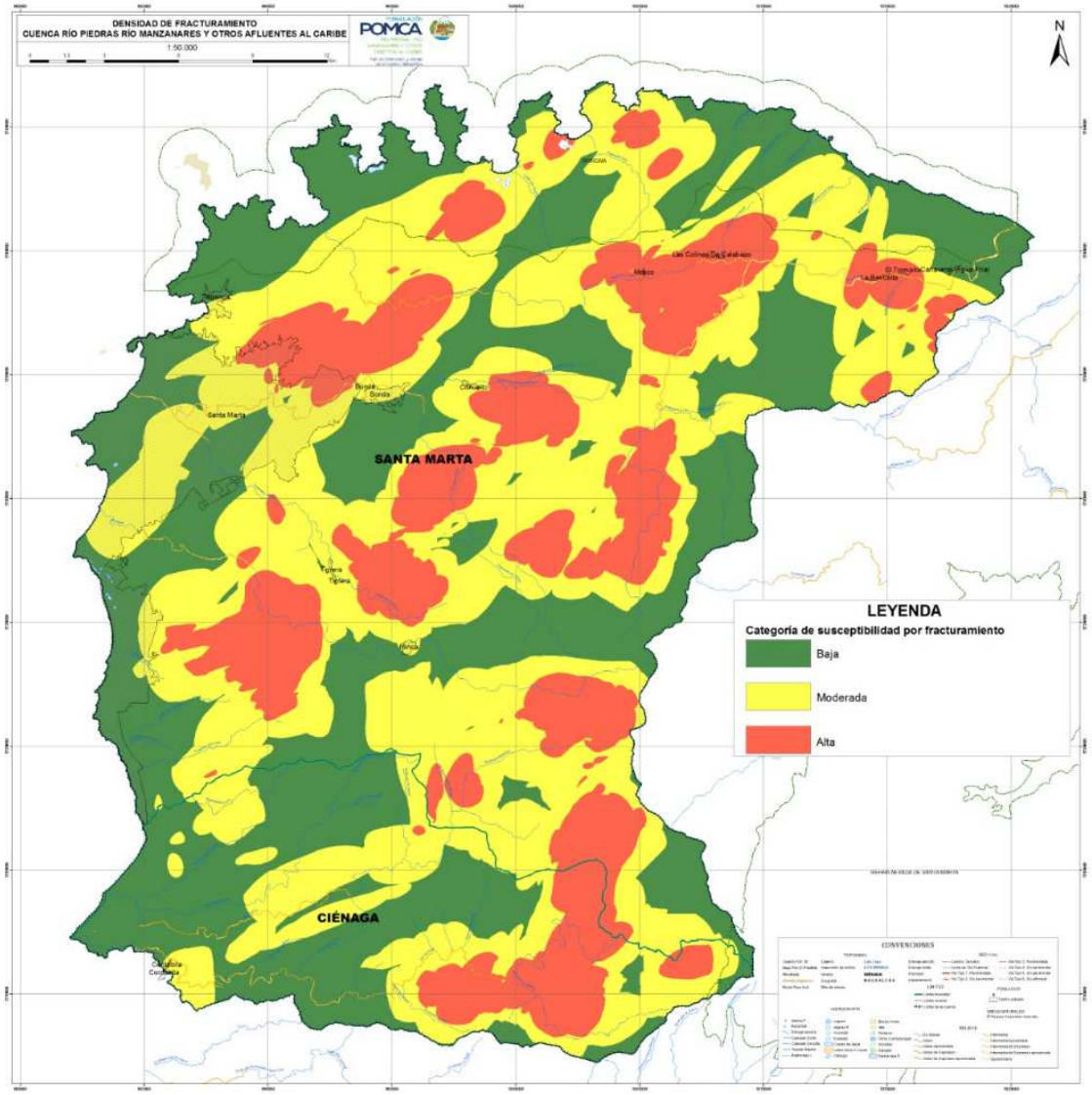
Es una variable semicuantitativa, contenida en el mapa geológico básico (estructuras geológicas); la cual se representa en una cobertura vectorial de polígonos en SIG; sobre ésta, se definió una estandarización de la intensidad en 3 grupos principales, alta, media y baja; utilizando una

metodología de densidad de líneas en el software ArcGis, empleando la categorización de intervalos naturales para la consecución de un resultado de la densidad de fracturamiento. Se tomaron en cuenta todas las fallas presentes sin valores calificantes para los distintos tipos de fallas (Ver Tabla 4.9).

Tabla 4.9. Ponderación de la variable densidad de fracturamiento

DENSIDAD DE FRACTURAMIENTO	CALIFICACIÓN
Alta	3
Media	2
Baja	1

Figura 4.8. **Variable Densidad de fracturamiento**



- **Vegetación:** La cobertura vegetal y su densidad influyen en la estabilidad de la formación superficial, de acuerdo con la acción de dos mecanismos: hidrológicos y mecánicos. Los hidrológicos comprenden la capacidad de infiltración en el suelo, la humedad, la evapotranspiración, entre otros; mientras que los mecánicos generan aumento de resistencia de las raíces y protección frente a la erosión (Geenway, 1997; Mulder, 1991).

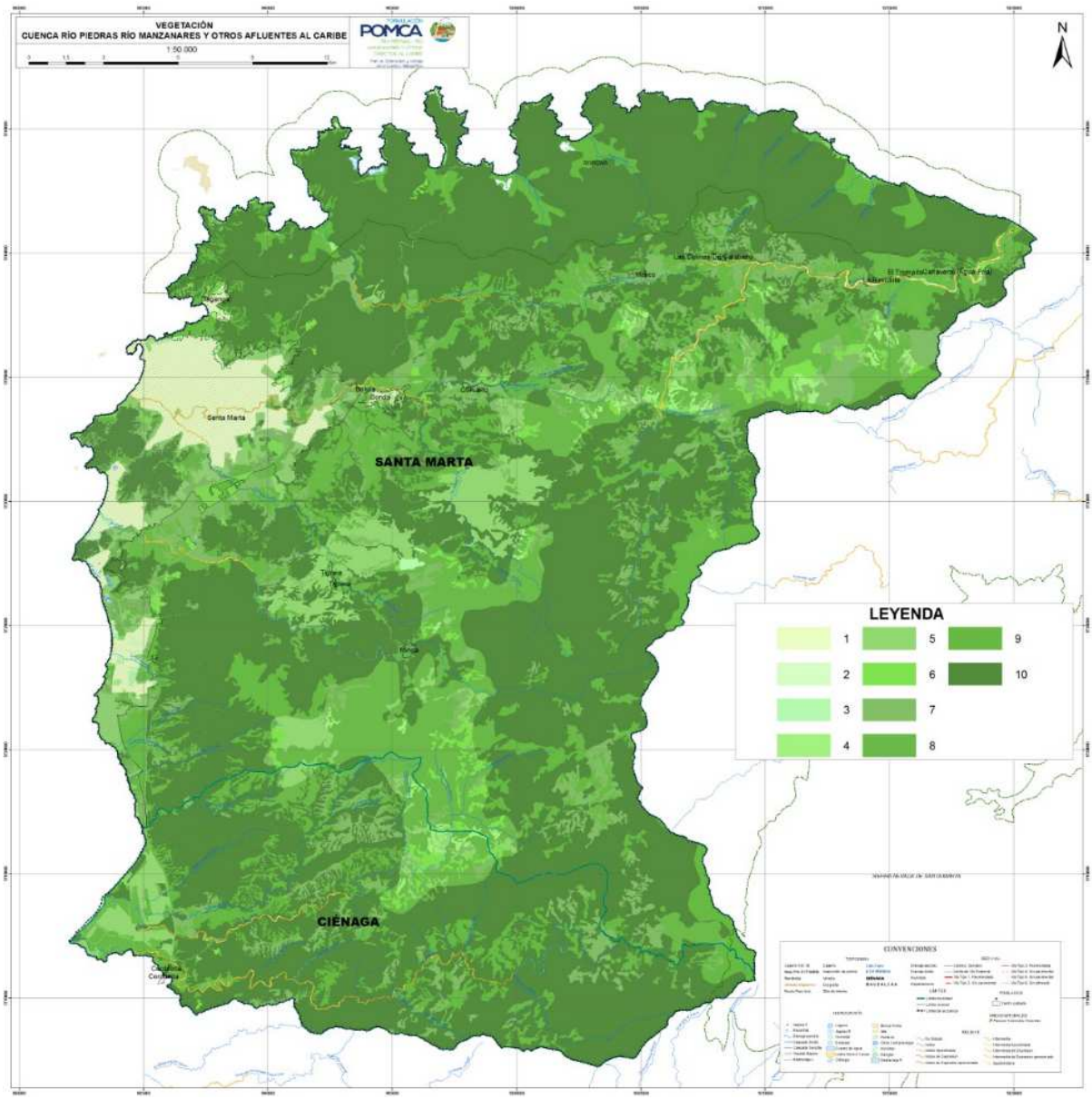
Dado lo anterior, es importante incluir la cobertura vegetal, como un parámetro dentro del modelo de susceptibilidad a movimientos en masa; convirtiéndose, en una variable cualitativa, agrupada en diez (10) categorías según la relación entre tipo/densidad de vegetación y estabilidad de la ladera. Estas categorías serán ponderadas numéricamente para el tratamiento estadístico, de acuerdo con la Tabla 4.10

Tabla 4.10. Ponderación de la variable vegetación

VEGETACIÓN	CALIFICACIÓN
Tierras desnudas y degradadas, zonas quemadas, zonas pantanosas, otras explotaciones mineras, playas, arenales, áreas erosionadas y con remoción en masa.	1
Explotación de hidrocarburos, Herbazal abierto arenoso	2
Pastos limpios, pastos enmalezados, herbazales, arroz, mosaico de cultivos, mosaico de pastos y cultivos.	3
Herbazal denso inundable arbolado, pastos arbolados, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales herbáceos	4
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, mosaico de pastos con espacios naturales, helechal	5
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos, mosaico de pastos con espacios naturales arbóreos, mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos	6
Arbustales abiertos, vegetación secundaria baja	7
Palma de aceite, bosque fragmentado, vegetación secundaria alta, bosque denso inundable	8
Bosque fragmentado con espacios naturales, plantación de coníferas, arbustales densos y bosque abierto alto de tierra firme.	9
Bosque de galería y ripario, plantación de latifoliadas	10

En la Figura 4.9, se visualiza la espacialización de la variable Vegetación para la Cuenca Hidrográfica del río Piedras - río Manzanares y otros directos al Caribe.

Figura 4.9. **Variable Vegetación**



- **Geomorfología:** Los sistemas morfogénicos explican el origen de la gran variedad de geoformas existentes en el territorio nacional; cada sistema morfogénico refleja la reunión de variables litológicas, topográficas, bioclimáticas, cobertura vegetal y uso, y cada unidad tiene una dinámica y evolución particulares (IDEAM, 2012). Para el presente análisis, la geomorfología aporta información sobre la probabilidad de ocurrencia de los movimientos en masa, de acuerdo con la caracterización de los procesos morfodinámicos que actúan en las subunidades identificadas.

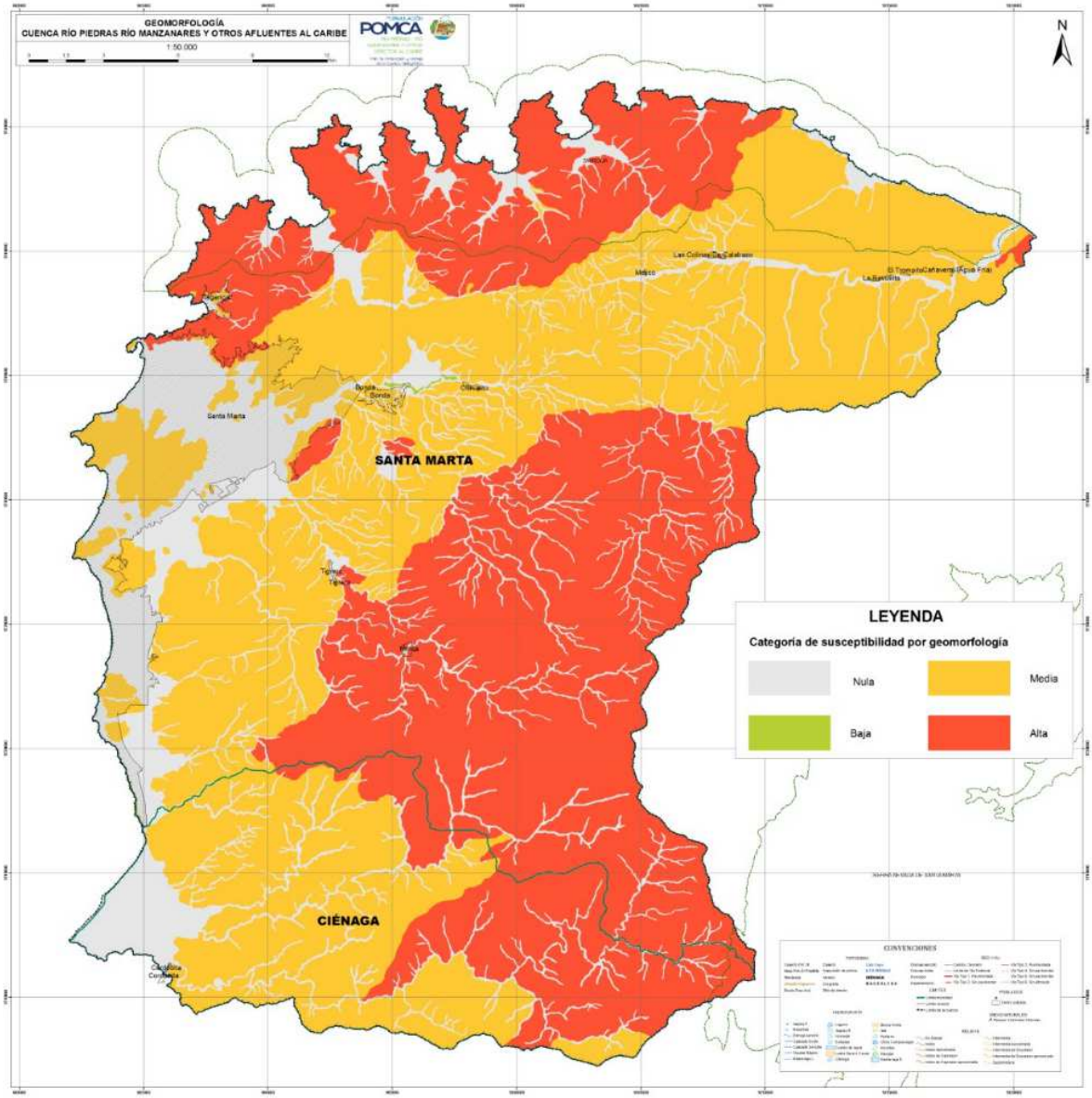
En una variable cualitativa, agrupada en cuatro (4) categorías; las cuales, serán ponderadas numéricamente para el tratamiento estadístico, de acuerdo con la información contenida en la Tabla 4.11. En la Figura 4.10, se visualiza la espacialización de la variable Geomorfología para la Cuenca Hidrográfica del río Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe.

Las categorías de susceptibilidad por geomorfología, se obtuvieron del análisis de las unidades definidas por el método Carvajal, 2011, que mostraron procesos morfodinámicos relacionados a movimientos en masa y condiciones morfológicas que facilitan la ocurrencia de este tipo de eventos; clasificando como de alta susceptibilidad, aquellas unidades que presentan mayor cantidad de procesos, hasta la categoría nula, que es aquella en la que no se identificaron procesos de este tipo.

Tabla 4.11. Ponderación de la variable Geomorfología

SUSCEPTIBILIDAD POR GEOMORFOLOGÍA	CARACTERIZACIÓN	CALIFICACIÓN
Alta	Clasificación geomorfológica en región estructural o denudacional con unidades de escarpes, espinazos, crestas y crestones; comúnmente presentan procesos de derrumbes, desplomes, solifluxión, escurrimiento y diferentes clases de erosión superficial.	3
Media	Región geomorfológica fluvial, con unidades de glacis, taludes y abanicos aluviales; presentan procesos de deslizamiento, derrumbes y escurrimiento	2
Baja	Región geomorfológica denudacional en unidades de cimas, lomas, escarpes, glacis; presentan normalmente derrumbes, escurrimientos y desplomes.	1
Nula	Clasificación geomorfológica en región fluvial y denudacional en unidades de llanura de inundación, terrazas bajas, lomas y conos de deyección; con procesos propios de las zonas topográficamente más bajas como encharcamientos, inundaciones y erosión superficial.	0

Figura 4.10. **Variable Geomorfología**



- **Movimientos en Masa:** Indica la presencia o ausencia de deslizamientos previos en la zona de estudio, permitiendo establecer relaciones estadísticas con las demás variables incorporadas en el modelo de susceptibilidad. Es una variable cualitativa, la cual se representa en formato vectorial, utilizando un punto para situar la ubicación de cada evento amenazante.

Como cartografía temática para evaluar este parámetro se tomó el mapa de localización de eventos recientes y afectaciones históricas y con ayuda de las herramientas SIG, se generó una cobertura

vectorial de polígonos con dos valores: 0 para las celdas sin registros de movimientos en masa y 1 para las celdas dónde existen registros de MM.

4.1.1.4.2. *Variables Derivadas Del Modelo Digital Del Terreno*

- **Pendiente:** Uno de los principales parámetros relacionados con los movimientos en masa, es la pendiente del terreno; dado que, el agente de transporte en este tipo de eventos es la gravedad. De ahí se deduce que los movimientos en masa se producen en taludes y superficies con pendientes pronunciadas.

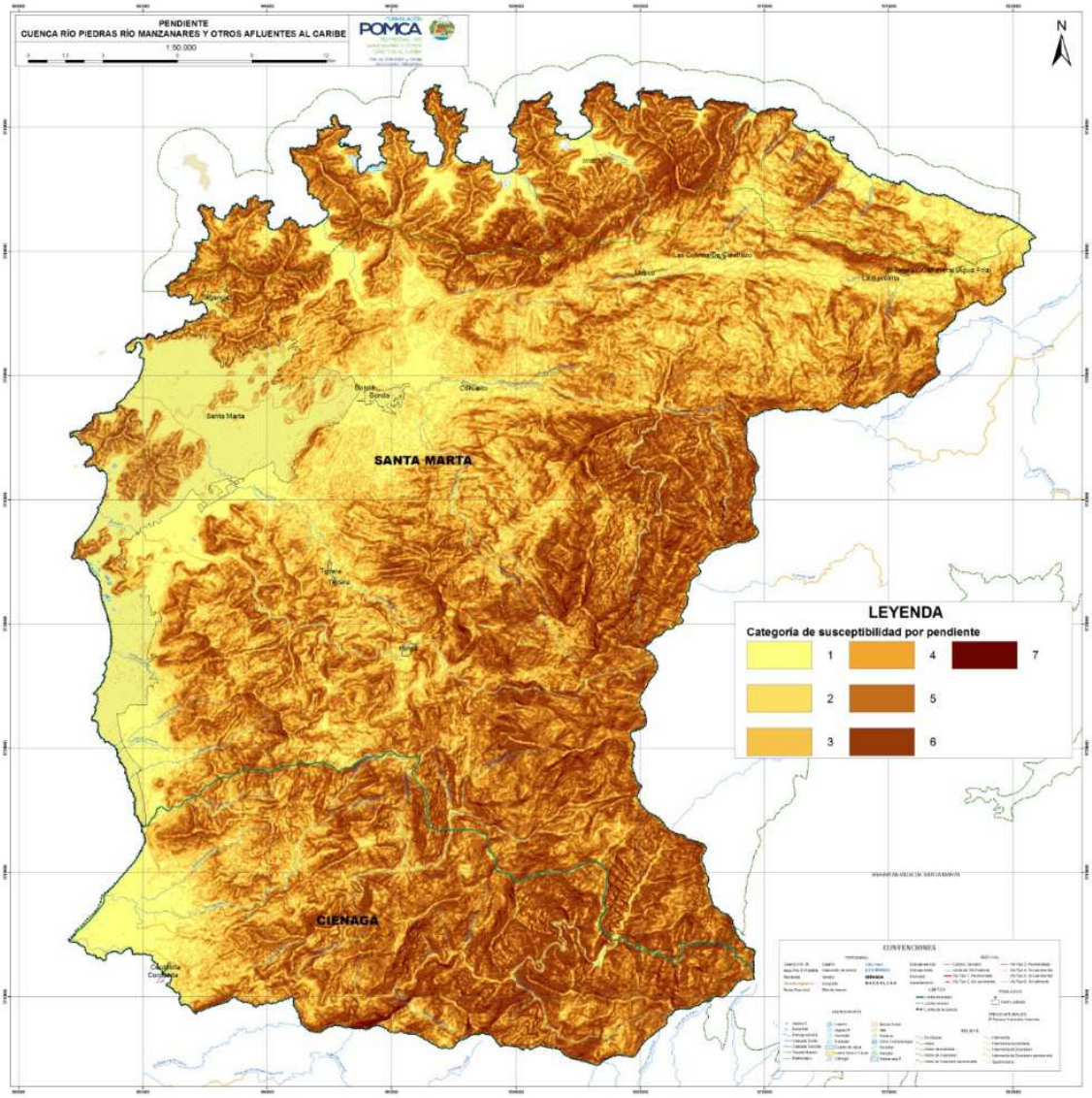
La pendiente se concibe como una forma de medir el grado de inclinación del terreno, calculando el cambio vertical en altitud entre la distancia horizontal (Chrisman, 1997). Es una variable geométrica cuantitativa de orden continuo, derivado del Modelo Digital del Terreno y expresado en grados entre 0 ° y 90 °.

Para propósitos de este estudio, la pendiente del área de análisis fue agrupada en cinco categorías, de acuerdo a la Tabla 4.12, las cuales son el resultado del análisis de la literatura disponible. La visualización espacial de esta variable se presenta en la Figura 4.11

Tabla 4.12. Categorías de la variable Pendiente

RANGO (GRADOS)		TIPO DE PENDIENTE
Menor a 5°	1	Plana a suave
5° - 10°	2	Suavemente Inclinada
11° - 15°	3	Inclinada
16° - 20°	4	Muy Inclinada
21° - 30°	5	Abrupta
31° - 45°	6	Muy Abrupta
> 45°	7	Escarpada

Figura 4.11. **Pendientes**



- **Orientación de las laderas:** La orientación en un punto puede definirse como el ángulo existente entre el vector que señala el Norte y la proyección sobre el plano horizontal del vector normal a la superficie en ese punto. Como en el caso de la pendiente, el valor de orientación se estima directamente a partir de los parámetros obtenidos de ajustar una superficie cuadrática a los nueve valores de la celdilla central y su entorno (Wood, 1996).

Es una variable cuantitativa continua, derivada del MDT, con un rango de valores de 1° a 360°, aunque también se puede encontrar un valor de -1° para aquellas celdas de pendiente 0°. Este parámetro indica de manera indirecta si una ladera se encuentra húmeda o seca con mayor

frecuencia (por asociación con la insolación); así como, puede influir en la cantidad de lluvia recibida, según la dirección de avance de los frentes nubosos.

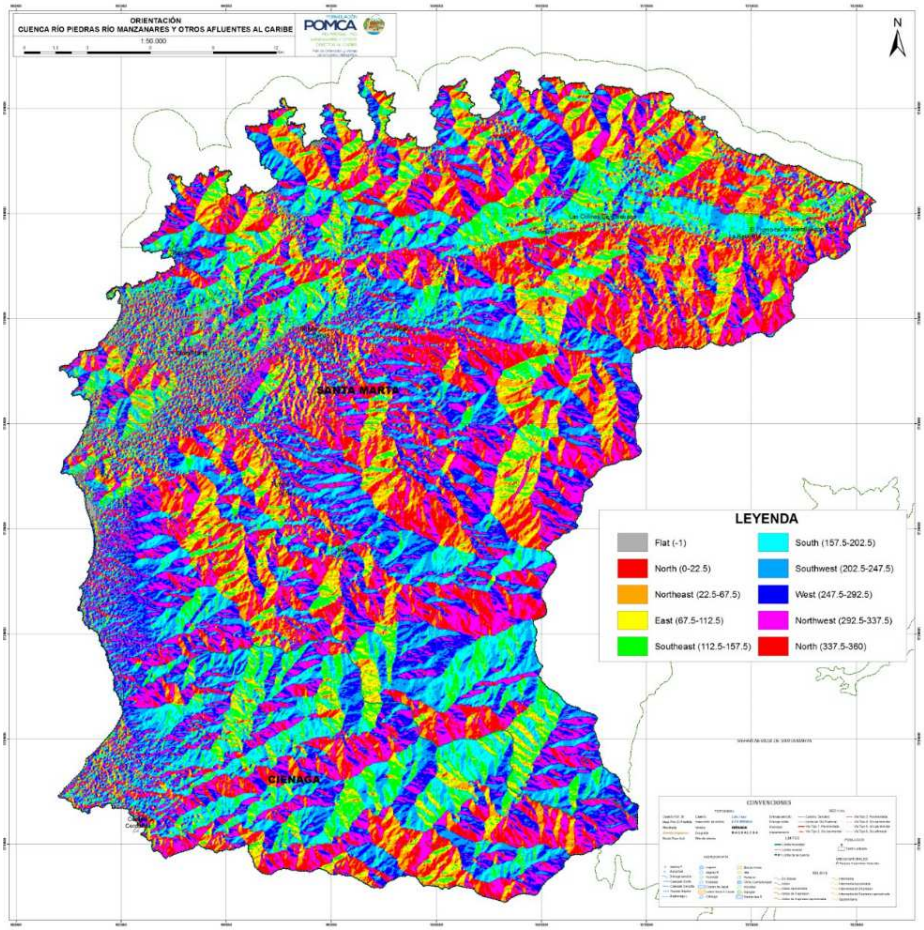
Para su visualización, la variable orientación fue agrupada en ocho categorías, tal como se presenta en la Tabla 4.13 y como se muestra en la Figura 4.12.

Tabla 4.13. Categorías de la variable Orientación de las laderas

RANGO (Grados)	ORIENTACIÓN
0 – 22.5	Norte
22.5 – 67.5	Noreste
67.5 – 112.5	Este
112.5 – 157.5	Sureste
157.5 – 202.5	Sur
202.5 – 247.5	Suroeste
247.5 – 292.5	Oeste
292.5 – 337.5	Noroeste
337.5 - 360	Norte

Fuente: SGC, 2010

Figura 4.12. **Orientación de las laderas**



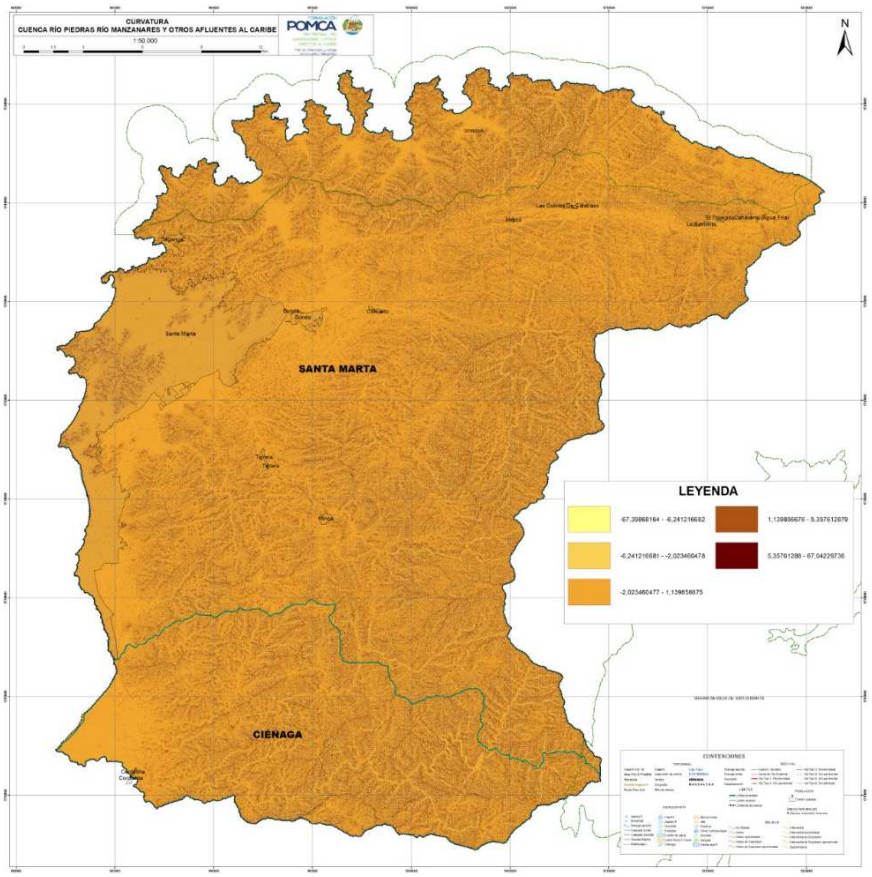
- **Curvatura de las laderas:** La curvatura es la tasa de cambio en la pendiente, depende de las derivadas de segundo grado de la altitud, es decir, de los cambios de pendiente en el entorno del punto. A efectos prácticos puede calcularse como la pendiente de la pendiente. La curvatura tiene especial interés como variable influyente en fenómenos como la escorrentía superficial, canalización de aludes, erosión y flujos en general (Wood, 1996). La variable se deriva del MDT, siendo cuantitativa continua, con un rango de valores que oscila entre -20 y 20 unidades. El valor 0 en una celda corresponde a una superficie plana formada entre la celda en cuestión y ocho celdas vecinas, valores positivos indican que la superficie es convexa y valores negativos indican concavidad hacia la celda (Cesca, et al).

  Esta variable se asocia con los movimientos en masa, ya que en las zonas cóncavas el flujo de agua se concentra favoreciendo la aparición de deslizamientos superficiales. Algunos estudios sugieren que los movimientos en masa ocurren principalmente en convergencias topográficas dónde se concentra el flujo subterráneo (Baeza, 1994). En el presente análisis, la variable curvatura fue agrupada en 5 categorías, mediante una distribución de frecuencias a través del método de cuartiles (Ver Tabla 4.14). La salida cartográfica de esta variable, se presenta en la Figura 4.13.

Tabla 4.14. Categorías de la variable curvatura de las laderas

RANGO	GRADO CURVATURA
-14.5380 a -4.4995	Muy convexo
-4.4995 a -0.0573	Convexo
-0.0573 a 0.1640	Rectilíneo
0.1640 a 0.6058	Cóncavo
0.6058 a 13.6494	Muy Cóncavo

Figura 4.13. **Curvatura de las laderas**



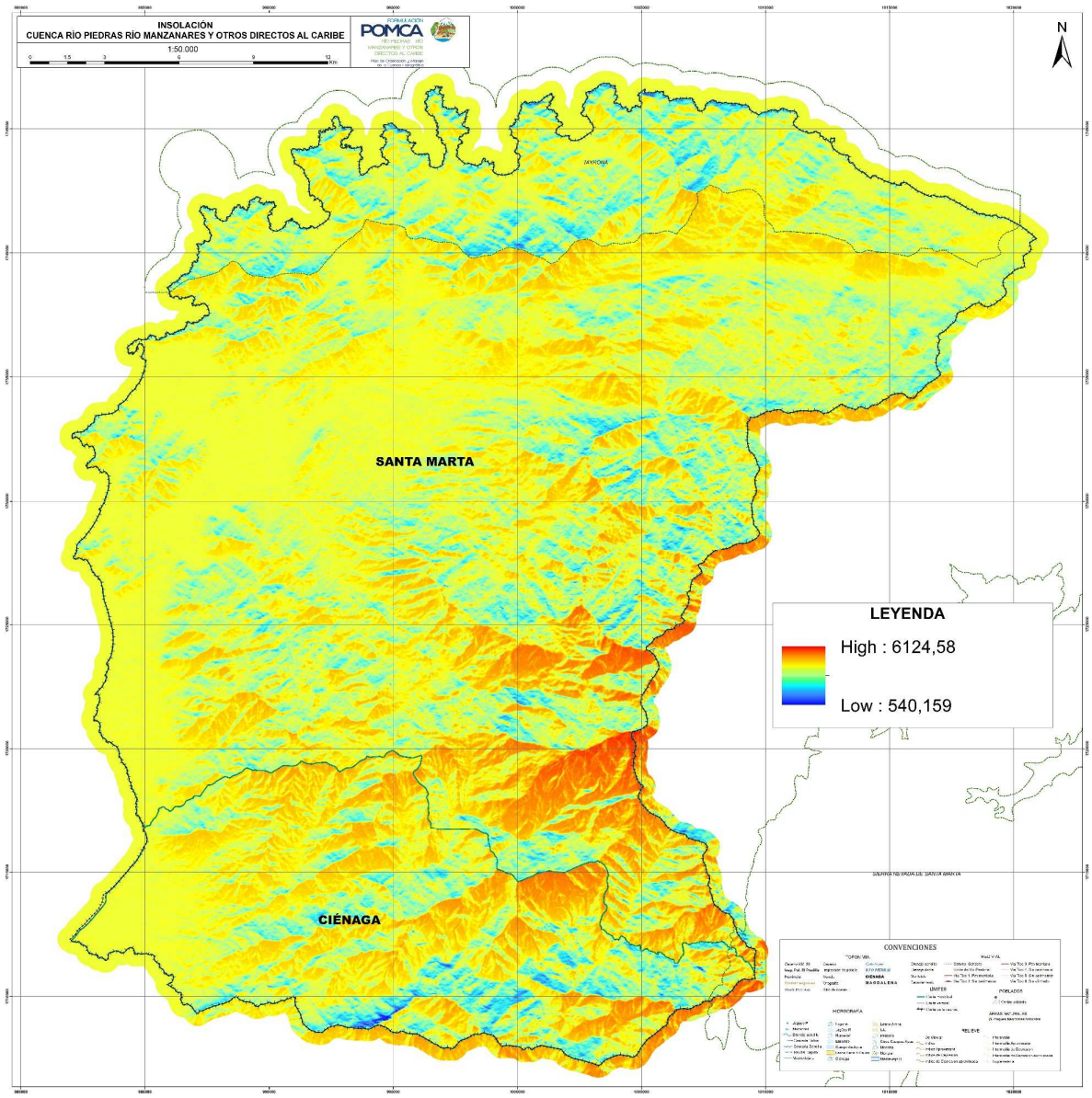
❖ **Insolación:** La insolación es la cantidad de energía en forma de radiación solar que alcanza un lugar en un intervalo de tiempo definido (Incoming Solar Radiation), tiene incidencia en el tiempo de las zonas que se encuentra al sol o en la sombra.

Se conoce como radiación directa, la que se recibe directamente del Sol, sin sufrir ninguna dispersión atmosférica; la radiación difusa es la que se recibe del sol, después de ser desviada por dispersión atmosférica; es radiación difusa la que se recibe a través de las nubes, así como la que proviene del cielo azul. Por otro lado, se conoce como radiación terrestre la que proviene de objetos terrestres, por ejemplo, la que refleja el agua. Se conoce como radiación total, la suma de las radiaciones directa, difusa y terrestre que se reciben sobre una superficie. Cuando se mide la radiación total sobre una superficie plana, puede considerarse que no existe radiación terrestre y se conoce como radiación global. Por tanto, la radiación global es la suma de la directa más la difusa (INGEOMINAS, 2009).

A la energía de la radiación solar que se recibe en una superficie determinada en un instante dado se le conoce como irradiancia y se mide en unidades de Watt / m2. La insolación corresponde a la integración de la irradiancia en un tiempo determinado. Este término tiene unidades de energía por área, comúnmente Watts - hora por metro cuadrado (W-h / m2).

La insolación también se expresa en términos de horas solares pico. Una hora de energía equivale a la energía recibida durante una hora, a una irradiancia promedio de 1000 W / m2 (INGEOMINAS, 2009). Para la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe se muestra la variable en la Figura 4.14.

Figura 4.14. **Variable insolación en la cuenca Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe.**



4.1.1.4.3. *Otras Variables*

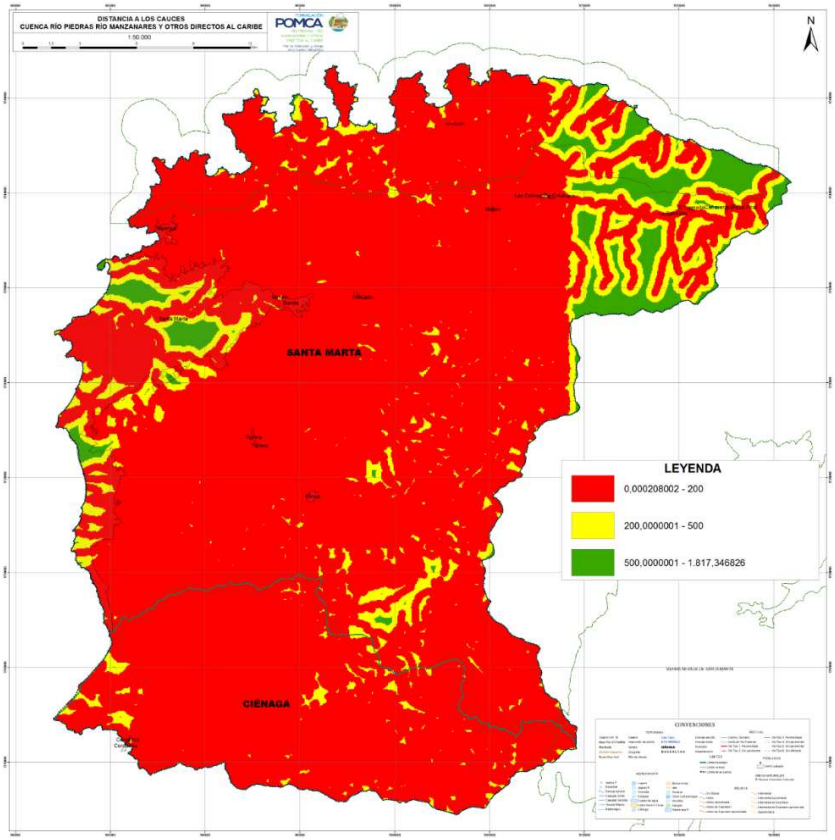
- **Distancia a Cauces:** Corresponde a la distancia desde la celda hasta el cauce de tipo permanente más cercano. Es una variable cuantitativa de tipo continuo, derivada de la cartografía base, la cual, permite analizar indirectamente la incidencia del recurso hídrico en la generación de movimientos en masa; puesto que, a mayor acumulación de agua, existe mayor probabilidad de ocurrencia de MM.

Para la visualización, la variable distancia a cauces fue agrupada en 3 categorías subjetivas de acuerdo con las observaciones de campo, donde se pudo observar la susceptibilidad a movimientos en masa, dependiendo de la distancia entre un punto de la cuenca y el drenaje más próximo, como se observa en la Tabla 4.15. La salida cartográfica de esta variable, se presenta en la 0.

Tabla 4.15. Categorías de la variable distancia a cauces

RANGO (m)	NIVEL DE SUSCEPTIBILIDAD POR DISTANCIA A CAUCES
0-200	Alta
201-500	Media
>500	Baja

Figura 4.15. **Distancia a cauces**



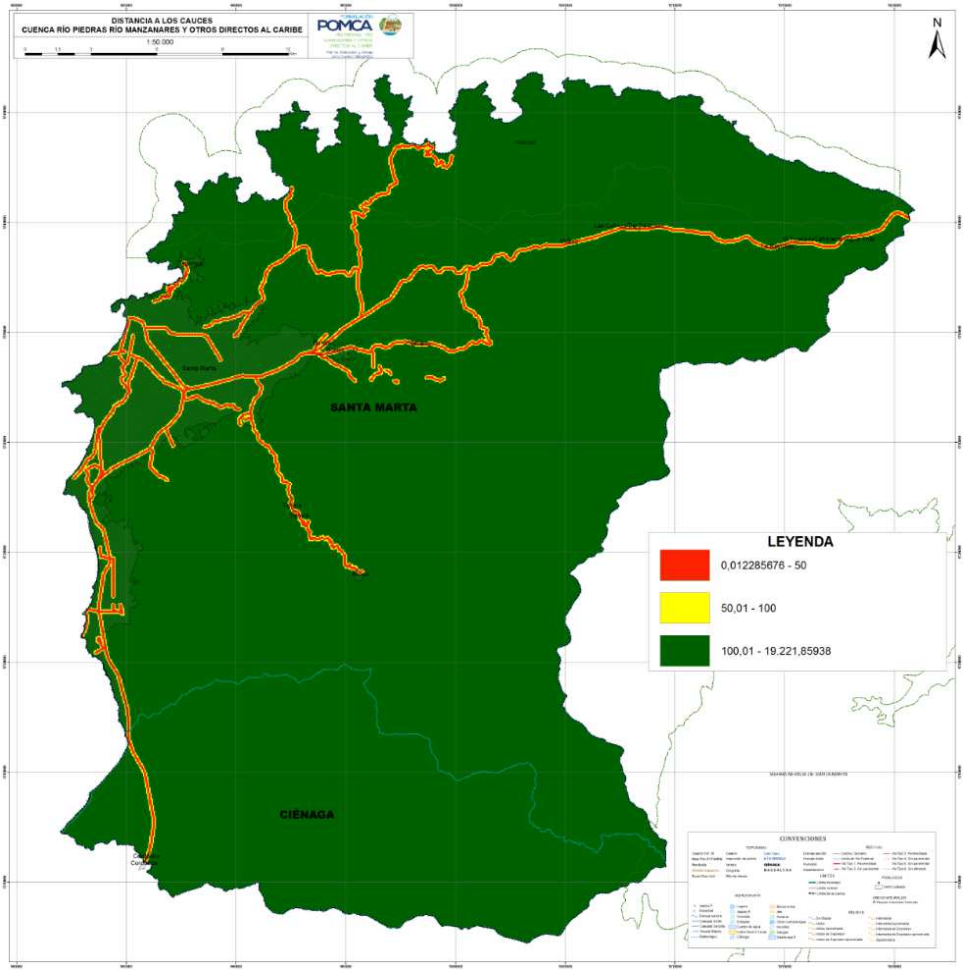
- **Distancia a vías:** Corresponde a la distancia desde la celda hasta la vía primaria y/o secundaria más cercana. Es una variable cuantitativa de tipo continuo, derivada de la cartografía base, la cual, permite analizar indirectamente la incidencia de los cortes viales en la generación de movimientos en masa. Es de esperar que, a menor distancia, mayor sea la susceptibilidad del terreno de producir roturas.

Para propósitos de la visualización, la variable distancia a vías fue agrupada en tres categorías, de acuerdo a la Tabla 4.16, las cuales son el resultado del análisis de la cartografía base. La visualización espacial de esta variable se presenta en la Figura 4.16.

Tabla 4.16. Categorías de la variable distancia a vías

RANGO (m)	NIVEL DE SUSCEPTIBILIDAD POR DISTANCIA A VÍAS
0 – 50	Alta
51 - 100	Media
>100	Baja

Figura 4.16. **Distancia a vías**



- **Densidad de drenaje:** Esta variable define el grado de disección de una ladera por unidad de área, presentando zonas de mayor o menor susceptibilidad a los movimientos en masa; siendo las áreas de mayor densidad de drenaje las más susceptibles a la ocurrencia de MM. Es una variable cuantitativa continúa, generada a partir de la cartografía base, escala 1:25.000, cuyo indicador se define en cantidad de drenajes de primer orden por unidad de área en hectáreas.

En la Cuenca Hidrográfica del río Piedras - río Manzanares y otros directos al Caribe, la Tabla 4.17, ilustra los valores encontrados de densidad y sumatoria de longitudes para los drenajes de primer orden en cada una de sus subcuencas.

Tabla 4.17. Densidad y longitud de drenaje por subcuenca

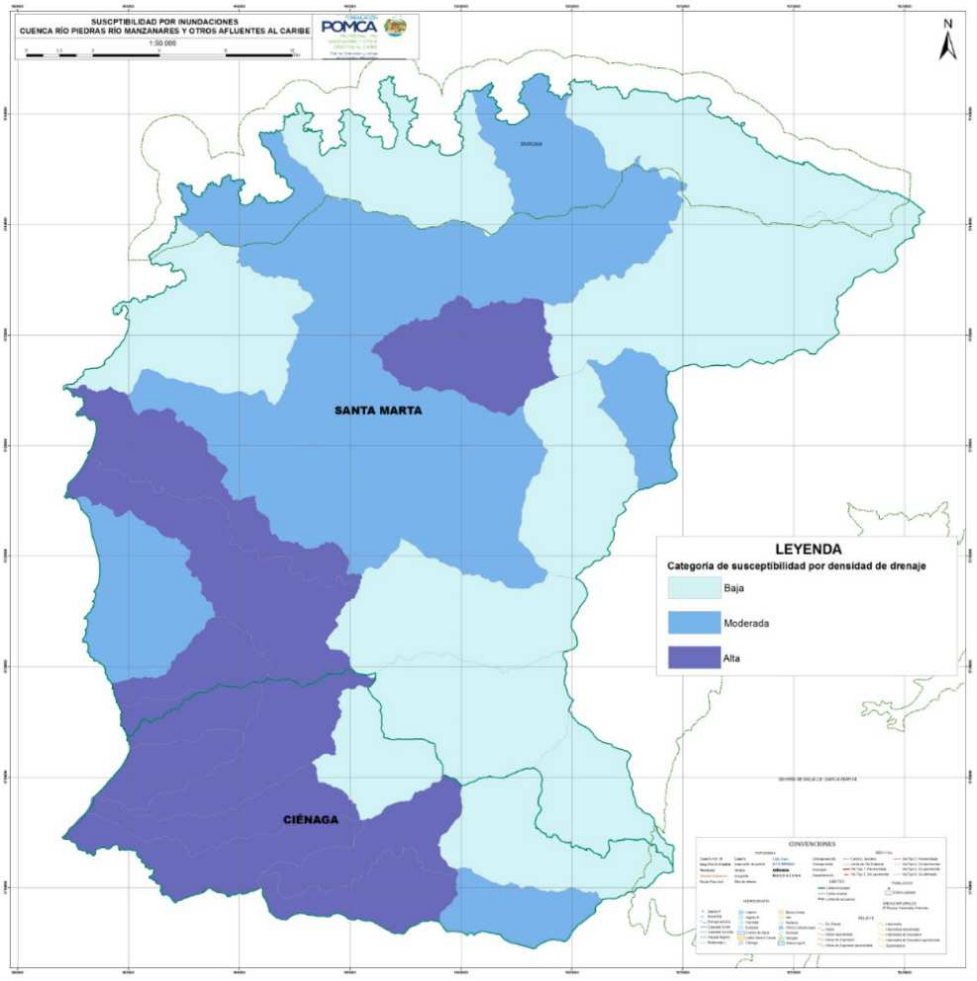
Nombre	Densidad Drenaje	Nivel de Susceptibilidad
Río Córdoba-Sector Agua Linda	2,59	Baja
Quebrada El Ébano y otros directos al Caribe	3,1	Media
Río Toribio entre Guayabal y El Vergel	2,59	Baja
Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi)	4,11	Alta
Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe	1,21	Baja
Quebrada Concha	3,75	Media
Río Manzanares en Santa Marta	2,71	Baja
Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe	1,32	Baja
Quebrada Jordán	3,09	Media
Quebrada Cinto y otros directos al Caribe	3,08	Media
Quebrada Gairaca y otros directos al Caribe	2,28	Baja
Quebrada Matogiro (Donama)	4,06	Alta
Quebrada La Lisa	3,24	Media
Río Piedras entre la Cuchilla de San Lorenzo y San Isidro	2,75	Baja
Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta	3,08	Media
Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca	2,66	Baja
Quebrada Tamacá	3,81	Media
Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)	4,11	Alta
Quebrada Don Jaca	4,5	Alta
Quebrad El Doctor	5,11	Alta
Quebrada Marinca	5,11	Alta
Quebrada El Guayabo	4,31	Alta
Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe	4,77	Alta
Río Córdoba-Sector Cordobita	3,98	Alta
Quebrada El Quindío y otros directos al Río Córdoba (md)	4,6	Alta
Quebrada Lourdes y otros directos al Río Córdoba (mi)	5	Alta
Quebrada La Sierrita	3,36	Media

Para su visualización, la variable densidad de drenaje fue agrupada en tres categorías (Ver Tabla 4.18), las cuales fueron representadas espacialmente, tal como se presenta en la Tabla 4.18.

Tabla 4.18. Categorías de la variable densidad de drenaje

RANGO (m)	NIVEL DE SUSCEPTIBILIDAD POR DENSIDAD DE DRENAJE
1,21 – 2,75	Baja
2,76 – 3,81	Media
3,82 – 5,11	Alta

Figura 4.17. **Densidad de drenaje**



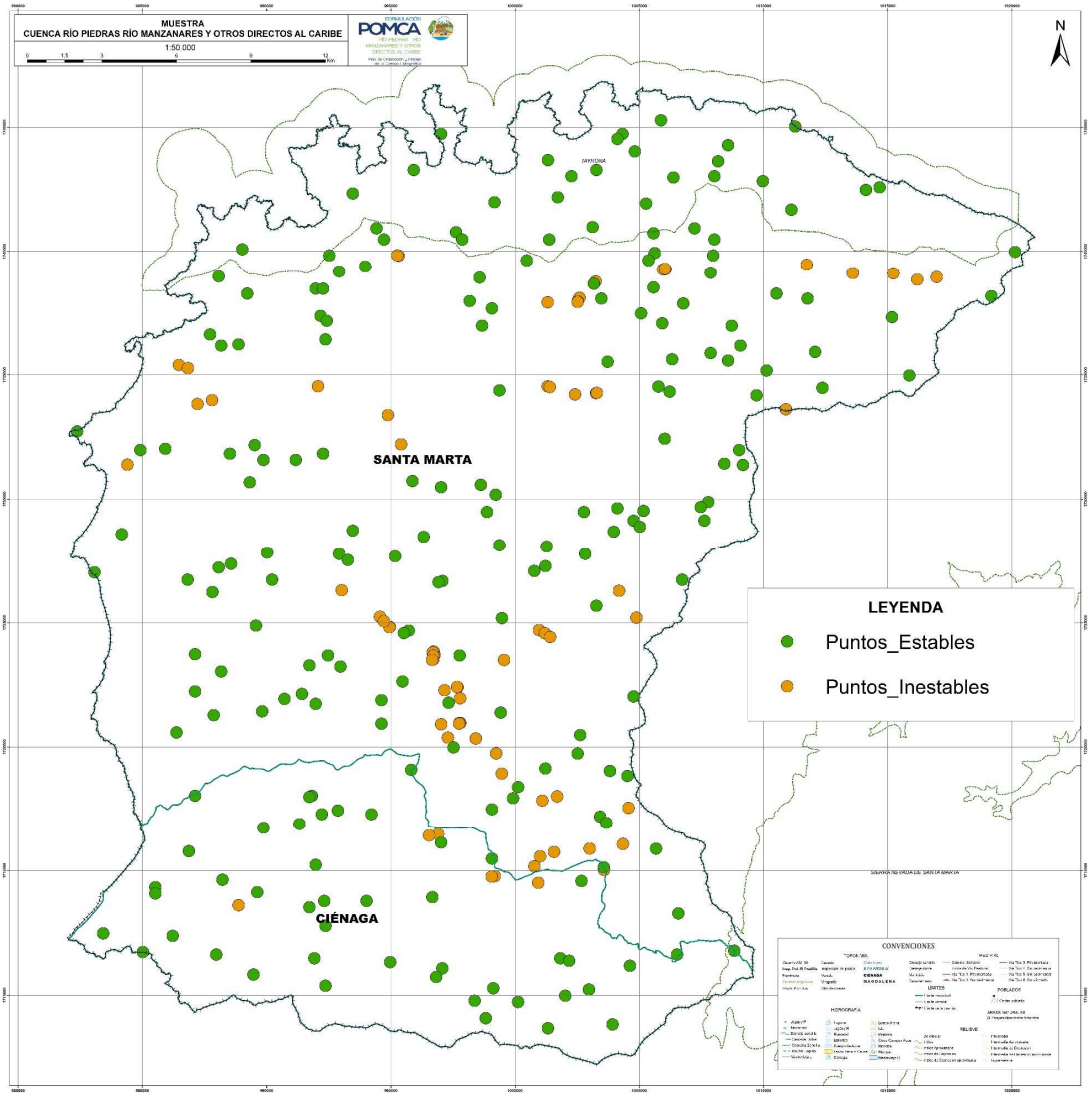
4.1.1.5. *Resultados Obtenidos.*

El análisis estadístico para la determinación de la zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa se presenta completo en el Anexo 7 de este volumen.

Se obtiene la malla con presencia o ausencia de zonas de inestabilidad. Cada celda se caracteriza de acuerdo a las variables definidas, para la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe se determinó a partir de la cantidad de movimientos en masa obtenidos de la información secundaria, identificados en la interpretación de imágenes satelitales y del levantamiento de los movimientos en masa activos, por lo cual se tomó una muestra de 428 puntos

(214 celdas con movimientos en masa activos y 214 sin movimientos en masa activos), donde las celdas que no presentan movimientos en masa utilizadas para la muestra se determinaron utilizando la función Create Random Points del software ArcGis 10.3 y se espacializa como se muestra en la Figura 4.18. El análisis estadístico se ejecutó con el software IBM SPSS y para la normalización de datos por Johnson se utilizó el software Minitab Statistical Software.

Figura 4.18. **Muestra obtenida espacializada para la determinación de susceptibilidad de amenaza por movimientos en masa para la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe.**



Se realiza el ajuste a una distribución normal de las variables temáticas por el test Kolgomorov – Smirnov (KS) a partir de la muestra seleccionada obteniendo los resultados como se muestra en la Tabla 4.19.

Tabla 4.19. Test Kolmogorov – Smirnov (KS) para la muestra obtenida en la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe.

		Drenajes	Vias	Orientacio	Curvatura	Roca_Suelo
N		428	428	428	428	428
Parámetros normales [a, b]	Media	112,392406	4054,90131	169,355374	0,71289363	1,1
	Desviación estándar	178,934051	4003,57643	111,165946	3,483216	0,301
Máximas diferencias extremas	Absoluta	0,265	0,156	0,08	0,122	0,53
	Positivo	0,256	0,138	0,08	0,122	0,53
	Negativo	-0,265	-0,156	-0,067	-0,093	-0,369
Estadístico de prueba		0,265	0,156	0,08	0,122	0,53
Sig. asintótica (bilateral)		,000[c]	,000[c]	,000[c]	,000[c]	,000[c]

		Espesor	Origen	Den_Dren	Geomorfolo	Vegetacion
N		428	428	428	428	428
Parámetros normales [a, b]	Media	0,3	2,36	3,0276	2,26	8,43
	Desviación estándar	0,855	1,294	0,91795	0,983	2,103
Máximas diferencias extremas	Absoluta	0,523	0,272	0,191	0,291	0,281
	Positivo	0,523	0,272	0,165	0,225	0,228
	Negativo	-0,362	-0,27	-0,191	-0,291	-0,281
Estadístico de prueba		0,523	0,272	0,191	0,291	0,281
Sig. asintótica (bilateral)		,000[c]	,000[c]	,000[c]	,000[c]	,000[c]

		Pendiente	fractura	Insolacion
N		428	428	428
Parámetros normales [a, b]	Media	19,5831867	2,39	3960,69658
	Desviación estándar	10,2388213	0,67	641,693414
Máximas diferencias extremas	Absoluta	0,047	0,313	0,061
	Positivo	0,047	0,226	0,029
	Negativo	-0,028	-0,313	-0,061
Estadístico de prueba		0,047	0,313	0,061
Sig. asintótica (bilateral)		,022[c]	,000[c]	,001[c]

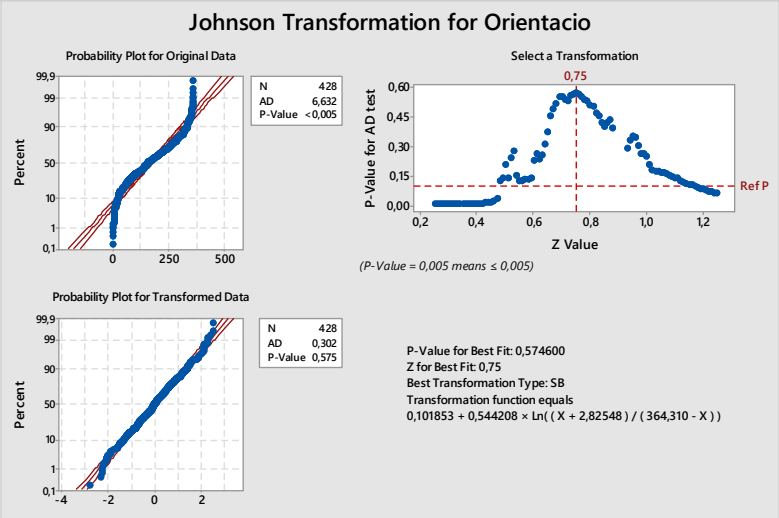
a. La distribución de prueba es normal.

b. Se calcula a partir de datos.

c. Corrección de significación de Lilliefors.

Se identifica que las variables no presentan una normalización de los datos, por lo que se procede a realizar el proceso estadístico (Box – Cox, Log10 y Johnson) para cada variable temática donde no se obtuvo mejora en los valores de significancia, ya que presentan un comportamiento más adecuado sin normalizar, excepto para la variable Orientación como se muestra en la Figura 4.19, la cual se normalizo por el método de transformación de Johnson.

Figura 4.19. **Normalización de la variable orientación por el método de transformación de Johnson**



Para esta variable se realizó nuevamente el test de Kolmogorov – Smirnov (KS) obteniendo los parámetros ya normalizados para la evaluación del modelo estadístico multivariante en la zonificación de amenaza por movimientos en masa para el área de la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe, obteniendo para Orientación_v4 un valor de significancia asintótica de 0,200 (Tabla 4.20).

Tabla 4.20. Prueba de Kolmogorov – Smirnov para la variable categórica Orientación_v4 con valores normalizados.

		Orientacion_v4
Parámetros normales [a, b]	Media	-,0033
	Desviación estándar	1,01727
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,027
	Positivo	,023
	Negativo	-,027
Estadístico de prueba		,027
Sig. asintótica (bilateral)		,200[c,d]
a. La distribución de prueba es normal.		
b. Se calcula a partir de datos.		
c. Corrección de significación de Lilliefors.		
d. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.		

El análisis factorial se aplicó sobre las 13 variables categóricas donde se realiza el análisis de componentes principales para identificar como es el comportamiento de la muestra teniendo en cuenta la normalización ejecutada para la variable orientación y verificar la relación entre temáticas (Tabla 4.21).

Tabla 4.21. Análisis factorial de componentes principales en la matríz de correlación entre variables.

		Drenajes	Vias	Orientacion_v4	Curvatura	Roca_Suelo	Espesor
Correlación	Drenajes	1	0,047	-0,11	0,01	0,092	0,093
	Vias	0,047	1	-0,005	0,046	-0,324	-0,341
	Orientacion_v4	-0,11	-0,005	1	-0,008	-0,001	0,014
	Curvatura	0,01	0,046	-0,008	1	-0,066	-0,067
	Roca_Suelo	0,092	-0,324	-0,001	-0,066	1	0,912
	Espesor	0,093	-0,341	0,014	-0,067	0,912	1
	Origen	0,013	0,151	-0,085	-0,038	0,704	0,595
	Den_Dren	-0,321	-0,088	0,097	0,166	-0,316	-0,313
	Geomorfolo	-0,07	0,482	-0,03	0,184	-0,37	-0,454
	Vegetacion	-0,056	0,359	0,012	0,087	-0,401	-0,456
	Pendiente	0,026	0,319	-0,154	0,091	-0,518	-0,559
	fractura	-0,23	0,032	0,261	-0,086	0,123	0,131
	Insolacion	-0,156	0,304	0,19	-0,106	0,012	0,001

		Origen	Den_Dren	Geomorfolo	Vegetacion	Pendiente	fractura	Insolacion
Correlación	Drenajes	0,013	-0,321	-0,07	-0,056	0,026	-0,23	-0,156
	Vias	0,151	-0,088	0,482	0,359	0,319	0,032	0,304
	Orientacion_v4	-0,085	0,097	-0,03	0,012	-0,154	0,261	0,19
	Curvatura	-0,038	0,166	0,184	0,087	0,091	-0,086	-0,106
	Roca_Suelo	0,704	-0,316	-0,37	-0,401	-0,518	0,123	0,012
	Espesor	0,595	-0,313	-0,454	-0,456	-0,559	0,131	0,001
	Origen	1	-0,381	0,098	-0,169	-0,062	-0,097	0,072
	Den_Dren	-0,381	1	-0,1	0,04	-0,036	-0,007	0,1
	Geomorfolo	0,098	-0,1	1	0,421	0,571	-0,137	0,045
	Vegetacion	-0,169	0,04	0,421	1	0,336	-0,124	0,013
	Pendiente	-0,062	-0,036	0,571	0,336	1	-0,332	-0,273
	fractura	-0,097	-0,007	-0,137	-0,124	-0,332	1	0,251
	Insolacion	0,072	0,1	0,045	0,013	-0,273	0,251	1

La varianza total explicada es obtenida con el fin de determinar la cantidad de factores que aportan el porcentaje acumulado de peso teniendo para la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe un 86,17% con los primeros 6 factores resultantes como se observa en la Tabla 4.22.

Tabla 4.22. Análisis de componentes principales para la varianza total explicada [a]

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de extracción de cargas al cuadrado		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	3,594	32,670	32,670	3,594	32,670	32,670
2	1,949	17,722	50,393	1,949	17,722	50,393
3	1,303	11,844	62,237	1,303	11,844	62,237
4	1,049	9,535	71,771	1,049	9,535	71,771
5	0,904	8,221	79,992	0,904	8,221	79,992
6	0,680	6,179	86,171	0,680	6,179	86,171
7	0,572	5,202	91,374			
8	0,402	3,650	95,024			
9	0,344	3,124	98,148			
10	0,143	1,301	99,450			
11	0,610	0,550	100,000			

Método de extracción: análisis de componentes principales

a. Sólo se utilizan los casos para los cuales MM = 1 en la fase de análisis

De los resultados obtenidos en la Tabla 4.23 se determina que la varianza total de cada una de las variables explicadas por los 6 factores (comunalidades) supera el 40% donde las variables curvatura, Roca-Suelo, Espesor, Origen y Vegetación son las mejores representadas estando por encima del 90% seguida por distancia a drenajes, Densidad de drenaje, Geomorfología y Pendiente superando el 70%.

Tabla 4.23. Comunalidades [a] o varianza total de cada una de las variables.

	Inicial	Extracción
Drenajes	1	0,501
Vias	1	0,705
Orientacion_v4	1	0,297
Curvatura	1	0,581
Roca_Suelo	1	0,926
Espesor	1	0,906
Origen	1	0,866
Den_Dren	1	0,662
Geomorfolo	1	0,737
Vegetacion	1	0,438
Pendiente	1	0,695
fractura	1	0,509
Insolacion	1	0,596

Método de extracción: análisis de componentes principales [a]

a. Sólo se utilizan los casos para los cuales MM = 1 en la fase de análisis.

Teniendo esta información se determina la matríz de componentes y la matríz de componentes rotada a partir del método de rotación Varimax con normalización Kaiser a partir de los 6 factores obtenidos con un porcentaje de peso valido en la determinación del análisis estadístico multivariado para la cuenca hidrográfica río Piedras – río Manzanares y Otros Directos al Caribe como se muestra en la Tabla 4.24 y Tabla 4.25.

Tabla 4.24. Matríz de componente [a, b]

	Componente					
	1	2	3	4	5	6
Drenajes	-0,091	0,431	-0,284	-0,475	0,581	0,287
Vias	0,481	0,302	0,611	-0,097	0,076	0,245
Orientacion_v4	-0,048	-0,406	0,361	-0,015	0,467	-0,473
Curvatura	0,180	0,057	-0,110	0,731	0,555	0,153
Roca_Suelo	-0,899	0,263	0,124	0,181	-0,003	-0,038
Espesor	-0,920	0,190	0,070	0,136	0,030	-0,022
Origen	-0,496	0,628	0,385	0,278	-0,173	-0,021
Den_Dren	0,273	-0,638	-0,158	0,393	-0,131	0,282
Geomorfolo	0,634	0,418	0,351	0,191	-0,008	-0,163
Vegetacion	0,618	0,130	0,197	0,004	0,062	-0,085
Pendiente	0,708	0,422	-0,119	0,045	-0,135	-0,240
fractura	-0,226	-0,472	0,467	-0,132	0,110	-0,270
Insolacion	-0,039	-0,280	0,712	-0,095	-0,030	0,491

Tabla 4.25. Matríz de componentes rotados [a, b] con pesos de las variables para cada uno de los 5 factores resultantes del analisis factorial mayores a 0,40.

	Componente					
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Drenajes	-0,079	-0,008	-0,156	-0,029	0,941	0,058
Vias	0,670	0,027	-0,012	0,546	0,150	-0,003
Orientacion_v4	0,017	-0,056	0,850	-0,005	-0,003	0,110
Curvatura	0,121	0,000	-0,002	-0,064	0,013	0,946
Roca_Suelo	-0,485	0,829	0,055	-0,012	0,039	0,024
Espesor	-0,563	0,761	0,076	-0,021	0,068	0,017
Origen	0,095	0,925	-0,138	0,103	-0,038	0,004
Den_Dren	-0,200	-0,543	-0,091	0,164	-0,517	0,347
Geomorfolo	0,861	0,053	-0,031	0,033	-0,065	0,115
Vegetacion	0,622	-0,234	0,034	0,054	0,005	0,053
Pendiente	0,752	-0,177	-0,258	-0,328	-0,008	-0,028
fractura	-0,161	0,026	0,676	0,235	-0,166	-0,167
Insolacion	-0,017	0,015	0,164	0,893	-0,103	-0,055

Método de extracción: análisis de componentes principales.
Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser.[a,b]
a. La rotación ha convergido en 6 iteraciones.
b. Sólo se utilizan los casos para los cuales MM = 1 en la fase de análisis.

Se verifican los valores correspondientes estableciendo una relación directa cuando están por encima de 0,400; Se obtiene para el factor 1 la relación entre Vias, Roca_Suelo, Espesor, Geomorfología, Vegetación y Pendiente, para el factor 2 Roca_Suelo, Espesor, Origen y Densidad de Drenaje, para el factor 3 solo la variable Orientación presento un valor mayor al establecido por lo cual se mantiene como variable independiente, para el factor 4 Vías e insolación establecieron relación, para el factor 5 se relacionan distancia a drenajes y densidad de drenajes, por ultimo para el factor 6 solo se mantiene como variable independiente la curvatura.

A partir de esta información se integra con el análisis factorial y se determina la correlación entre cada una de las variables teniendo en cuenta cada factor como se muestra en la Tabla 4.26 donde al acercarse el valor a 1,000 representa una mayor relación entre variables categóricas.

Tabla 4.26. Relación de variables para cada factor a partir de la matríz de correlaciones

Factor	Correlación entre variables	
Factor 1	Roca Suelo - Espesor	0,912
	Roca Suelo - Vías	0,320
	Roca Suelo - Geomorfología	-0,370
	Roca Suelo - Vegetación	-0,401
	Roca Suelo - Pendiente	-0,518
	Vías - Espesor	-0,341
	Vías - Geomorfología	0,482
	Vías - Vegetación	0,359
	Vías - Pendiente	0,319
	Espesor - Geomorfología	-0,454
	Espesor - Vegetación	-0,456
	Espesor - Pendiente	-0,559
	Geomorfología - Vegetación	0,421
	Geomorfología - Pendiente	0,571
	Vegetación - Pendiente	0,336
Factor 2	Roca Suelo - Espesor	0,912
	Roca Suelo - Origen	0,704
	Roca Suelo - Densidad de Drenaje	-0,316
	Espesor - Origen	0,595
	Espesor - Densidad de Drenaje	-0,313
	Origen - Densidad de Drenaje	-0,381
Factor 3	Orientación	1,000
Factor 4	Vías - Insolación	0,304
Factor 5	Distancia a Drenajes - Densidad de Drenajes	-0,321
Factor 6	Curvatura	1,000

Ya determinadas teniendo la relación de las variables categóricas para cada factor, se realiza un análisis distributivo de las poblaciones (Celdas con presencia de movimientos en masa y sin presencia de movimientos en masa) mediante la prueba T (análisis de medias) como se muestra en la Tabla 4.27 y el análisis de la varianza ANOVA para identificar la independencia de cada variable estimada en el modelo (Tabla 4.28). Estos análisis se realizaron para todas las variables categóricas

aun sin cumplir la hipótesis de normalidad ya que no es un determinante de exclusión de las mismas a la hora de realizar la función discriminante.

Tabla 4.27. Prueba "T" para el análisis de medias en cada variable categórica.

Prueba de muestras independientes										
Variables		Prueba de Levene de calidad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Drenajes	Se asumen varianzas iguales	0,134	0,715	-0,03	426	0,976	-0,537	17,980	-35,878	34,803
	No se asumen varianzas iguales			-0,03	387,07	0,976	-0,537	17,980	-35,888	34,813
Vias	Se asumen varianzas iguales	0,792	0,374	1,785	426	0,075	742,613	416,043	-75,141	1560,366
	No se asumen varianzas iguales			1,785	418,57	0,075	742,613	416,043	-75,182	1560,407
Orientacion_v4	Se asumen varianzas iguales	0,361	0,548	3,403	426	0,001	35,900	10,549	15,166	56,635
	No se asumen varianzas iguales			3,403	425,85	0,001	35,900	10,549	15,166	56,635
Curvatura	Se asumen varianzas iguales	2,274	0,132	-1,38	426	0,169	-0,084	0,061	-0,203	0,036

Prueba de muestras independientes										
Variables		Prueba de Levene de calidad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
	No se asumen varianzas iguales			-1,38	389,72	0,169	-0,084	0,061	-0,203	0,036
Roca_Suelo	Se asumen varianzas iguales	1,313	0,253	0,572	426	0,567	0,019	0,033	-0,046	0,083
	No se asumen varianzas iguales			0,572	424,44	0,567	0,019	0,033	-0,046	0,083
Espesor	Se asumen varianzas iguales	5,767	0,017	1,052	426	0,294	0,098	0,093	-0,085	0,282
	No se asumen varianzas iguales			1,052	410,69	0,294	0,098	0,093	-0,085	0,282
Origen	Se asumen varianzas iguales	10,159	0,002	-1,92	426	0,055	-0,252	0,131	-0,51	0,006
	No se asumen varianzas iguales			-1,92	421,63	0,055	-0,252	0,131	-0,51	0,006
Den_Dren	Se asumen varianzas iguales	9,102	0,003	2,414	426	0,016	0,20598	0,08532	0,03827	0,37369
	No se asumen varianzas iguales			2,414	407,36	0,016	0,20598	0,08532	0,03825	0,37371

Prueba de muestras independientes										
Variables		Prueba de Levene de calidad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Geomorfolo	Se asumen varianzas iguales	0,4	0,527	-2,81	426	0,005	-0,29	0,103	-0,493	-0,087
	No se asumen varianzas iguales			-2,81	422,31	0,005	-0,29	0,103	-0,493	-0,087
Vegetacion	Se asumen varianzas iguales	0,418	0,518	1,878	426	0,061	0,43	0,229	-0,02	0,88
	No se asumen varianzas iguales			1,878	425,79	0,061	0,43	0,229	-0,02	0,88
Pendiente	Se asumen varianzas iguales	13,944	0	0,23	426	0,818	0,244149	1,0603896	-1,8401	2,323396061
	No se asumen varianzas iguales			0,23	410,76	0,818	0,244149	1,0603896	-1,8403	2,323616394
fractura	Se asumen varianzas iguales	3,427	0,065	-2,36	426	0,019	-0,154	0,065	-0,283	-0,026
	No se asumen varianzas iguales			-2,36	425,53	0,019	-0,154	0,065	-0,283	-0,026
Insolacion	Se asumen varianzas iguales	0,96	0,328	-3,4	426	0,001	-208,512	61,280475	-328,961	-88,0618082
	No se asumen varianzas iguales			-3,4	422,62	0,001	-208,512	61,280475	-328,964	-88,0590665

Tabla 4.28. Test ANOVA para el análisis de varianzas para las variables categóricas en la muestra.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Drenajes	Entre grupos	30,9	1	30,9	0,001	0,976
	Dentro de grupos	14735821,6	426	34591,13		
	Total	14735852,5	427			
Vias	Entre grupos	59007675,5	1	59007675,5	3,186	0,075
	Dentro de grupos	7889881519	426	18520848,6		
	Total	7948889194	427			
Orientacion_v4	Entre grupos	137905,54	1	137905,54	11,58	0,001
	Dentro de grupos	5072459,08	426	11907,181		
	Total	5210364,62	427			
Curvatura	Entre grupos	0,751	1	0,751	1,901	0,169
	Dentro de grupos	168,268	426	0,395		
	Total	169,019	427			
Roca_Suelo	Entre grupos	0,037	1	0,037	0,327	0,567
	Dentro de grupos	48,636	426	0,114		
	Total	48,673	427			
Espesor	Entre grupos	1,03	1	1,03	1,106	0,294
	Dentro de grupos	396,808	426	0,931		
	Total	397,839	427			
Origen	Entre grupos	6,813	1	6,813	3,698	0,055
	Dentro de grupos	784,841	426	1,842		
	Total	791,654	427			
Den_Dren	Entre grupos	4,54	1	4,54	5,828	0,016
	Dentro de grupos	331,842	426	0,779		
	Total	336,382	427			
Geomorfolo	Entre grupos	8,981	1	8,981	7,869	0,005
	Dentro de grupos	486,224	426	1,141		
	Total	495,206	427			
Vegetacion	Entre grupos	19,776	1	19,776	3,527	0,061
	Dentro de grupos	2388,86	426	5,608		
	Total	2408,636	427			
Pendiente	Entre grupos	6,378	1	6,378	0,053	0,818
	Dentro de grupos	51253,589	426	120,314		
	Total	51259,967	427			
fractura	Entre grupos	2,544	1	2,544	5,555	0,019
	Dentro de grupos	195,126	426	0,458		
	Total	197,671	427			
Insolacion	Entre grupos	4652045,7	1	4652045,7	11,58	0,001
	Dentro de grupos	171173931	426	401816,739		
	Total	175825977	427			

En la prueba T se verifican los resultados de significancia y se determinan las variables categóricas con mayor poder discriminante como curvatura, origen, densidad de drenaje, vegetación y orientación. Teniendo en cuenta el análisis de varianza (ANOVA) y los resultados de significancia obtenidos se mantienen para la función discriminante las variables categóricas curvatura, origen, densidad de drenaje, vegetación y orientación_v4, descartando las demás variables categóricas manteniendo las correlaciones del análisis factorial.

4.1.1.5.1. *Análisis y selección de la función discriminante*

Teniendo las variables ya determinadas para la función discriminante a partir de los análisis estadísticos realizados anteriormente, el método de inclusión por variables juntas aporto un mayor porcentaje de confiabilidad en los resultados obtenidos para la función discriminante.

La selección de las variables utilizadas para la determinación de la función discriminante final se tomó del análisis de cuatro funciones discriminantes, donde la Función 1, 2 y 3 se realizaron por pasos y la Función 4 por variables juntas. En el análisis se tuvo en cuenta el porcentaje obtenido a partir de los valores en la M de Box (Tabla 4.29) y Lambda de Wilks (Tabla 4.30) para cada una de las funciones, valor el cual expresa la separación de las poblaciones con presencia de movimientos en masa y sin presencia de movimientos en masa donde este valor debe acercarse a cero, por último se identifica el comportamiento de los datos en relación a la variable de agrupación (MM) y se obtienen los coeficientes para la función discriminante obtenida a partir de la discriminantes canónicas como se muestra en la 0 para la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe.

Tabla 4.29. Resultados del análisis M de Box para las variables categóricas determinadas para la función discriminante

Función 1 (Por Pasos)			Función 2 (Por Pasos)			Función 3 (Por Pasos)			Función 4		
M de Box		59,472	M de Box		96,782	M de Box		41,39	M de Box		123,105
F	Aprox.	5,887	F	Aprox.	4,54	F	Aprox.	4,097	F	Aprox.	3,352
	df1	10		df1	21		df1	10		df1	36
	df2	867614,343		df2	667468,432		df2	867614,343		df2	610640,21
	Sig.	0		Sig.	0		Sig.	0		Sig.	0

Tabla 4.30. Lambda de Wilks

	Lambda de Wilks				
Función 1 (Por Pasos)	Prueba de funciones	Lambda de Wilks	Chi-cuadrado	gl	Sig.
	1	0,896	46,617	4	0
Función 2 (Por Pasos)	Prueba de funciones	Lambda de Wilks	Chi-cuadrado	gl	Sig.
	1	0,873	57,334	6	0
Función 3 (Por Pasos)	Prueba de funciones	Lambda de Wilks	Chi-cuadrado	gl	Sig.
	1	0,887	50,763	4	0
Función 4	Prueba de funciones	Lambda de Wilks	Chi-cuadrado	gl	Sig.
	1	0,857	64,908	8	0

Tabla 4.31. Coeficientes de la función Discriminante estandarizados.

Función 1 (Por Pasos)		Función 2 (Por Pasos)		Función 3 (Por Pasos)		Función 4	
Orientacio	0,615	Orientacio	0,556	Orientacio	0,62	Curvatura	-0,383
Origen	-0,312	Origen	-0,749	Origen	-0,357	Roca_Suelo	0,653
Den_Dren	0,324	Den_Dren	0,31	Vegetacion	0,695	Origen	-0,654
Vegetacion	0,559	Vegetacion	0,594	Geomorfolo	-0,454	Den_Dren	0,301
		Roca_Suelo	0,77			Vegetacion	0,557
		Pendiente	0,34			Pendiente	0,291
						fractura	-0,011
						Orientacion_v4	0,517

Teniendo los coeficientes estandarizados, se determina la sensibilidad de la función que clasifique mejor los movimientos en masa presentes en el área de estudio, por lo que mostro mayor resultado la Función 4 con un porcentaje de 67,5% de casos clasificados correctamente como se muestra en la Tabla 4.32.

Tabla 4.32. Porcentajes de clasificación para cada función discriminante.

	Resultados de clasificación [a]					
			MM	Pertenencia a grupos pronosticada		Total
				0	1	
Función 1 (Por Pasos)	Original	Recuento	0	136	78	214
			1	84	130	214
		%	0	63,6	36,4	100
			1	39,3	60,7	100
	a. 62,1% de casos agrupados originales clasificados correctamente.					

	Resultados de clasificación [a]					
			MM	Pertenencia a grupos pronosticada		Total
				0	1	
Función 2 (Por Pasos)	Original	Recuento	0	136	78	214
			1	78	136	214
		%	0	63,6	36,4	100
			1	36,4	63,6	100
	a. 63,6% de casos agrupados originales clasificados correctamente.					

	Resultados de clasificación [a]					
			MM	Pertenencia a grupos pronosticada		Total
				0	1	
Función 3 (Por Pasos)	Original	Recuento	0	132	82	214
			1	86	128	214
		%	0	61,7	38,3	100
			1	40,2	59,8	100
	a. 60,7% de casos agrupados originales clasificados correctamente.					

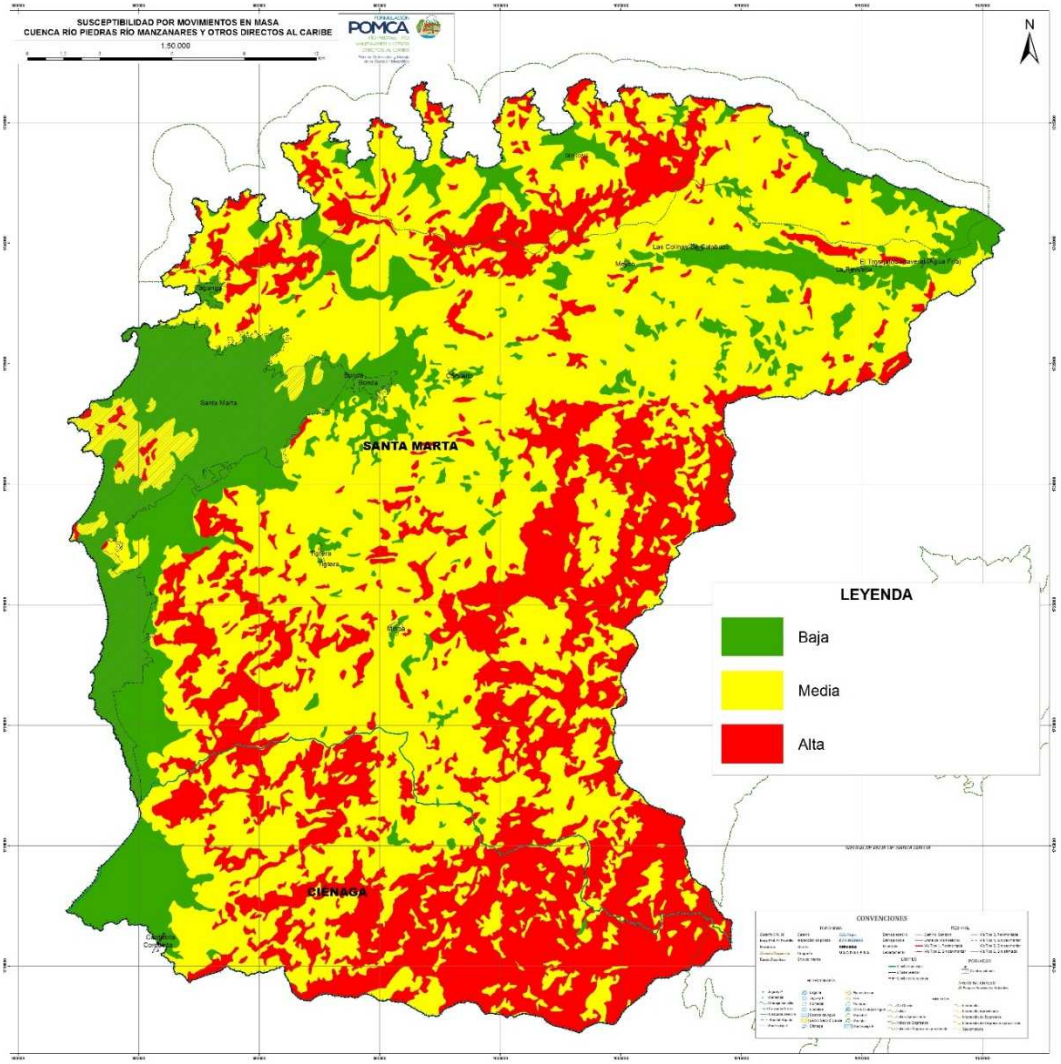
	Resultados de clasificación [a]					
			MM	Pertenencia a grupos pronosticada		Total
				0	1	
Función 4	Original	Recuento	0	137	77	214
			1	62	152	214
		%	0	64	36	100
			1	29	71	100
	a. 67,5% de casos agrupados originales clasificados correctamente.					

Teniendo los coeficientes estandarizados, se elabora la función discriminante para cada variable categórica para la determinación de la susceptibilidad de amenaza por movimientos en masa en el área de la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe.

SUSC = - 0,383Curvatura **+** 0,653Roca_Suelo **–** 0,654Origen **+** 0,301Den_Dren **+** 0,557Vegetacion **+** 0,291Pendiente **–** 0,011fractura **+** 0,517Orientacion_v4

Seguido mediante el software ArcGis 10.3 se utiliza la herramienta Map Algebra para la elaboración de la cartografía de la susceptibilidad de amenaza por movimientos en masa para la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al caribe como se muestra en la Figura 4.20 y se adjunta en el Anexo 8.

Figura 4.20. **Mapa de la susceptibilidad resultante del análisis multivariado discriminante para el área de la cuenca hidrográfica río Piedras – río Manzanares y Otros Directos al Caribe**



La comprobación del modelo establecido a partir del análisis estadístico permite verificar la limitación que presenta el mismo y los vacíos de información combinado con los errores propios de implementar un SIG y las variables que se obtienen del modelo digital de elevación dependen de la calidad en la rasterización de estos insumos la cual disminuye por los procesos aplicados, no obstante, las celdas no presentaron valores extremos en ninguna de las variables utilizadas para la

función discriminante por lo cual se determina una susceptibilidad correcta, corroborando con las temáticas biofísicas la correspondencia de la información obtenida y la superposición de capas temáticas para corroborar la realidad del modelo.

Para el área de la cuenca río Piedras – río Manzanares se determinaron 3 grados de susceptibilidad de amenaza por movimientos en masa, donde la susceptibilidad alta se distribuye en un 28,56% del área total de la cuenca, la susceptibilidad media un 54,80% y la susceptibilidad baja en 16,64%.

4.1.2. Susceptibilidad a Inundaciones

Una inundación es un fenómeno hidrológico recurrente que hace parte de la dinámica de evolución de una corriente. Se genera por lluvias persistentes y generalizadas, las cuales conllevan a un aumento progresivo del nivel de las aguas contenidas dentro un cauce, ocasionando un desbordamiento y dispersión de las aguas sobre las llanuras de inundación y zonas aledañas a los cursos de agua normalmente no sumergidas (IDEAM, s.f.)

Colombia, dado su alto potencial hídrico, presenta excesos de pluviosidad durante las épocas de altas precipitaciones, generando una gran amenaza de inundación, principalmente por causa de los siguientes procesos de ocupación:

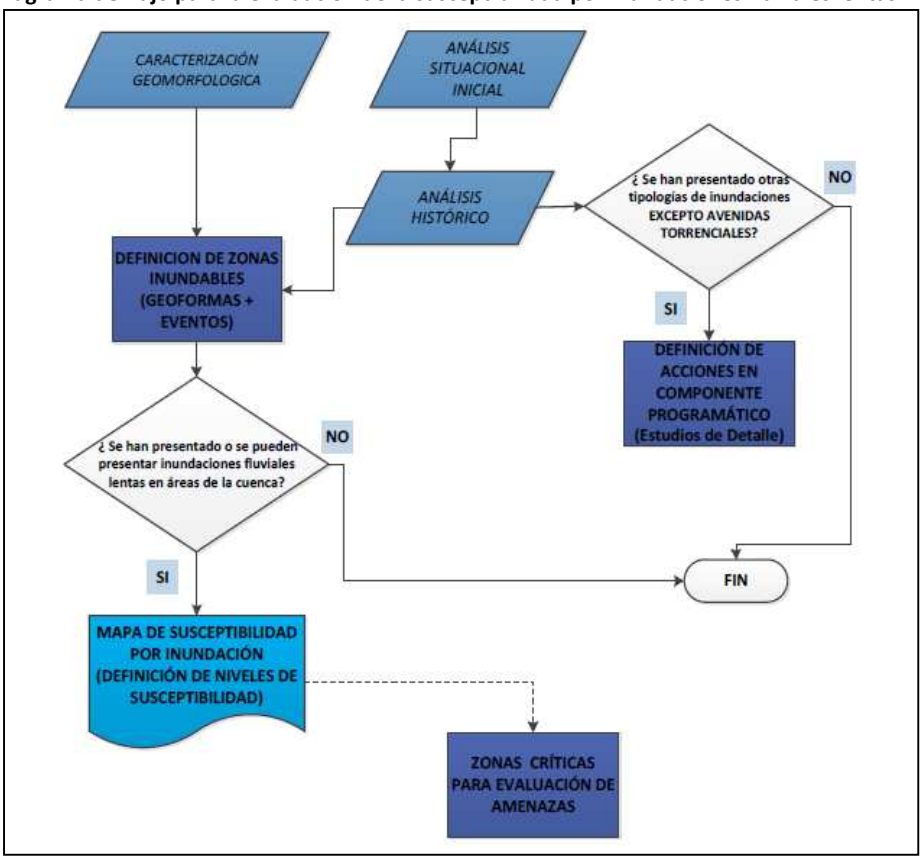
- Deforestación de las cuencas hidrográficas y desarrollo urbanístico, que trae consigo una disminución de los procesos de infiltración, y por ello gran parte de la precipitación ingresa de manera directa al caudal de los ríos.
- Sedimentación de los cauces, reduciendo la capacidad hidráulica de los mismos
- Intervención sobre las zonas de protección de los cuerpos de agua, reduciendo la capacidad de amortiguación durante una creciente.

Dados los alcances del protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los POMCAS, para la cuenca hidrográfica del río Piedras – Río Manzanares y otros directos al caribe, se consideraron las inundaciones de tipo fluvial. Estas inundaciones, son generadas por el flujo excedente de agua y sedimentos de las corrientes, desbordando la capacidad de transporte de los cauces; este fenómeno es originado principalmente por las precipitaciones prolongadas o por la movilidad de grandes volúmenes de material y ha contribuido a la formación de las llanuras en los valles de los ríos, tierras fértiles, vegas y riberas, donde tradicionalmente se ha desarrollado la agricultura.

4.1.2.1. *Metodología para la evaluación y zonificación de la susceptibilidad a inundaciones*

El proceso metodológico empleado para la evaluación de la susceptibilidad de la Cuenca Hidrográfica del río Piedras - río Manzanares y otros directos al Caribe a Inundaciones, se desarrolla de acuerdo con las actividades planteadas en el documento de alcances técnicos, siguiendo el diagrama de flujo para la evaluación de la susceptibilidad por inundaciones fluviales lentas que presenta el Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas como se muestra en la Figura 4.21.

Figura 4.21. **Diagrama de flujo para la evaluación de la susceptibilidad por inundaciones fluviales lentas.**



Fuente: MADS y Fondo Adaptación, 2014

De acuerdo con la figura anterior, el proceso metodológico para la evaluación de la susceptibilidad por inundaciones, sigue los siguientes pasos:

- Recolección de información en campo, con participación de los habitantes de la cuenca
- Contraste de la información de los eventos históricos en las diferentes fuentes.
- Jerarquización de la magnitud de los eventos ocurridos de acuerdo con variables de caudales, magnitud, cantidad de encuestas, y extensión de la inundación, entre otros.
- Sistematización de los datos para generar sobre la base topográfica los puntos que definen unidades inundables.
- Análisis e integración de la información colectada
- Contraste del análisis geomorfológico basado en el método de Carvajal (2011), en el cual se determinan ambientes fluviales con sus unidades; y la cartografía geomorfológica basada en el método de Zinck (2012) que define paisajes geomorfológicos, tipos de relieve, modelados y geoformas asociados a eventos de inundación.
- Procesamiento y elaboración de la salida cartográfica para delimitar con base en los polígonos de eventos históricos y en las geoformas asociadas a eventos de inundación, las áreas susceptibles a inundarse.

El fundamento para integrar y analizar la información compilada de diferentes fuentes, fue la geomorfología junto con el catálogo histórico de eventos amenazantes por inundación. El análisis de las unidades geomorfológicas y formas del terreno asociadas a inundación, generó una salida cartográfica preliminar, la cual fue validada con los habitantes de la cuenca a través de los seminarios de gestión del riesgo. En esta actividad, se recogieron los comentarios y aportes de los participantes, y éstos que fueron nuevamente cartografiados y contrastados con el inventario y la geomorfología, generando como resultado la zonificación por susceptibilidad a inundaciones.

La zonificación de susceptibilidad a inundaciones para la cuenca objeto de estudio se realiza a escala 1:25.000, teniendo en cuenta los elementos para caracterización ya mencionados, básicamente el análisis de los eventos históricos y el análisis geomorfológico. Esta susceptibilidad se caracterizó en la siguiente tabla:

Tabla 4.33. Calificación de susceptibilidad por inundaciones a partir de la caracterización geomorfológica.

SUSCEPTIBILIDAD A INUNDACIÓN	CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA	CALIFICACIÓN
Alta	Clasificación geomorfológica en región fluvial y denudacional en unidades de llanura de inundación, terrazas bajas, lomas y napas de desborde; con procesos propios de las zonas topográficamente más bajas como encharcamientos, inundaciones, erosión superficial, erosión lateral y desbordes.	3
Media	Región geomorfológica denudacional y fluvial en unidades de lomas bajas, terrazas aluviales, llanuras de inundación y abanicos aluviales; presentan normalmente escurrimientos, encharcamientos, reptación e inundaciones.	2
Baja	Región geomorfológica fluvial y denudacional, con unidades de terrazas aluviales y lomas; presentan procesos de escurrimiento, encharcamiento, desprendimientos y derrumbes.	1
Nula	Clasificación geomorfológica en región estructural y/o denudacional con unidades de escarpes, espinazos, crestas, facetas triangulares, mesas, depósitos de laderas, lomas y cuestas; comúnmente presentan procesos de derrumbes, desplomes, solifluxión, escurrimiento, terracetas, reptación, deslizamientos por distintos mecanismos y diferentes clases de erosión superficial.	0

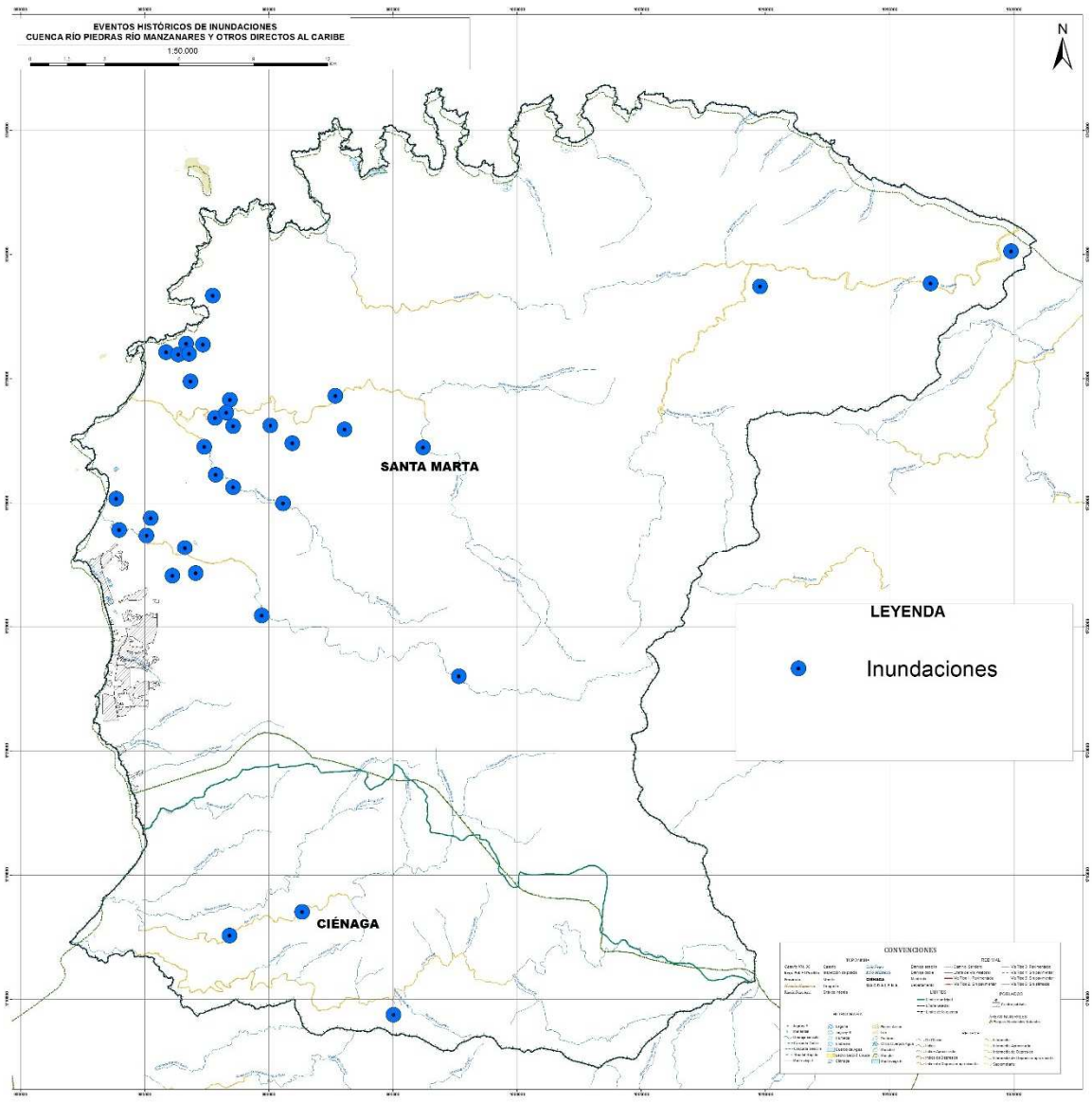
4.1.2.2. *Resultados Obtenidos.*

En el análisis de la susceptibilidad se integran los eventos históricos con la intención de analizar el comportamiento (Magnitud, Ocurrencia), de los eventos a partir de variables como: extensión de la inundación, caudales, niveles máximos alcanzados en el cauce, entre otros. Este análisis se encuentra supeditado a la calidad de la información relacionada en los eventos registrados, la cual, para la cuenca en ordenación, es deficiente.

El catálogo histórico de eventos amenazantes, está constituido por 26 registros de inundaciones, los cuales relacionan como causas principales el desbordamiento de los siguientes cauces: Río Córdoba, Toribio, Manzanares, Bonda y Piedras. De igual manera, en los espacios de participación con los actores de la cuenca, se identificaron sectores con alta susceptibilidad a la ocurrencia de inundaciones tales como: el casco urbano de Santa Marta, Minca y La revuelta en el municipio de Santa Marta, y veredas como mamonal, Córdoba y Jolonura en el municipio de Ciénaga.

Los eventos registrados en las bases de datos aunados con los reportes a la comunidad y el inventario realizado por el equipo profesional en las rutas veredas, permitió evidenciar la ocurrencia de mayor número de eventos hacia el sector centro - oeste de la cuenca en ordenación, en jurisdicción del municipio de Santa Marta principalmente (Ver Figura 4.22).

Figura 4.22. **Eventos tipo inundación**



Además, de considerar la información del catálogo, se tuvo en cuenta la geomorfología de la zona dentro del análisis de susceptibilidad, analizando la presencia de procesos morfodinámicos tales como: encharcamientos y desbordamientos. Para las inundaciones, se hizo énfasis en la interpretación de las imágenes satelitales RapidEye suministradas por la Corporación Autónoma Regional de Santander, a fin de determinar los ambientes fluviales generados por las corrientes de agua (Ríos, Quebradas, Ciénagas).

Mediante el método de interpretación asistida en pantalla (PIAO), se obtuvo la delimitación de unidades o polígonos con algún grado de susceptibilidad a la ocurrencia de inundaciones, extrayendo las siguientes subunidades como las más propensas a sufrir inundaciones:

- Parte proximal de abanico aluvial (Faap)
- Parte medial de abanico aluvial (Faam)
- Parte distal del abanico aluvial (Faad)
- Talud del abanico aluvial (Faat)
- Plano de terraza aluvial (Fta)
- Cuencas de decantación (Fcd)
- Talud de la terraza aluvial (Ft)
- Cauce de río principal (Fc)
- Cauce de quebradas (Fcq)
- Planicie de inundación (Fpi)

A continuación, se describen las principales características de las subunidades geomorfológicas identificadas:

- *Parte proximal de abanico aluvial (Faap)*

Los abanicos aluviales son geoformas semicirculares en la parte baja de la zona montañosa (con levantamiento tectónico) y las depresiones o zonas planas; estas superficies son configuradas por los depósitos torrenciales provenientes de ríos y quebradas, cuyas microcuencas son inestables y por procesos denudacionales (movimientos en masa) aportan material de diferente tamaño al drenaje, el cual las transporta por los valles intramontanos, una vez la topografía varía a plana, al pie de la zona montañosa, los sedimentos se depositan a manera de arco, de ahí el nombre “abanico aluvial”, esta unidad hace referencia a la parte más próxima a la zona de montaña, donde se inició la sedimentación torrencial. Se asocia a la dinámica del río Toribío y quebradas Marinca, Tamacá y La Tigrera, La unidad está compuesta por depósitos de gravas subredondeadas y arenas gruesas, la superficie presenta relieve muy bajo (< 50 m), con pendiente topográfica inclinada, moderadamente larga y larga, de forma recta. En esta geoforma se presenta escurrimiento superficial difuso.

La parte proximal de abanico aluvial representa el 0,23% del área total de la cuenca, se encuentra en la vereda Jonolura y el corregimiento de Minca, municipios de Ciénaga y Santa Marta, respectivamente. En el sector La Tigrera se encuentran depósitos torrenciales que se incluyeron en esta unidad.

- *Parte medial de abanico aluvial (Faam)*

Corresponde a la zona intermedia de los abanicos aluviales de los ríos Toribío, Córdoba, Manzanares y las quebradas Marinca, del Guayabo, El Doctor, Don Jaca, El Limón, Mamarón, Tamacá y Mojada. La unidad está compuesta por depósitos de gravas subredondeadas y arenas medias, la superficie presenta relieve muy bajo (< 50 m), con pendiente topográfica inclinada, moderadamente larga y larga, de forma recta. En esta geoforma se presenta escurrimiento superficial difuso.

La parte medial de abanico aluvial representa el 1,91% del área total de la cuenca, se encuentra en las veredas Jonolura, Momonal y en los corregimientos de Bonda y Minca en los municipios de Ciénaga y Santa Marta.

- *Parte distal del abanico aluvial (Faad)*

Se refiere a la zona más distante del punto inicial del abanico aluvial, asociada para los ríos Córdoba, Toribío, Gaira, Manzanares y las quebradas El Doctor, Don Jaca, Mamorón y Tamaca. La unidad está compuesta por depósitos de arenas medias y finas, la superficie presenta relieve muy bajo (< 50 m), con pendiente topográfica suavemente inclinada, moderadamente larga y larga, de forma recta. En esta geoforma se presenta escurrimiento superficial difuso.

La parte distal del abanico aluvial representa el 1,59% del área total de la cuenca, se encuentra en las veredas Mamonal y corregimiento de Minca de los municipios de Ciénaga y Santa Marta.

- *Talud del abanico aluvial (Faat)*

Corresponde al límite de los depósitos aluvio-torrenciales, formado por el levantamiento tectónico, está en contacto con la línea de costa se identificó para las quebradas Seca y El Doctor. La unidad está compuesta por depósitos de gravas subredondeadas y arenas, la superficie presenta relieve muy bajo (< 50 m), con pendiente topográfica inclinada, corta, de forma recta. En esta geoforma se presenta escurrimiento superficial, derrumbes por la erosón causada por las olas.

Talud del abanico aluvial representa el 0,02% del área total de la cuenca, se encuentra en jurisdicciones de las veredas Jonolura y Mamonal en el municipio de Ciénaga y el corregimiento de Minca del municipio de Santa Marta.

- *Plano de terraza aluvial (Fta)*

La terraza aluvial corresponde a una superficie plana formada por la anterior sedimentación de un río o quebrada, para la cuenca se asocia a la sedimentación de los ríos Córdoba, Toribío, Gaira, Manzanares y Piedras, y las quebradas Matogiro (o Donoma), Concha, Paliangana y Jordán. La unidad está compuesta por depósitos sin consolidar de cantos, gravas, gravilla y arenas, la superficie presenta relieve muy bajo (< 50 m), con pendiente topográfica plana, corta y moderamente larga, de forma recta, el drenaje actual ha disectado estos depósitos. En esta geoforma se presenta inundaciones y avenidas torrenciales.

El plano de terraza aluvial representa el 0,82% del área total de la cuenca, se encuentra en la vereda Mamonal y los corregimientos de Bonda, Guachaca y Minca, municipios de Ciénaga y Santa Marta.

En el sector de Paliangana la geoforma es configurada por la quebrada del mismo nombre como por sus afluentes, motivo por el que la superficie es amplia (ancha).

- *Cuencas de decantación (Fcd)*

Superficie plano-cóncava pobremente drenada que se localiza dentro del plano de la terraza. La unidad está compuesta por depósitos sin consolidar de arenas finas y limos, la superficie presenta relieve muy bajo (< 50 m), con pendiente topográfica suavemente inclinada, muy corta, corta, de forma cóncava. En esta geoforma se presenta encharcamientos.

Las cuencas de decantación representan el 0,01% del área total de la cuenca, se encuentra en el corregimiento de Bonda, municipio de Santa Marta.

- *Talud de la terraza aluvial (Ft)*

Plano vertical a subvertical, escalonado, excavado en sedimentos aluviales que bordean las terrazas de acumulación. Su origen es relacionado a la incisión y profundización del cauce. La unidad está compuesta por depósitos sin consolidar de cantos, gravas, gravilla y arenas, la superficie presenta relieve muy bajo (< 50 m), con pendiente topográfica inclinada, corta, de forma recta. En esta geoforma se presentan derrumbes de pequeña escala por retroceso de bermas.

El talud de la terraza aluvial representa el 4% del área total de la cuenca, se encuentra en el corregimiento de Bonda, municipio de Santa Marta.

- *Cauce de río principal (Fc)*

Canal amplio de forma irregular y amplia por donde escurren los ríos Córdoba, Toribío, Gaira, Manzanares y Piedras y las quebradas Concha y Jordán, se caracterizan por su carga de sedimentos medianos, el caudal, no recorren amplias distancias y está en zonas con topografía suave y baja. La unidad está compuesta por cantos, gravas, arenas y limos, la superficie presenta relieve muy bajo (< 50 m), con pendiente topográfica plana, larga, muy larga y extremadamente larga, de forma recta. En esta geoforma se presenta inundaciones y avenidas torrenciales.

El cauce de los ríos representa el 0,23% del área total de la cuenca, administrativamente se encuentra en los corregimientos de Bonda y Guachaca del municipio de Santa Marta.

- *Cauce de quebradas (Fcq)*

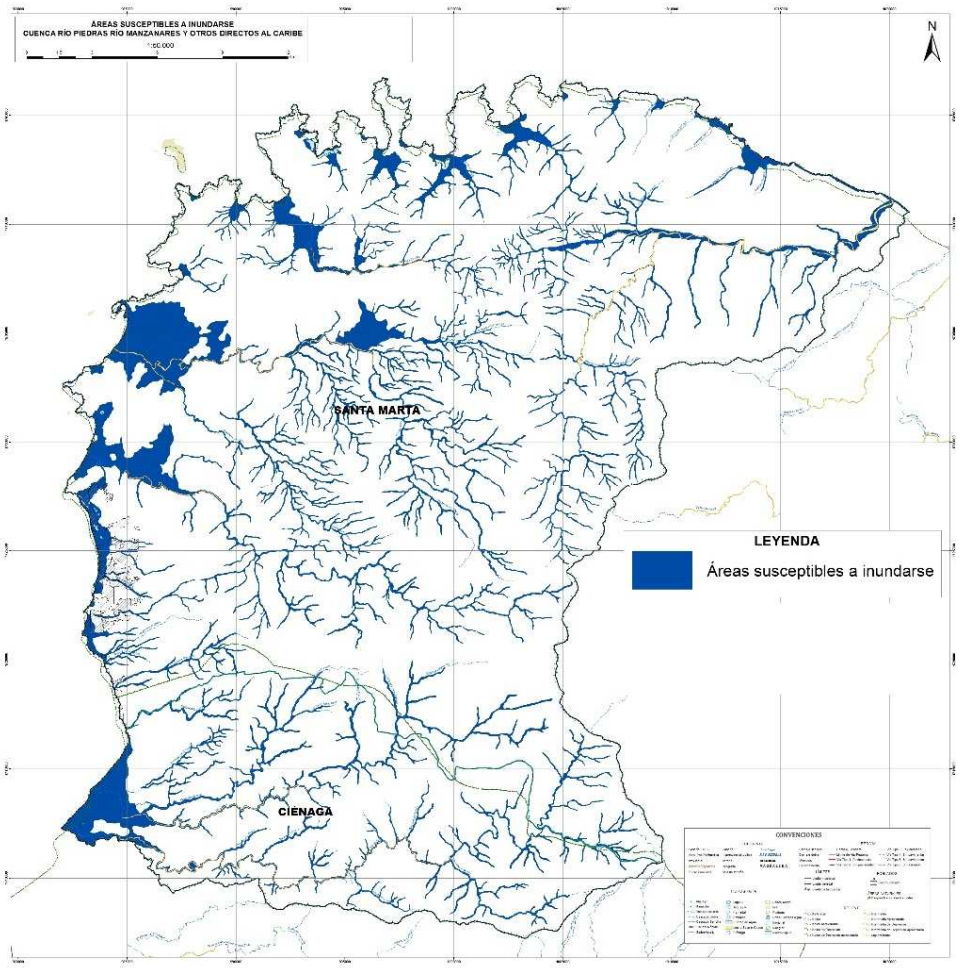
Se refiere a la geoforma angosta, alargada e irregular por donde escurren las quebradas, se encuentran asociadas con zonas de montañosas y lomas; se asocia a toda la red de drenaje. La unidad está compuesta por depósitos sin consolidar de gravas, arenas y limos; para la zona de montaña se presentan bloques heterométricos subredondeados y redondeados, la superficie presenta relieve muy bajo (< 50 m), con pendiente topográfica plana, larga, muy larga y extremadamente larga, de forma recta. En esta geoforma se presenta inundaciones y avenidas torrenciales. El cauce de las quebradas representa el 7,68% del área total de la cuenca, se encuentra en las veredas Jonolura, La Reserva, Mamonal y los corregimientos Bonda, Guachaca, Minca y Taganga de los municipios de Ciénaga y Santa Marta.

❖ *Planicie de inundación (Fpi)*

Corresponde a superficies planas y bajas, colindantes a los ríos y quebradas, donde son frecuentes las inundaciones. La unidad está compuesta por depósitos sin consolidar de arenas finas, limos y arcillas, la superficie presenta relieve muy bajo (< 50 m), con pendiente topográfica plana, corta, de forma recta. En esta geoforma se presentan encharcamientos e inundaciones.La planicie de inundación representa el 0,10% del área total de la cuenca, se encuentra en la vereda Mamonal del municipio de Ciénaga, asociado a los ríos Córdoba y Toribío.

En la Figura 4.23, se observa las áreas susceptibles a inundarse según el análisis geomorfológico, evidenciando que el 26,49% del área de estudio, presenta alguna categoría de susceptibilidad (Alta, Media o Baja).

Figura 4.23. **Áreas susceptibles a inundarse**



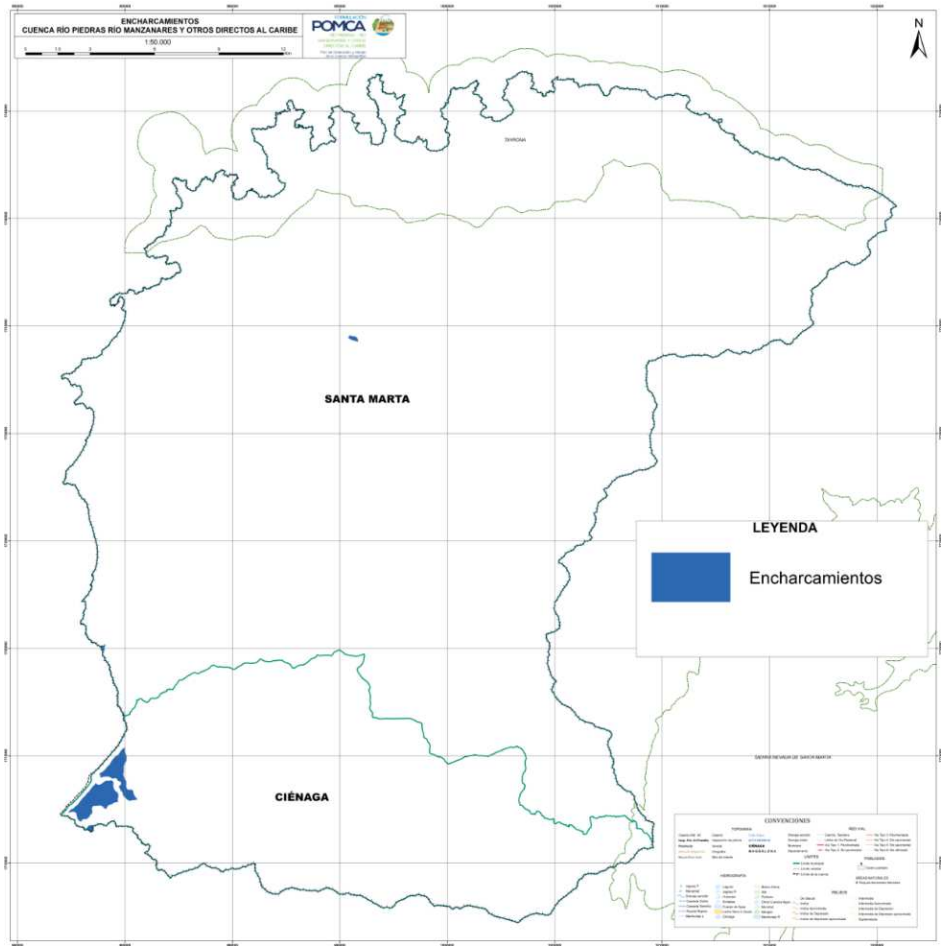
❖ *Encharcamientos*

La caracterización de los procesos morfodinámicos presentes en la cuenca hidrográfica río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe, da cuenta de la existencia de áreas con evidencias de encharcamiento dentro de los Paisajes Valle Aluvial y Planicie Fluvio-marina y unidades geomorfológicas cuencas de decantación (Fcd) y Mantos de arena (Ema). Estas áreas se caracterizan por presentar un relieve muy bajo (< 50 m), con pendientes topográficas que varian de suavemente inclinada, muy corta, corta, de forma cóncava para las geoformas Fcd a plana, moderadamente larga y larga, de forma recta para las geoformas Ema.

La unidad *mantos de arena,* está compuesta por depósitos de arenas finas formada por la acumulación de arena transportada por el viento, los cuales se extienden a lo largo de la línea de costa. Su extensión, ocupa el 0,37% del área total de la cuenca y presenta inundaciones por oleaje.

Los encharcamientos, son recurrentes debido a la dinámica del oleaje y del río Manzanares; espacialmente, estos fenómenos se localizan en el borde oeste de la cuenca en la vereda Mamonal del municipio de Ciénaga y en el corregimiento de Bonda, municipio de Santa Marta.

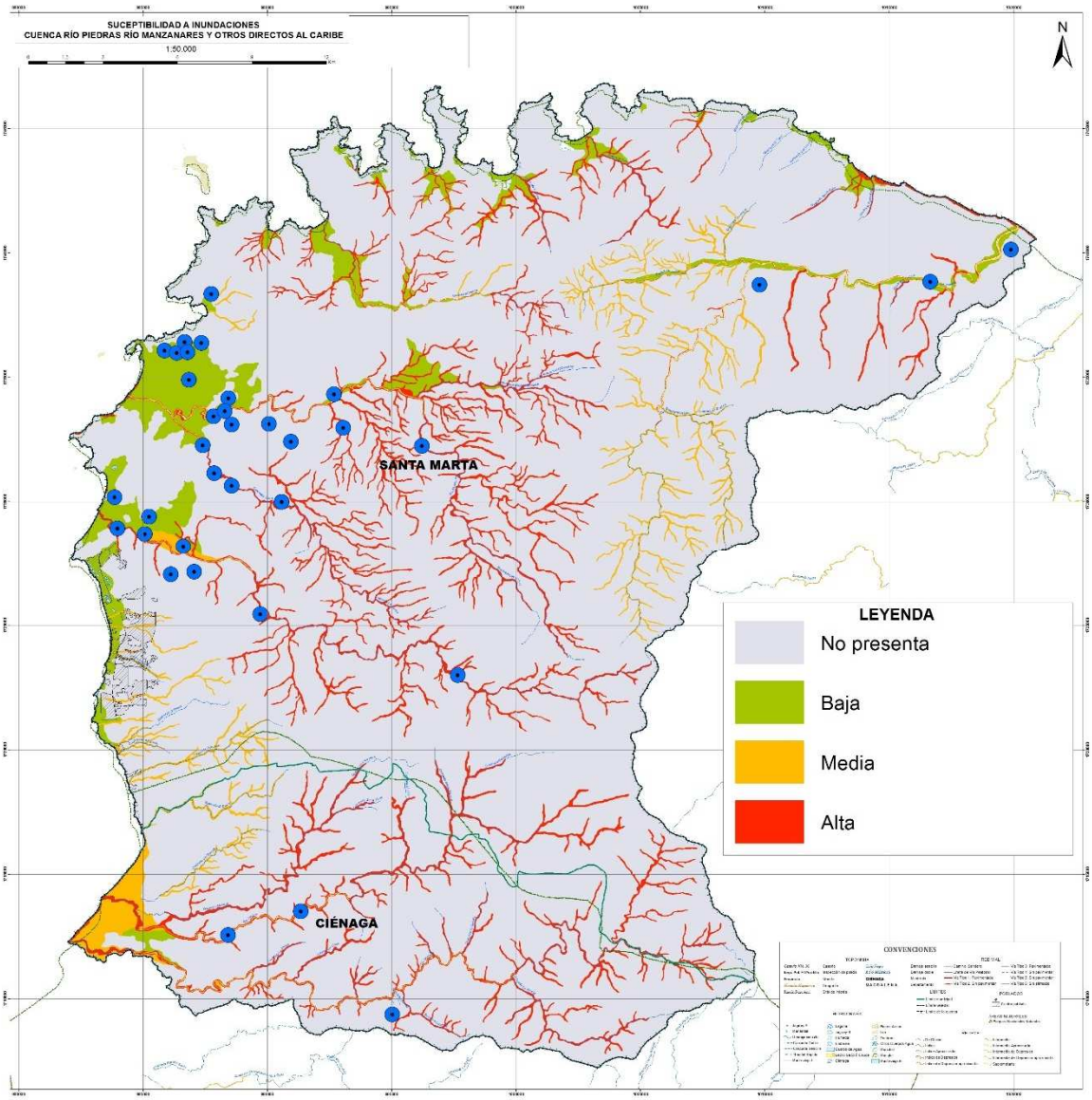
Figura 4.24. Áreas con procesos de encharcamientos



Para mayor detalle sobre la metodología, significado e interpretación de cada una de las subunidades geomorfológicas, se remite al lector al volumen 1. Componente Biofísico, numeral 10. Geomorfología.

Después del procesamiento y superposición de la información antes descrita, empleando la herramienta SIG, se obtuvo el mapa de susceptibilidad a inundaciones para la Cuenca Hidrográfica del Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe (Ver Figura 4.25 y se adjunta en el Anexo 9).

Figura 4.25. **Susceptibilidad a inundaciones en la Cuenca Hidrográfica del Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe.**



4.1.2.2.1. *Susceptibilidad Alta*
Son áreas que corresponden sectores próximos a los cauces, donde se observan procesos activos o inundaciones periódicas y unidades geomorfológicas asociadas a este tipo de eventos, tales como: terrazas aluviales, llanuras marinas y de inundación y terrazas fluvio marinas.

Esta categoría se presenta en casi toda la cuenca, asociada a los cauces de los ríos Manzanares, Gaira, Toribio, Córdoba y la sección baja del río Piedras; también a los cauces de las quebradas Tamacá, Matogiro, Concha, El Cinto, Gairaca, Bureche, Marinca y La Sierrita.

4.1.2.2.2. *Susceptibilidad Media*
Son áreas que contienen procesos intermitentes denudativos, erosión superficial continua histórico; corresponde con unidades geomorfológicas de: llanura marina y de inundación y terrazas aluviales recientes. Esta categoría ocupa el 2,38% del total del área de la cuenca y se presenta asociada a los cauces de la parte alta del río Piedras y la quebrada Jordán y a las quebradas, Santa Teresa, La Lisa, El Limón, Latuchi, Ojo de Agua, Mamorón, Don Jaca, Quebrada Seca, El Ébano, La Palmita, El Doctor y El Guayabo; también , se encuentra dos sectores relativamente amplios, el primero aguas debajo de la desembocadura de la quebrada Bureche en el Río Gaira y el segundo, en los conos de deyección de los ríos Toribio y Córdoba en el municipio de Ciénaga.

4.1.2.2.3. *Susceptibilidad Baja*
Áreas con geoformas relacionadas con eventos antiguos como, por ejemplo, las terrazas aluviales altas; corresponde con unidades geomorfológicas de terrazas aluviales antiguas y fluvio marinas. Esta categoría ocupa el 3,95% del total del área de la cuenca y se presenta en su borde Oeste, en una franja discontinua paralela a la línea de costa entre el sector del Rodadero y Santa Marta, y alguna de las ensenadas como Gairaca y Concha; también en la desembocadura de la quebrada Matogiro y El río Manzanares.

4.1.2.2.4. *Susceptibilidad Nula*
Áreas asociadas a topografías altas, con geoformas principalmente estructurales y denudaciones, que presentan unidades como Escarpes, laderas estructurales, lomas, colinas, sierras, cerros residuales y glacis. Corresponde a las áreas que presentan curvas de nivel mayores a 120 m.s.n.m.

4.1.3. Susceptibilidad a Incendios Forestales
El término incendio forestal hace referencia a un fenómeno natural presentado cuando las zonas con vegetación son consumidas en forma incontrolada por el fuego, el cual puede salirse de control y expandirse fácilmente sobre extensas áreas (EIRD, 2002). Este evento amenazante, puede iniciarse lentamente al quemarse la maleza del suelo del bosque, alcanzando rápidamente las copas de los árboles gracias a la acción del viento. Por lo general, la primera señal de la ocurrencia de un incendio es la generación de un humo denso.

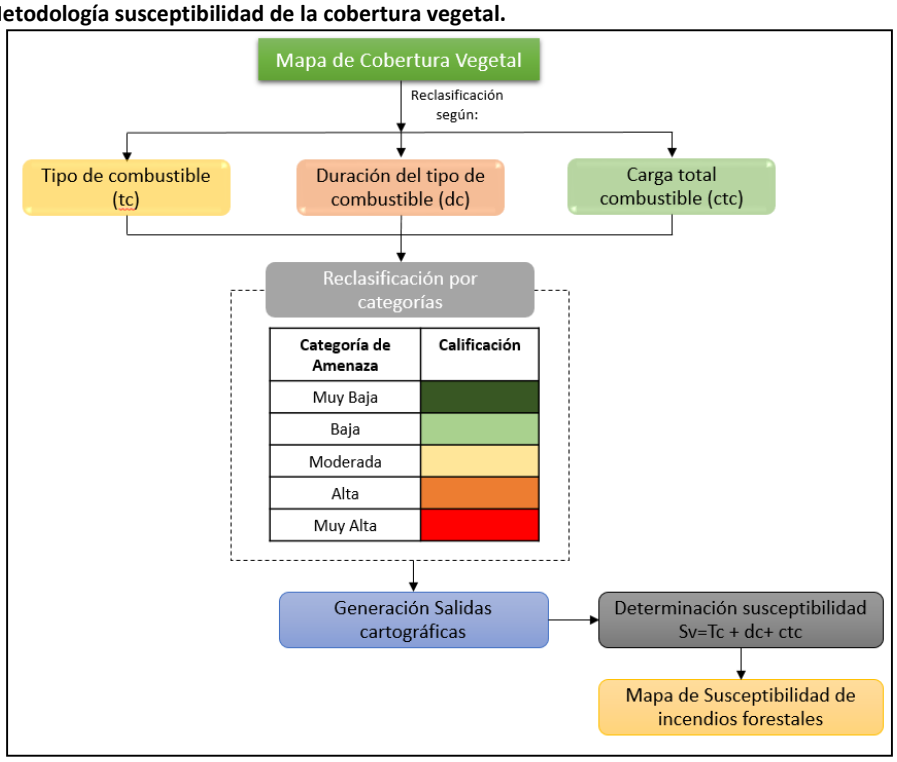
A nivel global, los incendios forestales siempre han estado presentes y en Colombia son eventos recurrentes, especialmente en periodos de bajas precipitaciones; lo cuales, se han intensificado debido al fenómeno del niño y han contribuido a la degradación de los ecosistemas boscosos del país, afectando aproximadamente 42.000 hectáreas anuales (MAVDT, 2010).

En la Cuenca Hidrográfica del Río Piedras- Río Manzanares y otros directos al Caribe, la ocurrencia de estos eventos, es originada por las quemas que realizan los agricultores antes de la siembra; así como, por las fuertes sequías asociadas con el comportamiento del clima; situación que genera, grandes pérdidas económicas y del patrimonio natural.

Este numeral, contiene los aspectos metodológicos y resultados de la evaluación de la susceptibilidad de la Cuenca Hidrográfica del río Piedras - río Manzanares y otros directos al Caribe, a la ocurrencia de incendios forestales. La susceptibilidad de la cobertura vegetal, se analiza mediante la identificación y valoración de la condición pirogénica de la vegetación, de conformidad con lo propuesto por Páramo (2007) en el modelo de combustibles para Colombia (IDEAM, 2011).

4.1.3.1. *Metodología para la evaluación y zonificación de la susceptibilidad a incendios forestales*
El proceso metodológico empleado en el presente análisis, sigue los lineamientos del documento "Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal, Escala 1:100.000", publicado por el IDEAM en el año 2011. En la Figura 4.26, se presenta de manera general, las actividades requeridas para la determinación de la susceptibilidad de la cobertura vegetal.

Figura 4.26. **Metodología susceptibilidad de la cobertura vegetal.**



Fuente: adaptado de IDEAM (2011)

- *Salida Cartográfica de tipo de combustibles vegetales:* Tomando como base el mapa de coberturas vegetales, escala 1:25.000, se genera una reclasificación según los tipos de combustibles dominantes en el área objeto de ordenación. Posteriormente, se asigna una calificación de acuerdo con la categoría de amenaza de los combustibles (Ver Tabla 4.34), y se espacializa esta información en una salida cartográfica, formato shape.

Tabla 4.34. Categoría de amenaza – Tipo de combustible

Tipo de combustibles	Categoría de Amenaza	Calificación
No combustibles	Muy Baja	1
Áreas Urbanas	Muy Baja	1
Árboles	Baja	2
Árboles y arbustos	Moderada	3
Arbustos	Alta	4
Hierbas	Alta	4
Pastos/Hierbas	Muy Alta	5
Pastos	Muy Alta	5

Fuente: adaptado de IDEAM (2011).

- *Salida Cartográfica de duración del tipo de combustibles:* Tomando como base el mapa de coberturas vegetales, escala 1:25.000, se genera una reclasificación según la duración de los combustibles dominantes en el área objeto de ordenación. Posteriormente, se asigna una calificación de acuerdo con la categoría de amenaza (Ver Tabla 4.35), y se espacializa esta información en una salida cartográfica, formato shape.

Tabla 4.35. Categoría de amenaza – Duración del tipo de combustible

Duración del tipo de combustibles	Categoría de Amenaza	Calificación
1 Hora (Predominio de pastos)	Alta	4
10 Horas (Predominio de arbustos y hierbas)	Moderada	3
100 Horas (Predominio de árboles)	Baja	2
No Combustibles	Muy Baja	1
Áreas Urbanas	Muy Baja	1

Fuente: adaptado de IDEAM (2011).

- *Salida Cartográfica de carga total de combustibles vegetales:* Tomando como base el mapa de coberturas vegetales, escala 1:25.000, se genera una reclasificación según la carga total de los combustibles dominantes en el área objeto de ordenación. Posteriormente, se asigna una calificación de acuerdo con la categoría de amenaza de la carga de los combustibles (Ver Tabla 4.36), y se espacializa esta información en una salida cartográfica, formato shape.

Tabla 4.36. Categoría de amenaza – Carga total del combustible

Carga total del combustible	Categoría de Amenaza	Calificación
Muy alta (Más de 100 Ton/ Ha)	Alta	4
Moderada (50 a 100 Ton/ Ha)	Moderada	3
Baja (1-50 Ton/ Ha)	Baja	2
No Combustibles	Muy Baja	1
Áreas Urbanas	Muy Baja	1

Fuente: adaptado de IDEAM (2011).

- *Susceptibilidad de incendios de la cobertura vegetal:* Una vez se han obtenido las salidas cartográficas y con ayuda de las herramientas SIG, se procede a realizar una suma ponderada de las variables, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Sv = Cal(tc) + Cal(dc) + Cal(ctc)$$

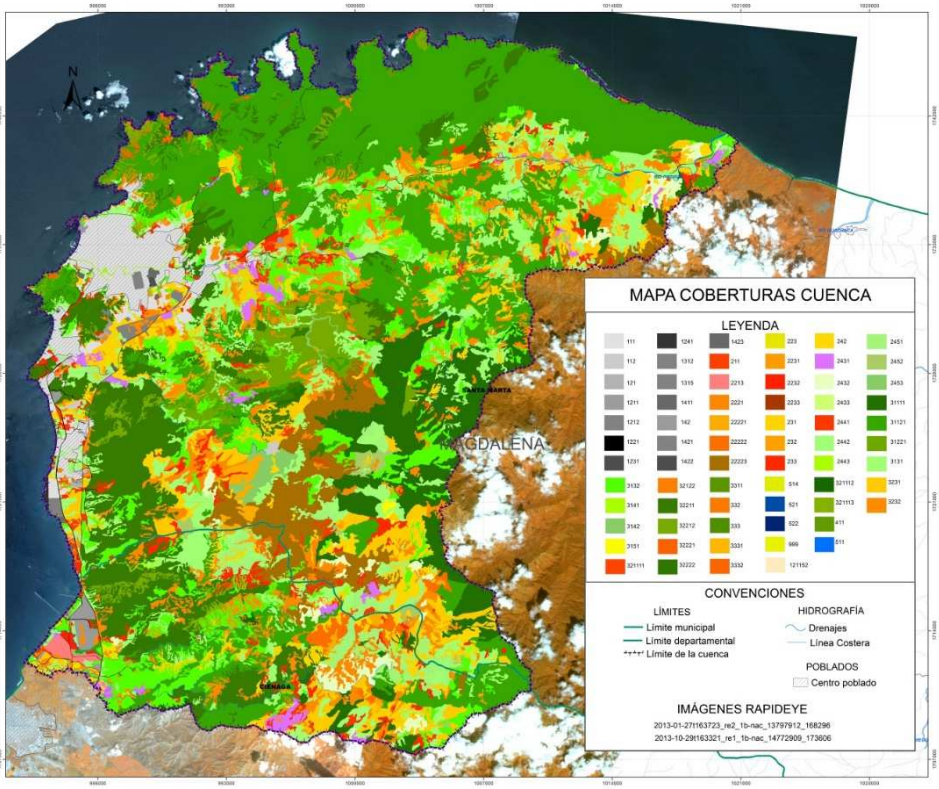
Dónde,
Sv: Susceptibilidad de la Vegetación
$Cal(tc)$: Calificación del tipo de combustible
$Cal(dc)$: Calificación de la duración del combustible
$Cal(ctc)$: Calificación de la carga total del combustible

Por último, el resultado obtenido se agrupa en 5 categorías mediante una distribución de frecuencias, asignando una calificación que varía entre susceptibilidad muy baja (N° 1) a susceptibilidad muy alta (N° 5).

4.1.3.2. *Resultados obtenidos*

El mapa de cobertura y uso de la tierra descrito en el volumen 1, numeral 12 del presente documento de diagnóstico, se convierte en el insumo primordial para la evaluación del grado de susceptibilidad del territorio ante la ocurrencia de incendios forestales.

Figura 4.27. Cobertura y uso de la tierra



Como resultado del proceso de interpretación de coberturas, se obtuvieron 67 tipos de coberturas tanto naturales como antrópicas. La Tabla 4.37, muestra en valores de área (en Ha) y porcentaje (%) cada una de las coberturas identificadas durante el proceso de interpretación para la cuenca objeto de ordenación.

Tabla 4.37. **Coberturas presentes en la cuenca**

CÓDIGO	NOMBRE COBERTURA	ÁREA_HA	%
111	Tejido urbano continuo	3483,69	3,75
112	Tejido urbano discontinuo	183,16	0,20
121	Zonas industriales o comerciales	30,37	0,03
142	Instalaciones recreativas	32,43	0,03
211	Otros cultivos transitorios	17,01	0,02
223	Cultivos permanentes arbóreos	247,89	0,27
231	Pastos limpios	4201,98	4,53
232	Pastos arbolados	1224,42	1,32
233	Pastos enmalezados	2046,58	2,21
242	Mosaico de pastos y cultivos	714,84	0,77
332	Afloramientos rocosos	136,95	0,15
333	Tierras desnudas y degradadas	124,35	0,13
411	Zonas Pantanosas	14,51	0,02
511	Ríos	266,49	0,29
514	Cuerpos de agua artificiales	4,25	0,005
521	Lagunas costeras	21,27	0,02
522	Mares y océanos	26,74	0,03
999	Nube, sombras o ausencia de insumo	4,39	0,005
1211	Zonas industriales	328,40	0,35
1212	Zonas comerciales	83,05	0,09
1221	Vias	249,83	0,27
1231	Zonas portuarias fluviales	17,85	0,02
1241	Aeropuerto con infraestructura asociada	31,85	0,03
1312	Explotación de hidrocarburos	139,05	0,15
1315	Explotación de materiales de construccion	13,17	0,01
1411	Otras zonas verdes urbanas	9,94	0,01
1421	Áreas culturales	51,55	0,06
1422	Áreas deportivas	17,36	0,02
1423	Áreas turísticas	99,80	0,11
2213	Plátano y banano	181,25	0,20
2221	Otros cultivos permanentes arbustivos	1,93	0,002
2231	Otros cultivos permanentes arbóreos	46,75	0,05
2232	Palma de aceite	53,21	0,06
2233	Cítricos	2,56	0,003
2431	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos	917,10	0,99
2432	Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos	1103,45	1,19
2433	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales herbáceos	47,99	0,05
2441	Mosaico de pastos con espacios naturales arbóreos	653,61	0,70
2442	Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos	6101,17	6,57
2443	Mosaico de pastos con espacios naturales herbáceos	76,06	0,08
2451	Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos	1887,54	2,03
2452	Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos	409,84	0,44
2453	Mosaico de pastos con espacios naturales herbaceos	386,49	0,42

CÓDIGO	NOMBRE COBERTURA	ÁREA_HA	%
3131	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	2810,72	3,03
3132	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	7516,68	8,10
3141	Bosque de galería y/o ripario alto	293,27	0,32
3142	Bosque de galería y/o ripario bajo	55,99	0,06
3151	Plantación de coníferas	54,76	0,06
3231	Vegetación secundaria alta	2340,24	2,52

Los resultados del procesamiento del mapa de cobertura y uso de la tierra se describen a continuación:

- Tipo de combustible

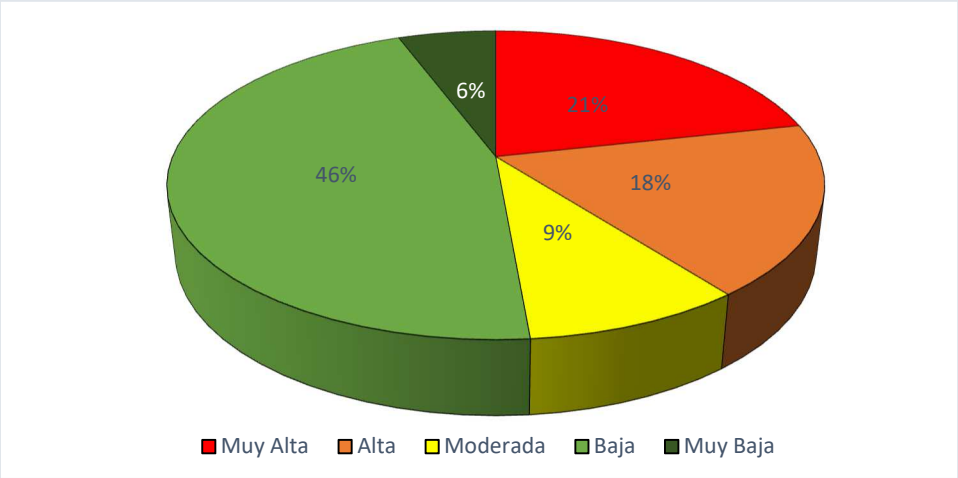
El proceso de reclasificación de las coberturas vegetales de la Cuenca Hidrográfica del río Piedras - río Manzanares y otros directos al Caribe, da cuenta de la predominancia de una categoría de amenaza baja por tipo de combustibles, dada la extensión de las coberturas arbóreas en la zona; sin embargo se evidencia, que el 21,53% del área objeto de ordenación es muy altamente susceptible a incendiarse, debido a la existencia de pasturas e hierbas (ver Figura 4.28); valor que no es despreciable, dadas las afectaciones que se podrían generar sobre la producción agropecuaria y sobre los ecosistemas estratégicos de la cuenca (Tabla 4.38).

Tabla 4.38. Tipo de Combustible.

COBERTURA	TIPO COMBUSTIBLE	CALIFICACIÓN	RANGO DE SUSCEPTIBILIDAD
Zonas arenosas naturales	No Combustibles	1	Muy Baja
Bosque fragmentado	Arboles	2	Baja
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	Áreas Urbanas	1	Muy Baja
Mares y océanos	No Combustibles	1	Muy Baja
Vegetación secundaria o en transición	Arboles/arbustos	3	Moderada
Cultivos permanentes herbáceos	Hierbas	4	Alta
Tierras desnudas y degradadas	No Combustibles	1	Muy Baja
Ríos (50 m)	No Combustibles	1	Muy Baja
Bosque de galería y/o ripario	Arboles	2	Baja
Tejido urbano continuo	Areas Urbanas	1	Muy Baja
Instalaciones recreativas	Pastos	5	Muy Alta
Zonas industriales o comerciales	No Combustibles	1	Muy Baja
Mosaico de pastos con espacios naturales	Pastos/hierbas	5	Muy Alta
Cultivos permanentes arbóreos	Arboles	2	Baja
Mosaico de cultivos y espacios naturales	Pastos/hierbas	5	Muy Alta
Pastos limpios	Pastos	5	Muy Alta
Mosaico de pastos y cultivos	Pastos/hierbas	5	Muy Alta
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Pastos/hierbas	5	Muy Alta
Bosque denso	Arboles	2	Baja
Pastos enmalezados	Pastos	5	Muy Alta
Zonas de extracción minera	No Combustibles	1	Muy Baja
Pastos arbolados	Pastos	5	Muy Alta
Herbazal	Hierbas	4	Alta

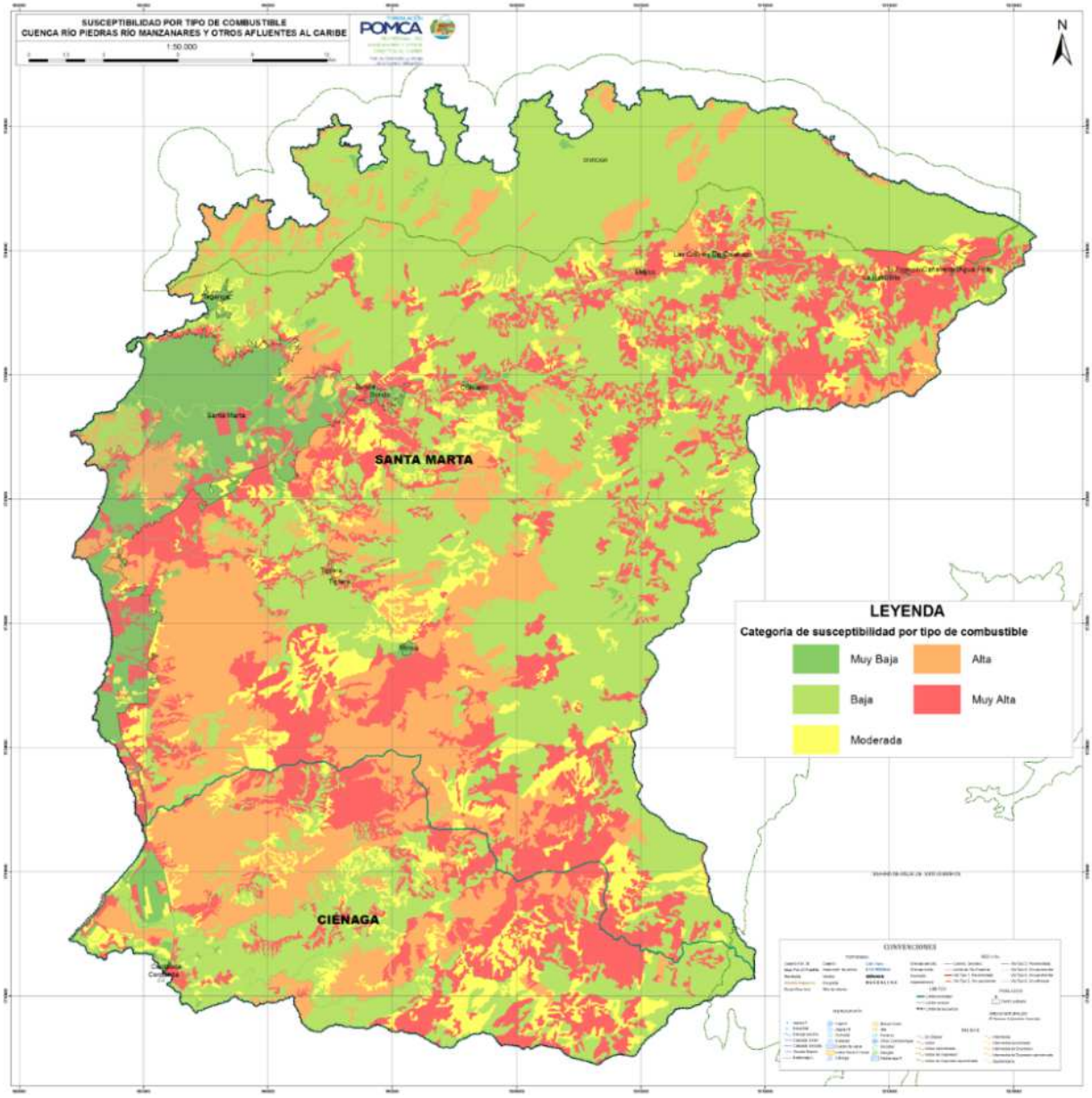
COBERTURA	TIPO COMBUSTIBLE	CALIFICACIÓN	RANGO DE SUSCEPTIBILIDAD
Arbustal	Arbustos	4	Alta
Bosque abierto	Arboles	2	Baja
Otros cultivos transitorios	Hierbas	4	Alta
Aeropuertos	No Combustibles	1	Muy Baja
Tejido urbano discontinuo	Áreas Urbanas	1	Muy Baja
Cuerpos de agua artificiales	No Combustibles	1	Muy Baja
Zonas portuarias	No Combustibles	1	Muy Baja
Zonas verdes urbanas	Pastos	5	Muy Alta
Cultivos permanentes arbustivos	Arbustos	4	Alta
Afloramientos rocosos	No Combustibles	1	Muy Baja
Lagunas costeras	No Combustibles	1	Muy Baja
Zonas pantanosas	No Combustibles	1	Muy Baja
Plantación forestal	Arboles	2	Baja

Figura 4.28. **Categoría de susceptibilidad de los combustibles de la cuenca**



En la Figura 4.29, se puede evidenciar que las coberturas vegetales más propensas a incendiarse, se encuentran distribuidas a lo largo del territorio en ordenación, en áreas donde las coberturas vegetales predominantes son tipo pastos, hierbas, y arbustos. Adicionalmente, se observa mayor superficie categorizada como de susceptibilidad alta y moderada en los sectores Sureste y Suroeste de la cuenca hidrográfica.

Figura 4.29. **Susceptibilidad Tipo de Combustible**



❖ Duración del tipo de combustible

La duración del tipo de combustible, es un factor de gran importancia para entender la capacidad pirogénica de las coberturas vegetales, ya que expresa de manera indirecta que tan peligroso puede ser un incendio (UAO, 2011). En este sentido, combustibles de rápida ignición se extienden fácilmente y son difíciles de controlar, a comparación de aquellos combustibles de larga duración (Tabla 4.39).

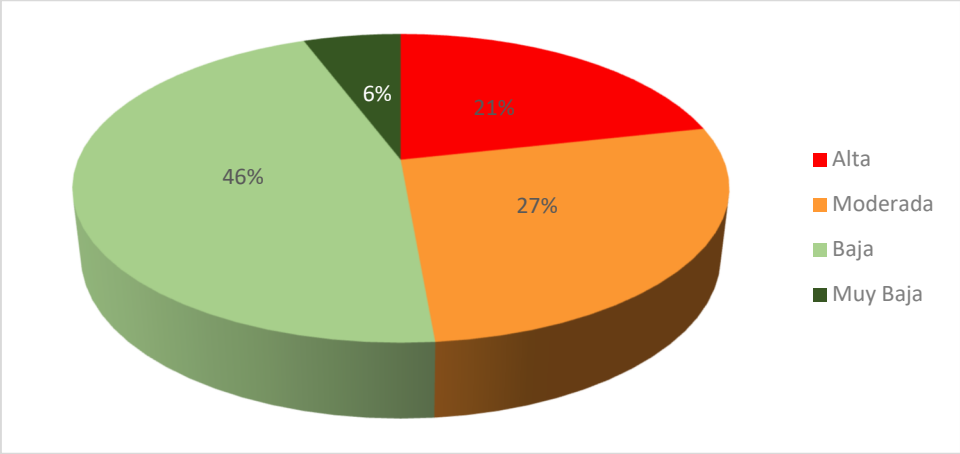
Tabla 4.39. Duración del Combustible por tipo de cobertura

COBERTURA	DURACIÓN COMBUSTIBLE	CALIFICACIÓN	RANGO DE SUSCEPTIBILIDAD
Zonas arenosas naturales	No Combustibles	1	Muy Baja
Bosque fragmentado	100 Horas	2	Baja
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	Áreas Urbanas	1	Muy Baja
Mares y océanos	No Combustibles	1	Muy Baja
Vegetación secundaria o en transición	10 Horas	3	Moderada
Cultivos permanentes herbáceos	10 Horas	3	Moderada
Tierras desnudas y degradadas	No Combustibles	1	Muy Baja
Ríos (50 m)	No Combustibles	1	Muy Baja
Bosque de galería y/o ripario	100 Horas	2	Baja
Tejido urbano continuo	Áreas Urbanas	1	Muy Baja
Instalaciones recreativas	1 Hora	4	Alta
Zonas industriales o comerciales	No Combustibles	1	Muy Baja
Mosaico de pastos con espacios naturales	1 Hora	4	Alta
Cultivos permanentes arbóreos	100 Horas	2	Baja
Mosaico de cultivos y espacios naturales	1 Hora	4	Alta
Pastos limpios	1 Hora	4	Alta
Mosaico de pastos y cultivos	1 Hora	4	Alta
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	1 Hora	4	Alta
Bosque denso	100 Horas	2	Baja
Pastos enmalezados	1 Hora	4	Alta
Zonas de extracción minera	No Combustibles	1	Muy Baja
Pastos arbolados	1 Hora	4	Alta
Herbazal	10 Horas	3	Moderada
Arbustal	10 Horas	3	Moderada
Bosque abierto	100 Horas	2	Baja
Otros cultivos transitorios	10 Horas	3	Moderada
Aeropuertos	No Combustibles	1	Muy Baja
Tejido urbano discontinuo	Áreas Urbanas	1	Muy Baja
Cuerpos de agua artificiales	No Combustibles	1	Muy Baja
Zonas portuarias	No Combustibles	1	Muy Baja
Zonas verdes urbanas	1 Hora	4	Alta
Cultivos permanentes arbustivos	10 Horas	3	Moderada
Afloramientos rocosos	No Combustibles	1	Muy Baja
Lagunas costeras	No Combustibles	1	Muy Baja
Zonas pantanosas	No Combustibles	1	Muy Baja
Plantación forestal	100 Horas	2	Baja

Como se puede apreciar en la Figura 4.30, los combustibles con un tiempo de combustión de 100 horas o más son los que ocupan la mayor extensión de la cuenca en ordenación, seguidos por los de 10 horas y con menor porcentaje de participación los de una hora. Cabe resaltar que, aunque el área ocupada por los combustibles de una hora no es la más extensa, si representa un porcentaje

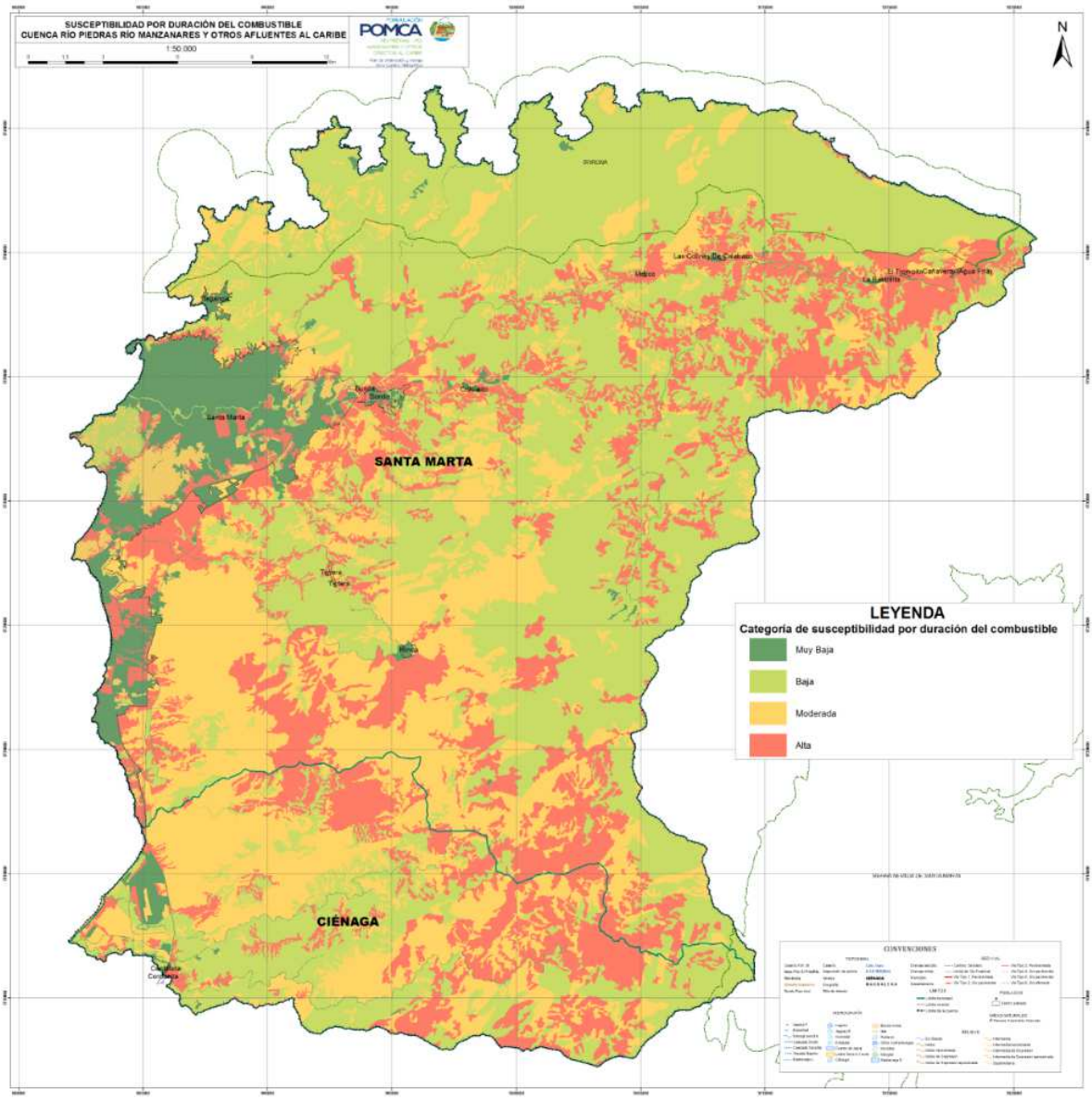
significativo (21,53%), situación que puede aumentar la susceptibilidad de la cuenca a la ocurrencia de un incendio forestal.

Figura 4.30. **Duración de los combustibles de la cuenca**



Las áreas con tiempos de combustión de una hora están asociadas a coberturas vegetales tipo pastos y/o hierbas, con extensiones similares a las presentadas en el numeral anterior (Figura 4.31). Cabe resaltar que, aunque existe una gran proporción de la cuenca categorizada como de susceptibilidad baja y muy baja por duración de los combustibles (52%), se debe monitorear constantemente estas zonas, debido a que el fuego sería más difícil de controlar y podría destruir áreas de conservación estratégica como el Parque Nacional Natural Tayrona.

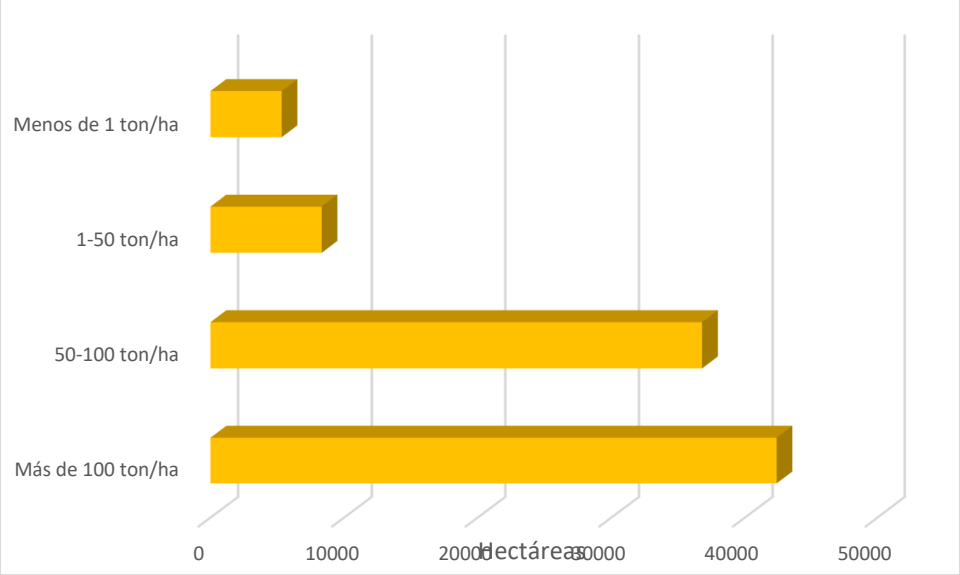
Figura 4.31. **Susceptibilidad por Duración tipo de Combustible**



- Carga total del combustible

Esta variable expresa el contenido de biomasa de cada una de las coberturas predominantes (Expresada en tonelada por hectárea) en el área de estudio. Para el caso de la Cuenca Hidrográfica del río Piedras - río Manzanares y otros directos al Caribe, se estima que alrededor del 45,66% (42368,3589 ha) de las coberturas vegetales, poseen una carga de combustible superior a 100 Ton/ha (Ver Figura 4.32); siendo una cantidad significativamente alta, que posiblemente se quemará al presentarse un incendio forestal.

Figura 4.32. **Carga total del combustible**



Las áreas con biomasa superior 100 ton/ha, están asociadas a vegetación arbórea, debido a la presencia de coberturas vegetales como: bosque fragmentado con vegetación secundaria, bosque de galería y ripario alto, bosque denso alto inundable heterogéneo, bosque abierto bajo de tierra firme y cultivos permanentes arbóreos; evidenciando mayor presión hacia el centro y norte de la cuenca hidrográfica, en los corregimientos de Bonda, Guachaca y Taganga; así como, en el sector de Minca y dentro de la jurisdicción del Parque Nacional Natural Tayrona (Tabla 4.40).

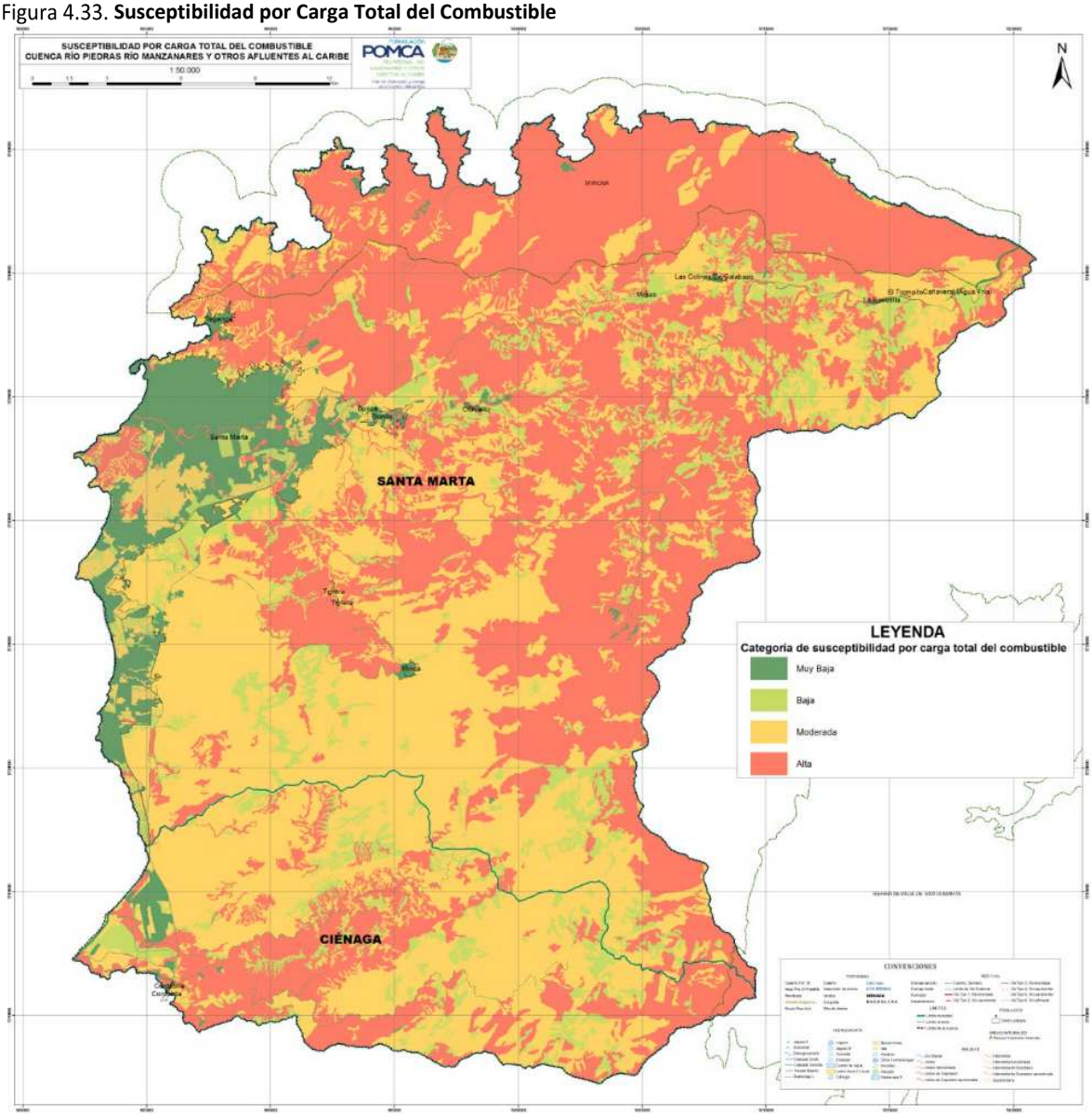
Tabla 4.40. Carga total de combustible por tipo de cobertura.

COBERTURA	CARGA TOTAL DEL COMBUSTIBLE	CALIFICACIÓN	RANGO DE SUSCEPTIBILIDAD
Zonas arenosas naturales	No Combustibles	1	Muy Baja
Bosque fragmentado	Muy Alta (Más de 100 ton/ha)	4	Alta
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	Áreas Urbanas (Menos de 1 ton/ha)	1	Muy Baja
Mares y océanos	No Combustibles	1	Muy Baja
Vegetación secundaria o en transición	Moderada (50-100 ton/ha)	3	Moderada
Cultivos permanentes herbáceos	Baja (1-50 ton/ha)	2	Baja
Tierras desnudas y degradadas	No Combustibles	1	Muy Baja
Ríos (50 m)	No Combustibles	1	Muy Baja
Bosque de galería y/o ripario	Muy Alta (Más de 100 ton/ha)	4	Alta
Tejido urbano continuo	Áreas Urbanas (Menos de 1 ton/ha)	1	Muy Baja
Instalaciones recreativas	Baja (1-50 ton/ha)	2	Baja
Zonas industriales o comerciales	No Combustibles	1	Muy Baja
Mosaico de pastos con espacios naturales	Moderada (50-100 ton/ha)	3	Moderada
Cultivos permanentes arbóreos	Muy Alta (Mas de 100 ton/ha)	4	Alta

COBERTURA	CARGA TOTAL DEL COMBUSTIBLE	CALIFICACIÓN	RANGO DE SUSCEPTIBILIDAD
Mosaico de cultivos y espacios naturales	Moderada (50-100 ton/ha)	3	Moderada
Pastos limpios	Baja (1-50 ton/ha)	2	Baja
Mosaico de pastos y cultivos	Moderada (50-100 ton/ha)	3	Moderada
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Moderada (50-100 ton/ha)	3	Moderada
Bosque denso	Muy Alta (Más de 100 ton/ha)	4	Alta
Pastos enmalezados	Baja (1-50 ton/ha)	2	Baja
Zonas de extracción minera	No Combustibles	1	Muy Baja
Pastos arbolados	Baja (1-50 ton/ha)	2	Baja
Herbazal	Baja (1-50 ton/ha)	2	Baja
Arbustal	Moderada (50-100 ton/ha)	3	Moderada
Bosque abierto	Muy Alta (Más de 100 ton/ha)	4	Alta
Otros cultivos transitorios	Baja (1-50 ton/ha)	2	Baja
Aeropuertos	No Combustibles	1	Muy Baja
Tejido urbano discontinuo	Áreas Urbanas (Menos de 1 ton/ha)	1	Muy Baja
Cuerpos de agua artificiales	No Combustibles	1	Muy Baja
Zonas portuarias	No Combustibles	1	Muy Baja
Zonas verdes urbanas	Baja (1-50 ton/ha)	2	Baja
Cultivos permanentes arbustivos	Moderada (50-100 ton/ha)	3	Moderada
Afloramientos rocosos	No Combustibles	1	Muy Baja
Lagunas costeras	No Combustibles	1	Muy Baja
Zonas pantanosas	No Combustibles	1	Muy Baja
Plantación forestal	Muy Alta (Más de 100 ton/ha)	4	Alta

En la Figura 4.33, se observa la categoría de amenaza que tienen las coberturas vegetales de la cuenca hidrográfica en ordenación, de acuerdo con la carga total del combustible.

Figura 4.33. **Susceptibilidad por Carga Total del Combustible**



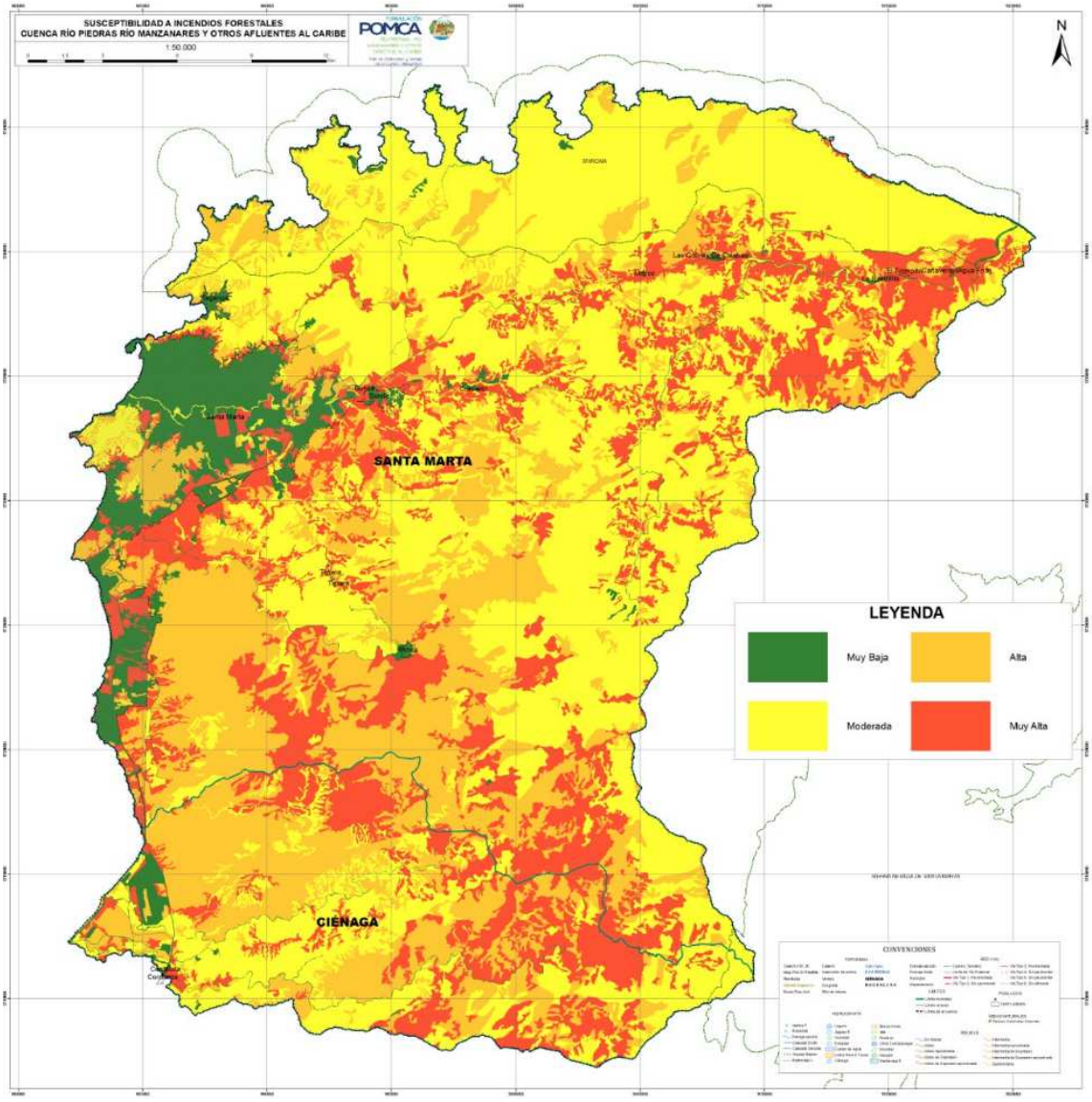
- Susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal

La zonificación de la susceptibilidad por incendios de la cobertura vegetal en la Cuenca Hidrográfica del río Piedras - río Manzanares y otros directos al Caribe, se generó a partir del análisis de las características y comportamiento de la vegetación frente a la ocurrencia de un incendio; evidenciando que las áreas con susceptibilidad moderada, son las de mayor extensión en la cuenca con una superficie de 42.368,36 ha, equivalente al 45,66% del territorio en ordenación (ver Figura 4.34 y adjunto en el Anexo 10)

De otra parte, tal como se observa en la figura, existe una extensión considerable del territorio con susceptibilidad alta y muy alta, representando el 27,07% y 21,53% del área total de la cuenca respectivamente.

Las áreas con susceptibilidad muy alta, corresponden a las de zonas con cobertura vegetal tipo pasturas, las cuales cuentan con un tiempo de ignición de 1 hora y presentan una carga de combustible que puede variar entre 1 y 100 ton/ha; de lo cual se puede inferir, la rápida propagación del fuego en un tiempo relativamente corto, requiriendo un control eficaz y oportuno, con el propósito de evitar que la conflagración alcance grandes extensiones.

Figura 4.34. **Susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal**



En la Tabla 4.41 se describen las características pirogénicas de las coberturas vegetales de la Cuenca Hidrográfica del río Piedras - río Manzanares y otros directos al Caribe, para cada categoría de susceptibilidad.

Tabla 4.41. Categoría de susceptibilidad por incendios forestales

Categoría	Símbolo	Descripción
Muy Alta		Corresponde a las zonas con cobertura vegetal tipo pasturas y/o hierbas, las cuales cuentan con un tiempo de ignición de 1 hora y presentan una carga de combustible que puede variar entre 1 y 100 ton/ha. Esta categoría es característica de coberturas, tales como: Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos o arbóreos, pastos limpios, enmalezados o arbolados, mosaico de pastos y cultivos y áreas turísticas y deportivas.
Alta		Hace referencia a las áreas con vegetación arbustiva, herbácea o arbolada, con un tiempo de combustión alrededor de 10 horas, las cuales presentan un contenido de biomasa que oscila entre 50 y 100 ton/ha. En esta categoría se pueden encontrar las siguientes coberturas: Herbazal denso de tierra firme, plátano y banano, cultivos transitorios, vegetación secundaria, café y arbustal denso.
Moderada		Corresponde a las zonas con cobertura vegetal arbolada, con un tiempo de combustión alrededor de 100 horas, las cuales presentan un contenido de biomasa que supera las 100 ton/ha. Esta categoría de susceptibilidad se presenta principalmente en los cultivos permanentes arbóreos, bosque fragmentado, bosque de galería y ripario alto, bosque denso inundable heterogéneo, bosque abierto bajo y en los espacios donde existe palma de aceite y cítricos.
Muy Baja		Corresponde a las áreas urbanas y zonas no combustibles tales como: Ríos, quebradas, tierras desnudas y degradadas, vías, tejido urbano continuo o discontinuo, playas, zonas industriales o comerciales, explotación de hidrocarburos y materiales de construcción, afloramientos rocosos y zonas con procesos de remoción en masa.

4.1.4. Susceptibilidad a Avenidas Torrenciales

Las avenidas torrenciales son una amenaza natural muy común y posiblemente la menos estudiada en Colombia; sin embargo, causan grandes pérdidas en vidas humanas e infraestructura. Solamente entre 1985 y 1995, más de 40 avenidas torrenciales altamente destructivas ocurrieron en el país, con más de 200 pérdidas de vidas humanas y cuantiosos daños a viviendas, sistemas de generación de energía, carreteras y tierras cultivables (INGEOMINAS, 1996).

El término avenida torrencial enmarca un gran número de flujos torrenciales o aumentos en el nivel del cauce con una mezcla heterogénea de solidos (sedimentos, vegetación) que se desplazan a gran velocidad normalmente donde se identifica cambios abruptos de pendiente. A partir del tipo de material presente se pueden definir una gran variedad de procesos teniendo en cuenta la heterogeneidad del flujo.

Estos fenómenos se originan comúnmente en ríos de montaña o en ríos cuyas cuencas presentan fuertes vertientes por efecto de fenómenos hidrometeorológicos intensos cuando en un evento de lluvias se superan valores de precipitación pico en pocas horas.

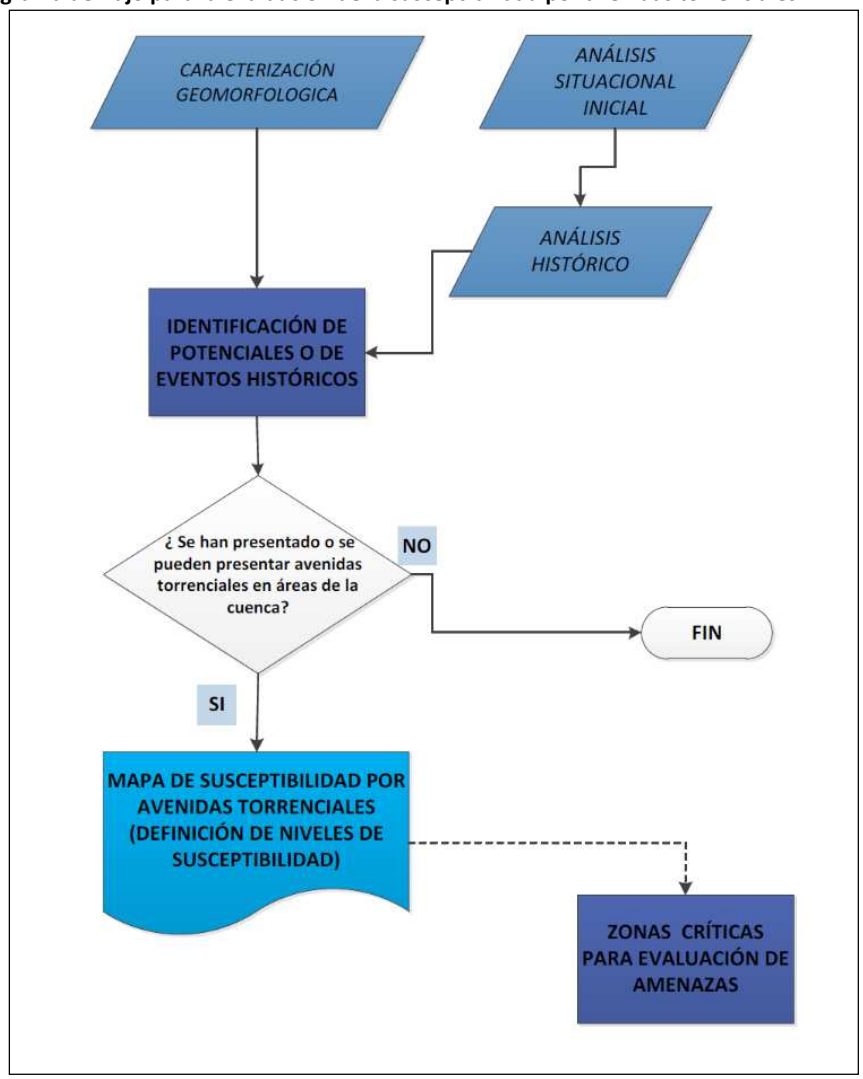
Esto genera la saturación de los materiales de las laderas facilitando el desprendimiento del suelo, produciéndose de esta manera numerosos desgarres superficiales y deslizamientos cuyo material cae al cauce y es transportado inmediatamente aguas abajo o queda inicialmente represado y luego, una vez que se rompe el represamiento, es transportado violentamente de forma repentina (Urrea, 1996, Rendón, 1997; OSSO – La Red, 2003; Castro, 2007). En otros casos puede que no haya rupturas en las vertientes de los ríos originados por la lluvia, simplemente el material que ya se encontraba en el cauce con mucha anterioridad es arrastrado aguas abajo por la creciente.

En la parte superior de las vertientes o zona de montaña, donde las corrientes están encajonadas, la avenida torrencial afecta usualmente un área pequeña a lo largo del cauce, pero una vez la pendiente disminuye en la zona de transición, el área afectada se incrementa debido a que se genera la depositación del material arrastrado formando los llamados conos o abanicos. Aunque es factible delimitar estos abanicos por las características geomorfológicas de la zona, no es posible definir un rumbo preciso para el flujo torrencial, ya que las obstrucciones y zonas de deposición que se producen durante el evento ocurren con un rumbo inestable e impredecible (Integral, 1990 en Urrea, 1996).

4.1.4.1. *Metodología para la evaluación y zonificación de la susceptibilidad por Avenidas Torrenciales*

La metodología utilizada para la evaluación y zonificación de la susceptibilidad por avenidas torrenciales en la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe, se siguieron los parámetros establecidos y procedimientos efectuados de forma sistemática para determinar la caracterización y análisis de la zonificación. El procedimiento realizado se condensa en la Figura 4.35, actividades realizadas a partir de la recopilación y evaluación de los eventos históricos integrándolos con la información obtenida en campo, caracterización geomorfológica y el análisis situacional realizado, siguiendo los pasos establecidos en el protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas.

Figura 4.35. Diagrama de flujo para la evaluación de la susceptibilidad por avenidas torrenciales



Fuente: Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas

4.1.4.2. *Resultados Obtenidos en el análisis de susceptibilidad de amenaza por Avenidas Torrenciales.*

Se realizaron análisis de imágenes satelitales para la determinación de áreas susceptibles a la ocurrencia de avenidas torrenciales, tomando esta información desde el componente geomorfológico en la calificación de la temática como se observa en la Figura 4.36, integrando esta con el reporte de las comunidades, datos recopilados en los diarios de ruta establecidos para la gestión del riesgo (Figura 4.37) donde se localizaron y se validaron con análisis geomorfológicos calificando las zonas susceptibles a presentar avenidas torrenciales en el área de la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al caribe.

Figura 4.36. Análisis de imágenes satelitales para la determinación de áreas ocurrentes a eventos por avenidas torrenciales

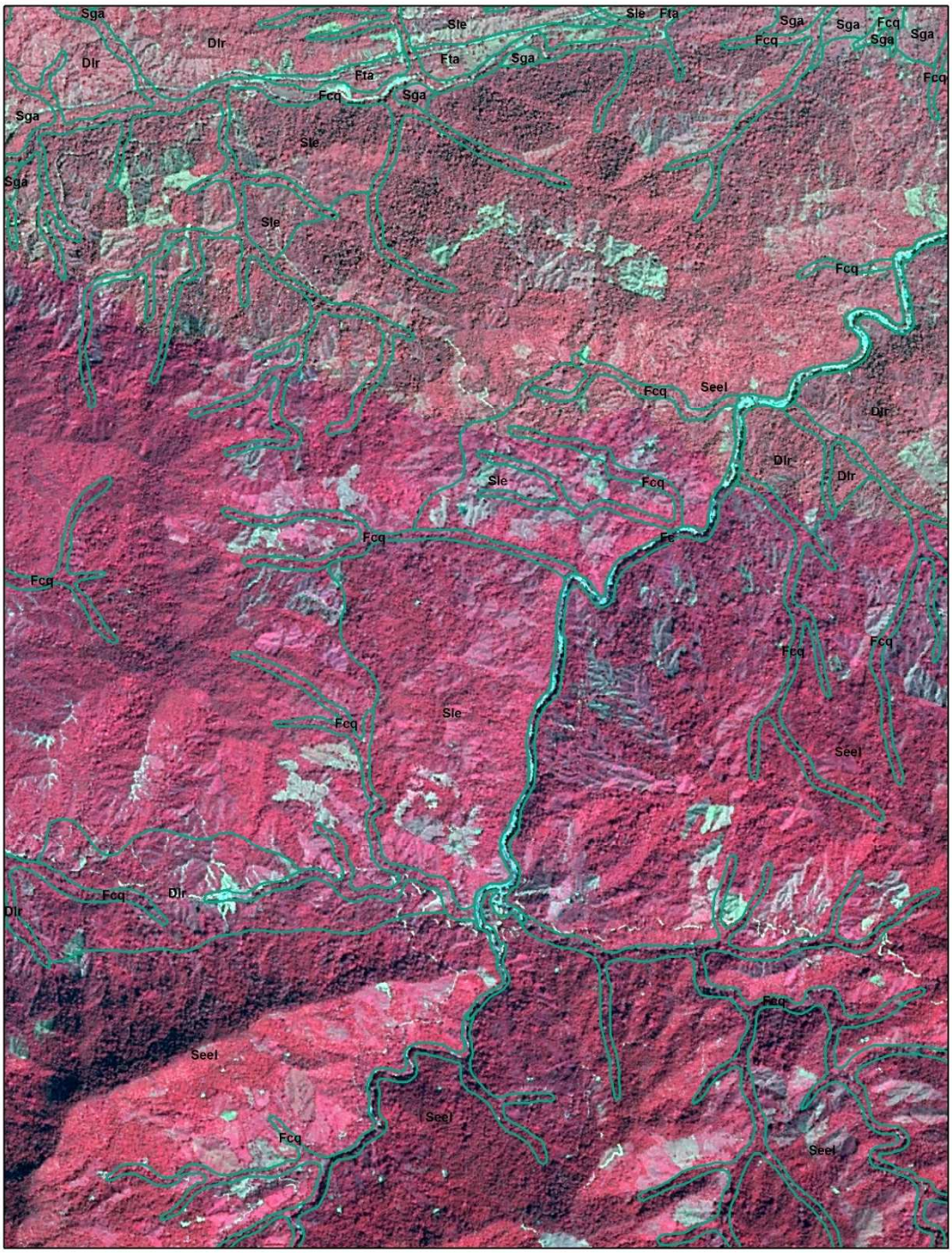
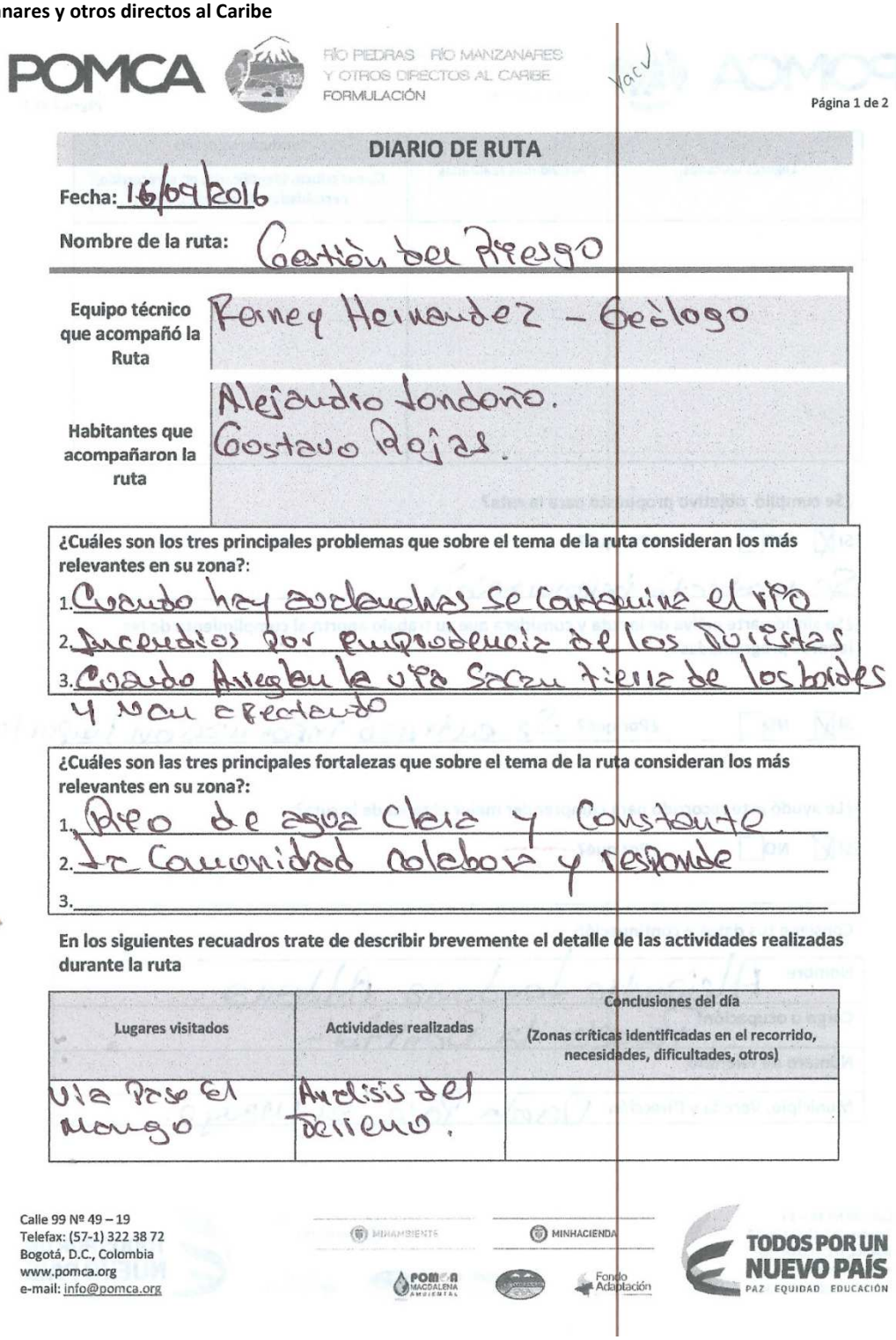


Figura 4.37. Diario de ruta establecido en la obtención de información aportada por las comunidades para la zonificación de susceptibilidad y amenaza por avenidas torrenciales para la Cuenca Hidrográfica del Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe



RÍO PIEDRAS – RÍO MANZANARES
Y OTROS DIRECTOS AL CARIBE
FORMULACIÓN

Página 1 de 2

DIARIO DE RUTA

Fecha: 16/09/2016

Nombre de la ruta: Gestión del Riesgo

Equipo técnico que acompañó la Ruta	Rorney Hernandez – Geólogo
Habitantes que acompañaron la ruta	Alejandro Londoño. Gustavo Rojas.

¿Cuáles son los tres principales problemas que sobre el tema de la ruta consideran los más relevantes en su zona?:

1. Cuando hay avalanchas se contamina el río
2. Incendios por imprudencia de los turistas
3. Cuando arreglan la vía sacan tierra de los bordes y no recogen

¿Cuáles son las tres principales fortalezas que sobre el tema de la ruta consideran los más relevantes en su zona?:

1. Río de agua clara y constante.
2. La Comunidad colabora y responde
3.

En los siguientes recuadros trate de describir brevemente el detalle de las actividades realizadas durante la ruta

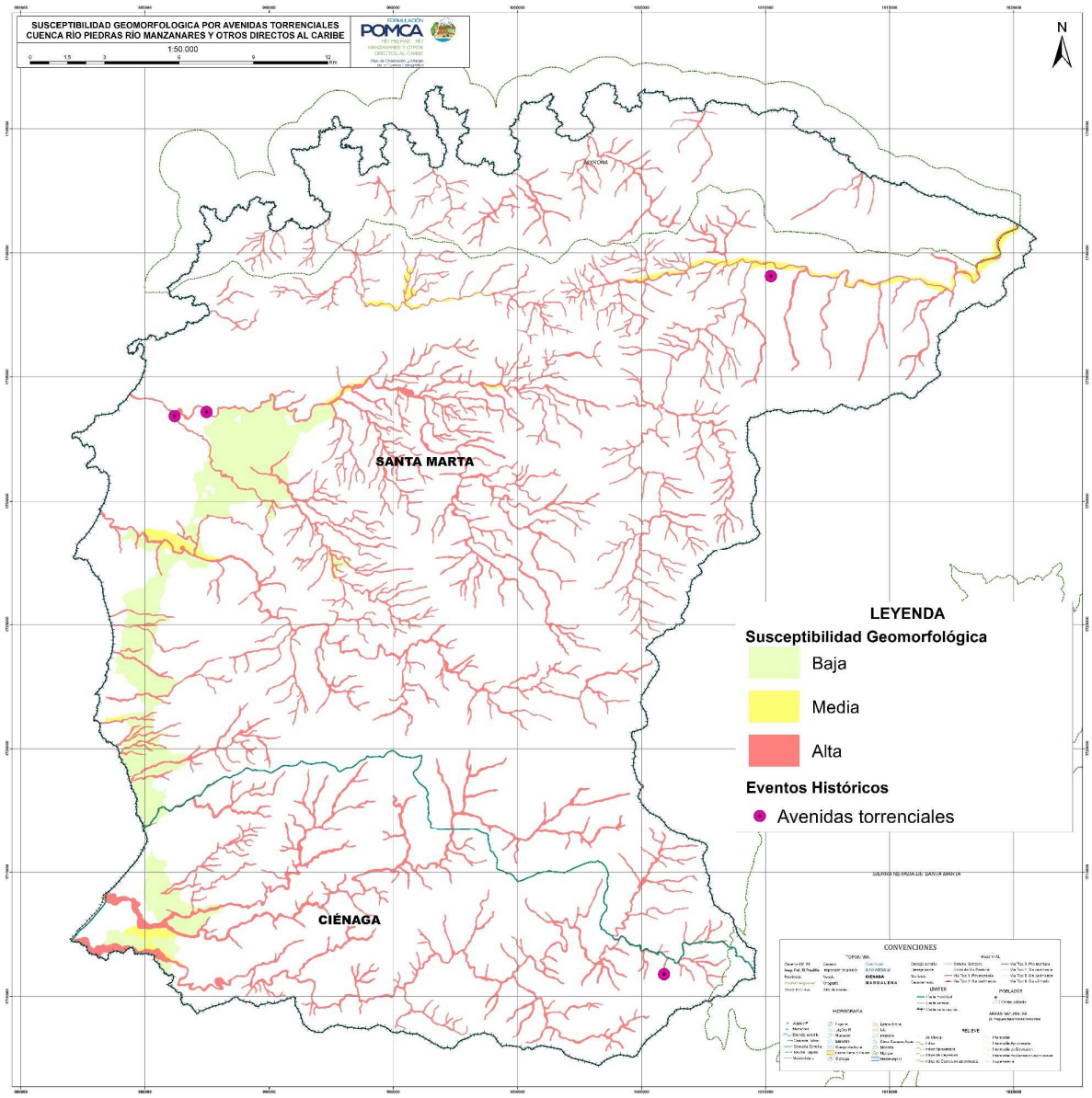
Lugares visitados	Actividades realizadas	Conclusiones del día (Zonas críticas identificadas en el recorrido, necesidades, dificultades, otros)
Vía Paso el Mango	Análisis del Terreno.	

Calle 99 Nº 49 – 19
Telefax: (57-1) 322 38 72
Bogotá, D.C., Colombia
www.pomca.org
e-mail: info@pomca.org

MINAMBIENTE MINHACIENDA TODOS POR UN NUEVO PAÍS PAZ EQUIDAD EDUCACIÓN

Tomando en consideración la anterior información, se realiza una superposición de la calificación geomorfológica y el reporte de eventos históricos recopilados a partir de las bases de datos como Desinventar, unidad nacional de gestión del riesgo y desastres, servicio geológico colombiano y reportes de las comunidades, tal como se muestra en la Figura 4.38.

Figura 4.38. Calificación de subunidades geomorfológicas integrada con el reporte de eventos históricos.



Al realizar el análisis en conjunto de la calificación geomorfológica y el reporte de eventos históricos los cuales pueden estar asociados a la dinámica erosiva de los afluentes presentes y las comunidades la toman como un proceso de avenida torrencial, aun cuando no lo sea. Se determinan las probables

áreas a recurrencia de avenidas torrenciales, las cuales presentan características similares por la morfología de la cuenca.

Para la determinación de los índices morfométricos de torrencialidad se obtiene de la relación de categorización de las variables de información hídrica de la cuenca como la escala y el área de la cuenca de drenaje (km^2) categorizándolas a partir de la densidad de drenaje (km/km^2), pendiente media de la cuenca (%) y el coeficiente de compacidad (Tabla 4.42).

Teniendo los valores promedio obtenidos de las variables anteriormente indicadas, donde se establecen 5 categorías, mientras estos valores sean mayores, determinara una mayor tendencia a presentar procesos por avenidas torrenciales permitiendo deducir una mayor vulnerabilidad a este tipo de procesos (Tomado y modificado de IDEAM, 2011e).

Tabla 4.42. Relaciones para categorizar el índice morfométrico para cada cuenca de segundo nivel subsiguiente

Índice morfométrico	Escala	Área de la cuenca de drenaje (km2)	Categorías				
			1	2	3	4	5
Densidad de drenaje (km/km2)	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	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: Rivas y Soto (2009)

Tabla 4.43. Índices morfométricos de torrencialidad obtenidos para la Cuenca Hidrográfica del Río Piedras- Río Manzanares y otros directos al Caribe

CODIGO	NOMBRE	AREA (km2)	COEFICIENTE DE COMPACIDAD	Densidad de drenaje	Pendiente media de la cuenca	Área cuenca (km2)	Categoría por drenaje	Categoría por pendiente	Categoría por coeficiente de compacidad	Índice morfométrico	
1501-0101	Río Córdoba-Sector Cordobita	22,07	2,18	28%	3,984	15-50	5-Muy Alta	2-Fuerte	1 - De Oval Oblonga a Rectangular Oblonga	521	Alta
1501-0102	Quebrada Lourdes y otros directos al Río	17,30	1,82	55%	5,004	15-50	5-Muy Alta	4-Escarpado	1 - De Oval Oblonga a Rectangular Oblonga	541	Alta

CODIGO	NOMBRE	AREA (km2)	COEFICIENTE DE COMPACIDAD	Densidad de drenaje	Pendiente media de la cuenca	Área cuenca (km2)	Categoría por drenaje	Categoría por pendiente	Categoría por coeficiente de compacidad	Índice morfométrico	
	Córdoba (mi)										
1501-0103	Quebrada La Sierrita	15,50	1,38	50%	3,363	15-50	5-Muy Alta	3-Muy Fuerte	2 - De Oval Redonda a Oval Oblonga	532	Alta
1501-0104	Río Córdoba-Sector Agualinda	52,12	1,27	56%	2,588	>50	5-Muy Alta	4-Escarpado	3 - De Oval Redonda a Oval Oblonga	543	Alta
1501-0105	Quebrada El Quindío y otros directos al Río Córdoba (md)	18,35	1,97	53%	4,601	15-50	5-Muy Alta	4-Escarpado	1 - De Oval Oblonga a Rectangular Oblonga	541	Alta
1501-0201	Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe	17,95	2,10	32%	4,769	15-50	5-Muy Alta	2-Fuerte	1 - De Oval Oblonga a Rectangular Oblonga	521	Alta
1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel	56,95	1,33	48%	2,593	>50	5-Muy Alta	4-Escarpado	3 - De Oval Redonda a Oval Oblonga	543	Alta
1501-0203	Quebrada Marinca	25,26	1,89	35%	5,111	15-50	5-Muy Alta	2-Fuerte	1 - De Oval Oblonga a Rectangular Oblonga	521	Alta
1501-0204	Quebrada El Guayabo	12,26	1,49	20%	4,307	<15	5-Muy Alta	2-Fuerte	2 - De Oval Redonda a Oval Oblonga	522	Alta
1501-0301	Quebrada El Doctor	12,09	1,44	31%	5,106	<15	5-Muy Alta	2-Fuerte	2 - De Oval Redonda a Oval Oblonga	522	Alta
1501-0302	Quebrada Don Jaca	13,28	1,54	34%	4,496	<15	5-Muy Alta	2-Fuerte	1 - De Oval Oblonga a Rectangular Oblonga	521	Alta
1501-0303	Quebrada El Ébano y otros directos al Caribe	31,64	1,35	19%	3,099	15-50	5-Muy Alta	1-Accidentado	3 - De Oval Redonda a Oval Oblonga	513	Moderada

CODIGO	NOMBRE	AREA (km2)	COEFICIENTE DE COMPACIDAD	Densidad de drenaje	Pendiente media de la cuenca	Área cuenca (km2)	Categoría por drenaje	Categoría por pendiente	Categoría por coeficiente de compacidad	Índice morfométrico	
1501-0401	Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi)	40,88	2,12	30%	4,111	15-50	5-Muy Alta	2-Fuerte	1 - De Oval Oblonga a Rectangular Oblonga	521	Alta
1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca	43,66	1,43	45%	2,661	15-50	5-Muy Alta	3-Muy Fuerte	2 - De Oval Redonda a Oval Oblonga	532	Alta
1501-0403	Directos al río Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)	29,25	2,42	24%	4,105	15-50	5-Muy Alta	2-Fuerte	1 - De Oval Oblonga a Rectangular Oblonga	521	Alta
1501-0501	Río Manzanares en Santa Marta	45,79	1,84	20%	2,708	15-50	5-Muy Alta	2-Fuerte	1 - De Oval Oblonga a Rectangular Oblonga	521	Alta
1501-0502	Quebrada Tamaca	42,68	1,69	23%	3,814	15-50	5-Muy Alta	2-Fuerte	1 - De Oval Oblonga a Rectangular Oblonga	521	Alta
1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta	84,47	1,65	30%	3,075	>50	5-Muy Alta	2-Fuerte	1 - De Oval Oblonga a Rectangular Oblonga	521	Alta
1501-0504	Quebrada Matogiro (Donama)	29,25	1,31	29%	4,064	15-50	5-Muy Alta	2-Fuerte	3 - De Oval Redonda a Oval Oblonga	523	Alta
1501-0600	Quebrada Concha	53,57	2,08	32%	3,750	>50	5-Muy Alta	3-Muy Fuerte	1 - De Oval Oblonga a Rectangular Oblonga	531	Alta
1501-0701	Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe	36,33	2,51	38%	2,278	15-50	4-Alta	3-Muy Fuerte	1 - De Oval Oblonga a Rectangular Oblonga	431	Moderada
1501-0702	Quebrada Cinto y otros directos al Caribe	24,53	1,69	42%	3,083	15-50	5-Muy Alta	3-Muy Fuerte	1 - De Oval Oblonga a Rectangular Oblonga	531	Alta

CODIGO	NOMBRE	AREA (km2)	COEFICIENTE DE COMPACIDAD	Densidad de drenaje	Pendiente media de la cuenca	Área cuenca (km2)	Categoría por drenaje	Categoría por pendiente	Categoría por coeficiente de compacidad	Índice morfométrico	
1501-0703	Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe	41,95	1,79	34%	1,213	15-50	2-Moderada	2-Fuerte	1 - De Oval Oblonga a Rectangular Oblonga	221	Baja
1501-0801	Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe	81,58	1,56	30%	1,320	>50	2-Moderada	2-Fuerte	1 - De Oval Oblonga a Rectangular Oblonga	221	Baja
1501-0802	Quebrada Jordán	29,73	1,49	28%	3,091	15-50	5-Muy Alta	2-Fuerte	2 - De Oval Redonda a Oval Oblonga	522	Alta
1501-0803	Río Piedras entre la Cuchilla de San Lorenzo y San Isidro	34,80	1,29	55%	2,752	15-50	5-Muy Alta	4-Escarpado	3 - De Oval Redonda a Oval Oblonga	543	Alta
1501-0804	Quebrada La Lisa	14,76	1,39	52%	3,239	<15	5-Muy Alta	4-Escarpado	2 - De Oval Redonda a Oval Oblonga	542	Alta

El índice de variabilidad se obtiene de la curva de duración de caudales, donde se identifica como es la variabilidad de los caudales en el área de la cuenca y a partir de allí analizar la capacidad de transporte en los mismos. 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 expresión:

$$\text{Índice de variabilidad} = (\text{Log}(Qi) - \text{Log}(Qf)) / (\text{Log}(Xi) - \text{Log}(Xf))$$

Donde, Qi y Qf representan dos caudales tomados de la curva de duración de caudales, y Xi y Xf los porcentajes de tiempo en que se exceden los caudales Qi y Qf, respectivamente como se muestra en la Tabla 4.44 (IDEAM 2013).

Tabla 4.44. Clasificación del Índice de Variabilidad

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

El índice de vulnerabilidad 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 (IDEAM 2013). En la Tabla 4.45 se muestra la clasificación de los índices de vulnerabilidad a eventos torrenciales el cual se expresa a partir de la integración de los índices morfométricos y de variabilidad teniendo en cuenta las categorizaciones presentes en cada uno de los índices.

Tabla 4.45. 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	Baja	Baja	Media	Alta	Alta
Baja	Baja	Media	Media	Alta	Muy alta
Media	Baja	Media	Alta	Alta	Muy alta
Alta	Media	Media	Alta	Muy alta	Muy alta
Muy alta	Media	Alta	Alta	Muy alta	Muy alta

Fuente: IDEAM, 2013.

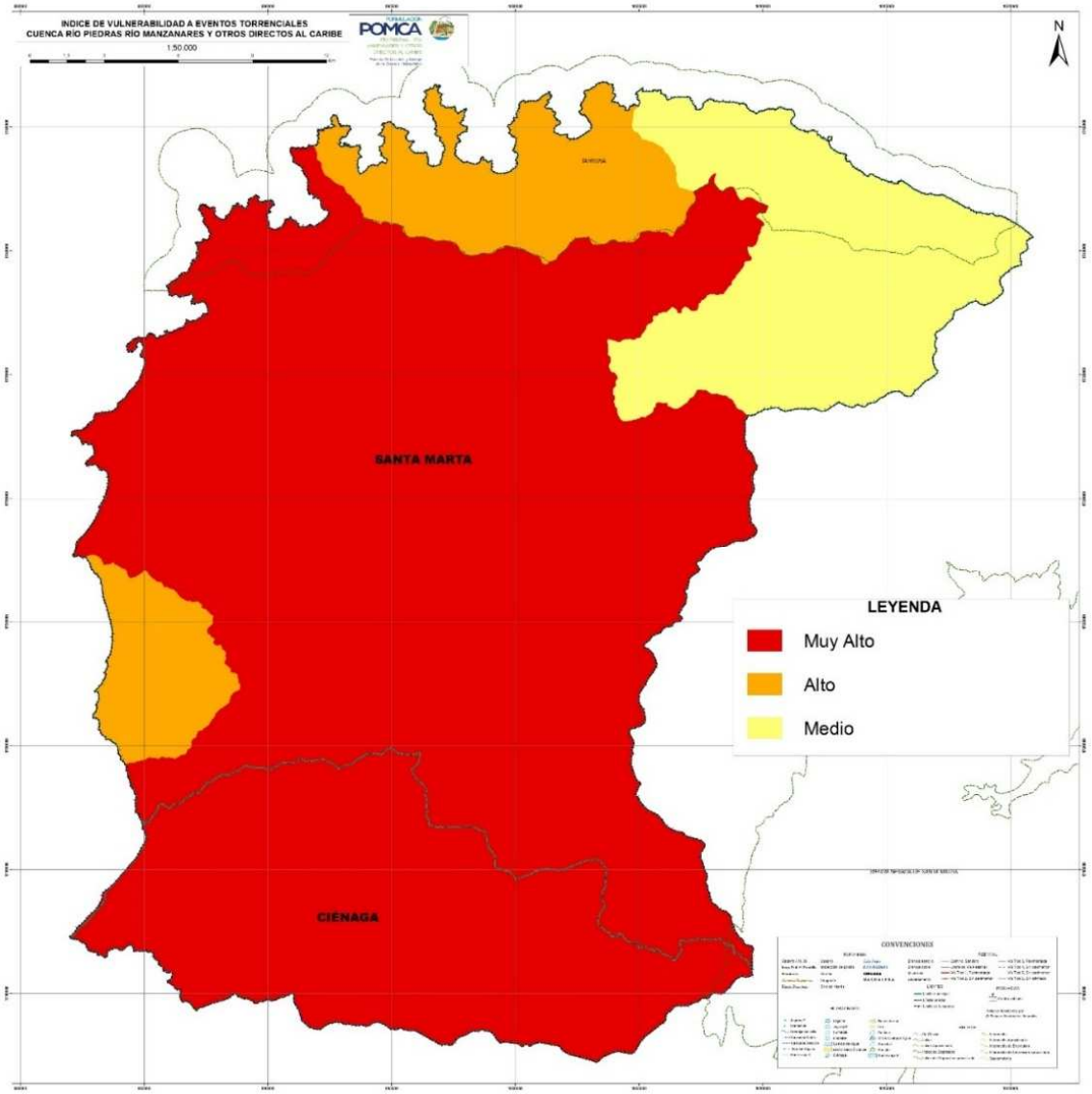
En la determinación de los índices morfométricos y de variabilidad, se obtiene el índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales (IVET) para las cuencas de segundo nivel subsiguiente en el área de la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe (Tabla 4.46 y Figura 4.39).

Tabla 4.46. Índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales (IVET) para el área de la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe.

CODIGO	NOMBRE	AREA (km2)	Índice morfométrico		Índice de Variabilidad		IVET
1501-0101	Río Córdoba-Sector Cordobita	22,0701522	521	Alta	61,94	Muy alta	Muy alta
1501-0102	Quebrada Lourdes y otros directos al Río Córdoba (mi)	17,3031963	541	Alta	61,94	Muy alta	Muy alta
1501-0103	Quebrada La Sierrita	15,500763	532	Alta	61,94	Muy alta	Muy alta
1501-0104	Río Córdoba-Sector Agualinda	52,1178604	543	Alta	61,94	Muy alta	Muy alta
1501-0105	Quebrada El Quindío y otros directos al Río Córdoba (md)	18,3526727	541	Alta	61,94	Muy alta	Muy alta
1501-0201	Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe	17,9480318	521	Alta	62,36	Muy alta	Muy alta
1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel	56,9466698	543	Alta	62,36	Muy alta	Muy alta
1501-0203	Quebrada Marinca	25,2559485	521	Alta	62,36	Muy alta	Muy alta
1501-0204	Quebrada El Guayabo	12,2622781	522	Alta	62,36	Muy alta	Muy alta

CODIGO	NOMBRE	AREA (km2)	Índice morfométrico		Índice de Variabilidad		IVET
1501-0301	Quebrada El Doctor	12,0930337	522	Alta	50,655	Alta	Muy alta
1501-0302	Quebrada Don Jaca	13,2784132	521	Alta	53,82	Alta	Muy alta
1501-0303	Quebrada El Ébano y otros directos al Caribe	31,6370712	513	Moderada	46,97428711	Media	Alta
1501-0401	Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi)	40,882695	521	Alta	52,0997701	Alta	Muy alta
1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca	43,6641402	532	Alta	52,0997701	Alta	Muy alta
1501-0403	Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)	29,2483121	521	Alta	52,0997701	Alta	Muy alta
1501-0501	Río Manzanares en Santa Marta	45,7880977	521	Alta	50,008	Alta	Muy alta
1501-0502	Quebrada Tamacá	42,6815202	521	Alta	50,008	Alta	Muy alta
1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta	84,4700824	521	Alta	50,008	Alta	Muy alta
1501-0504	Quebrada Matogiro (Donama)	29,2453625	523	Alta	50,008	Alta	Muy alta
1501-0600	Quebrada Concha	53,5734417	531	Alta	61,320	Muy alta	Muy alta
1501-0701	Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe	36,3306826	431	Moderada	40,19074569	Media	Alta
1501-0702	Quebrada Cinto y otros directos al Caribe	24,5261179	531	Alta	40,85215625	Media	Alta
1501-0703	Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe	41,9485222	221	Baja	41,04496359	Media	Media
1501-0801	Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe	81,5803462	221	Baja	50,8	Alta	Media
1501-0802	Quebrada Jordán	29,7284956	522	Alta	50,8	Alta	Muy alta
1501-0803	Río Piedras entre la Cuchilla de San Lorenzo y San Isidro	34,7963014	543	Alta	50,8	Alta	Muy alta
1501-0804	Quebrada La Lisa	14,7642832	542	Alta	50,8	Alta	Muy alta

Figura 4.39. Índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales.



A partir del análisis de la calificación geomorfológica teniendo en cuenta las subunidades que presentan un nivel de susceptibilidad a la ocurrencia de avenidas torrenciales se analizaron las principales formas del terreno asociadas a ambientes morfogenéticos de origen fluvial, con esto se integró los índices de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales (IVET) para cada cuenca de segundo nivel subsiguiente y los eventos históricos reportados, de acuerdo a esto se interpretaron los parámetros establecidos haciendo una relación de la información como se muestra en la Tabla 4.47, determinando la susceptibilidad de amenaza por avenidas torrenciales para la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe.

Tabla 4.47. Clasificación de la susceptibilidad de amenaza por avenidas torrenciales

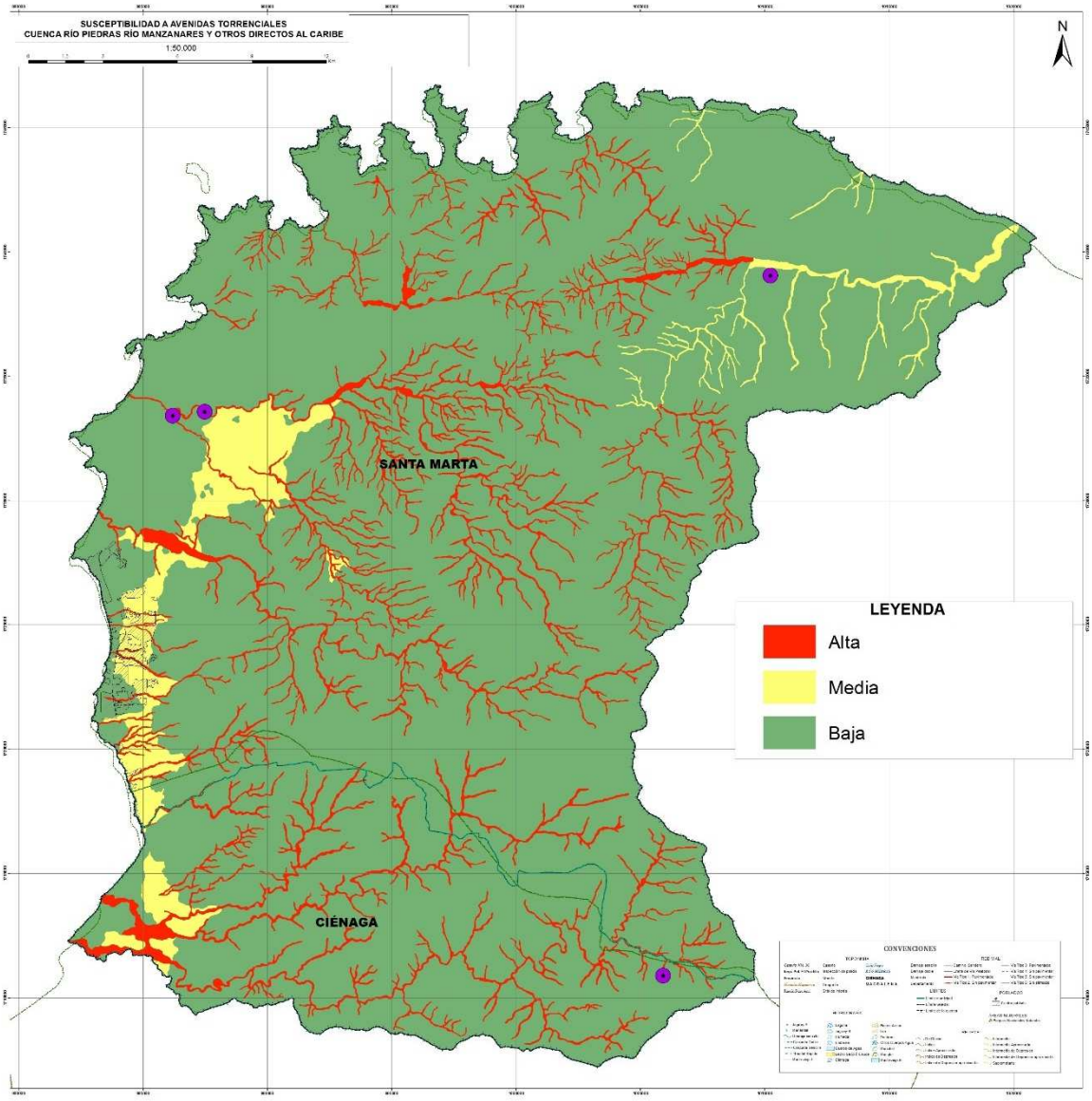
AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES				
Calificación de subunidades geomorfológicas susceptibles a eventos torrenciales	**IVET**			
	Baja	**Media**	**Alta**	**Muy Alta**
Nula	Nula	Baja	Baja	Baja
Baja	Baja	Baja	Media	Media
Media	Baja	Media	Media	Alta
Alta	Media	Media	Alta	Alta

Clasificación realizada a partir de la calificación geomorfológica, eventos históricos reportados y el análisis de imágenes integrada con el índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales (IVET) para la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe.

A partir de la integración de la información temática obtenida y su respectivo procesamiento se identificaron 2 categorías de amenaza, obteniendo así la zonificación de susceptibilidad por avenidas torrenciales (Figura 4.40).

En el Anexo 11 se presenta el mapa de Susceptibilidad a avenidas torrenciales para la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe.

Figura 4.40. Susceptibilidad a avenidas torrenciales para la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe.



La susceptibilidad de amenaza por avenidas torrenciales en el área de la Cuenca Hidrográfica del Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe presentan categoría alta en los sectores donde se identificaron los cauces de quebradas, planicies de inundación y cuencas de decantación, localizada en toda el área de la cuenca, en mayor extensión sobre los ríos Toribio, Córdoba, Manzanares, Minca, Bonda y Piedras. Se presenta categoría media en geoformas asociadas a terrazas con depósitos de origen aluvial, localizada en el sector de Mamonal y Jolonura en el municipio de Ciénaga; corregimientos de Minca y Bonda, valle de Gaira y en sectores del corregimiento de Guacháca sobre el valle del río Piedras correspondientes al distrito de Santa Marta.

Se localiza categoría baja en los sectores de Mamonal y Jolonura en el municipio de Ciénaga; En el distrito de Santa Marta hacia el valle de Gaira y corregimientos de Minca y Bonda calificada por geoformas como abanicos (partes proximal, medial y distal).

4.1.5. Susceptibilidad a Otros eventos

En la Identificación, Clasificación y Caracterización de los Fenómenos amenazantes y la Evaluación de la Amenaza para la Cuenca Hidrográfica del Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe, no se incluye dentro de los alcances técnicos realizar el análisis de susceptibilidad, ni la definición de zonas críticas para otros eventos amenazantes, por lo tanto, los eventos amenazantes, definidos en el numeral 2.3.5 como otros eventos, se presentaran directamente dentro de la Evaluación y Zonificación de la Amenaza. Por lo tanto, no se desarrolla una metodología para su análisis de susceptibilidad, ni tampoco se definen zonas críticas para ellos.

Los eventos que se referenciaran en el numeral 3.3. Son: Sequía, Erosión costera, Sismos, Marejadas, Tempestad y Vendaval. Respecto a la sequía, de acuerdo con la metodología para el análisis de esta amenaza: índice estandarizado de precipitación (SPI), no es posible determinar un nivel de susceptibilidad antes de realizar la zonificación de la amenaza; es decir, que este método directamente entrega valores de amenaza, pero no de susceptibilidad. Por lo tanto, el tema de sequía se expone en el numeral 4.3.5, dentro de la evaluación y zonificación de la amenaza.

En cuanto a sismos, en términos de susceptibilidad, no es sencillo delimitar una zonificación para este tipo de fenómenos, y tanto el alcance de este documento como los insumos que se tienen para poder realizar un análisis de la susceptibilidad por sismos, dentro de la cuenca no permiten la rigurosidad que requiere un estudio de este tipo. Sin embrago, existe documentación confiable, que a nivel regional aporta al conocimiento sobre estos fenómenos desde la amenaza; por ello, no se profundiza en el desarrollo de una metodología para análisis de susceptibilidad, ni para la definición de áreas críticas, sino más bien se presentan los resultados del Mapa de Amenaza sísmica de Colombia, realizado por SGC y otras entidades quienes tienen las herramientas tecnológicas y científicas para determinar esta zonificación (ver numeral 3.3.5.3).

Respecto a Erosión costera, Sismos, Marejadas, Tempestad y Vendaval se presentar una breve referencia adaptada de la información secundaria disponible para esta zona.

4.2. DEFINICIÓN DE ÁREAS CRÍTICAS

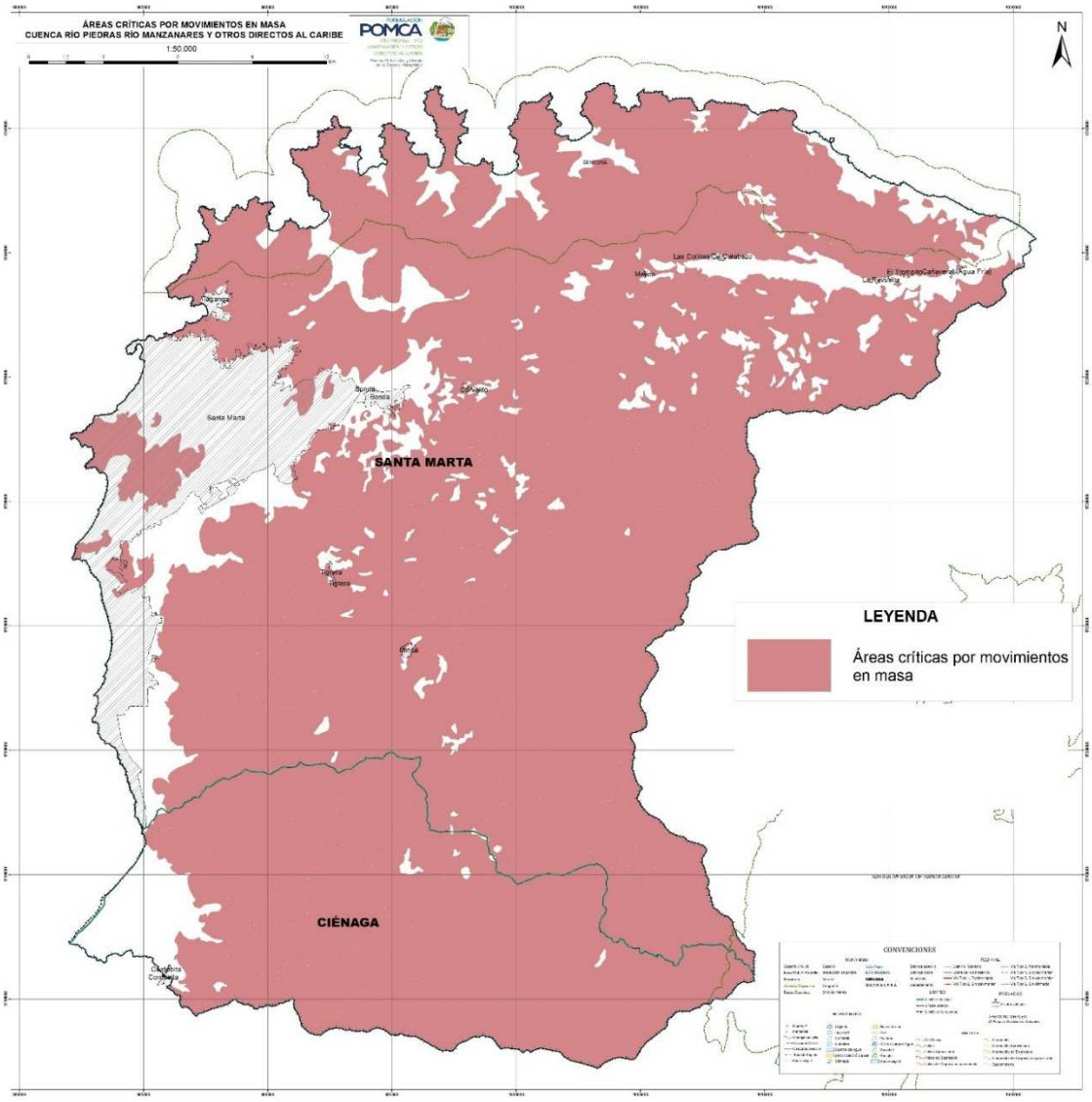
La definición de áreas críticas es el paso intermedio entre el análisis de susceptibilidad y la evaluación y zonificación de las amenazas; consolida los resultados del primer ítem, y determina las zonas críticas que se procesaran dentro de la zonificación de amenazas para cada uno de los tipos de eventos amenazantes definidos en el documento de alcances técnicos. En este documento se presenta la definición de zonas críticas únicamente para: Movimientos en masa, Inundaciones, Incendios Forestales y Avenidas torrenciales.

4.2.1. Áreas Críticas por Movimientos en masa

Luego de realizar el análisis para la zonificación de susceptibilidad de amenaza por movimientos en masa y de contrastar esta información con las comunidades durante el panel de expertos en gestión

del Riesgo llevado a cabo en el municipio de Santa Marta y los talleres de diagnóstico realizado con actores relacionados con el componente (Entes gubernamentales, sectores productivos, ONG ambientales), se confirmó y corroboro los resultados obtenidos para la Cuenca hidrográfica río Piedras – río Manzanares y Otros Directos al Caribe, donde resaltaron el detalle de la información obtenida y redefinieron algunas zonas críticas (Figura 4.41), las cuales no difieren de la zonificación final.

Figura 4.41. **Salida cartográfica que muestra la percepción de los actores sociales frente a la zonificación de susceptibilidad por Movimientos en masa**



4.2.2. Áreas Críticas por Inundaciones

Los resultados de la zonificación por susceptibilidad a inundaciones fueron validados por los actores sociales de la cuenca durante el panel de gestión del riesgo; apreciación, que no dista mucho de los resultados obtenidos en el análisis técnico para susceptibilidad, donde como ya se mencionó se definieron sectores de alta, media, baja y nula susceptibilidad a inundaciones.

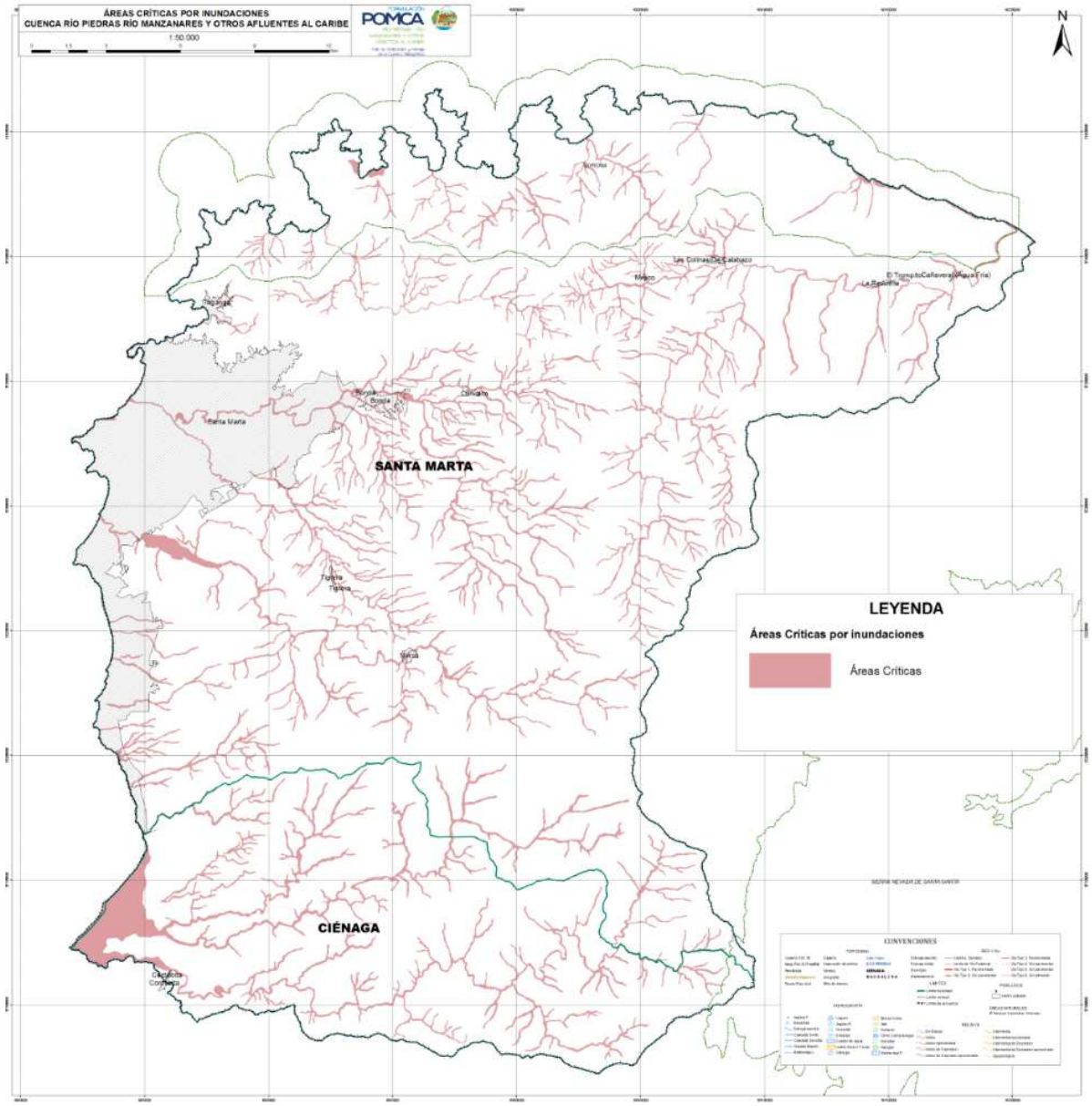
Luego del análisis contrastado de las diferentes fuentes de información, se definió el mapa de áreas críticas por inundación dando como resultado que el 8,80% del área total de la cuenca se encuentra en zona crítica frente a este fenómeno, mientras que el 91,20% restante, corresponde a zonas en las que usualmente no sufren afectaciones significativas por este tipo de eventos (Ver Figura 4.43).

Figura 4.42. **Inundación Santa Marta, 2010**



La creciente súbita del río Manzanares y la quebrada Tamacá provocó inundaciones en los sectores de Simón Bolívar, Pamplonita, Las Malvinas, Villa del Carmen, Salamanca, Timayuí, La Lucha, María Eugenia y Las Vegas. Fuente: http://romerovill.blogspot.com.co/

Figura 4.43. **Área crítica por inundación en la Cuenca Hidrográfica del Río Piedras- Río Manzanares y Otros Directos al Caribe**



4.2.3. Áreas Críticas por Incendios forestales

Las áreas críticas por incendios son el resultado del contraste entre la información aportada por los actores estratégicos durante el panel de gestión del riesgo y los condensado en el análisis de susceptibilidad. Los habitantes de la cuenca, identificaron como zonas de alta susceptibilidad por incendios, cerro Kennedy, cerro Ziruma, veredas Cordobita y Minca.

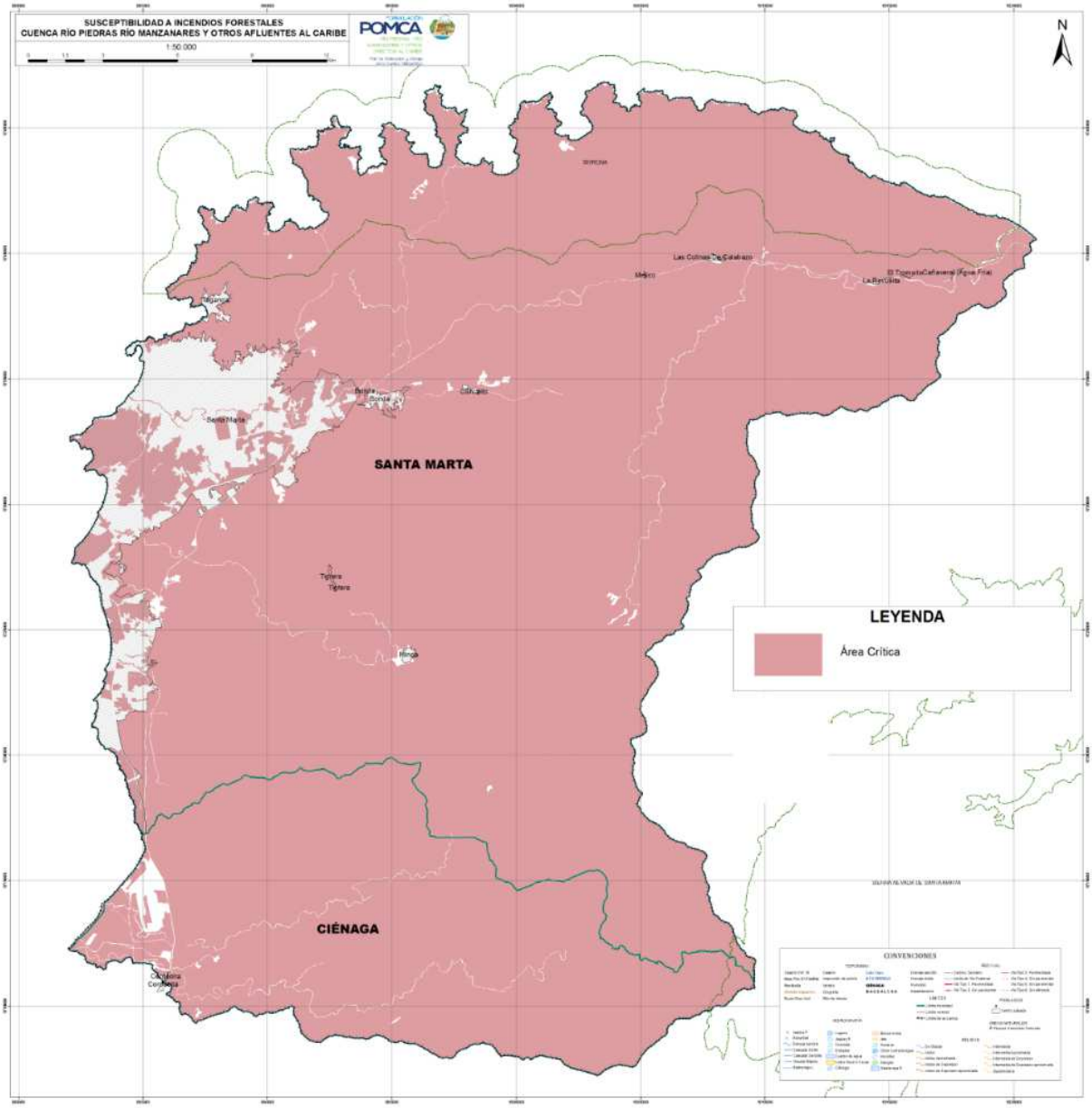
Figura 4.44. **Incendio forestal en Minca**



Marzo 26 de 2016. Tomada de: http://www.elinformador.com.co/index.php/el-magdalena/81-distrito/122562-incendio-forestal-en-minca-dejo-varias-hectareas-consumidas

Es así, como el análisis de todas las fuentes de información permitió definir las zonas de alta criticidad, en las cuales se evaluará y zonificará la amenaza, para el 94,26% del área total del territorio. Como se puede evidenciar en la Figura 4.45, las zonas críticas por incendios forestales son coincidentes con las áreas de alta y moderada susceptibilidad descritas en el numeral 4.1.4 del presente documento.

Figura 4.45. **Áreas críticas por incendios forestales en la Cuenca Hidrográfica Río Piedras - Río Manzanares y Otros directos al Caribe**

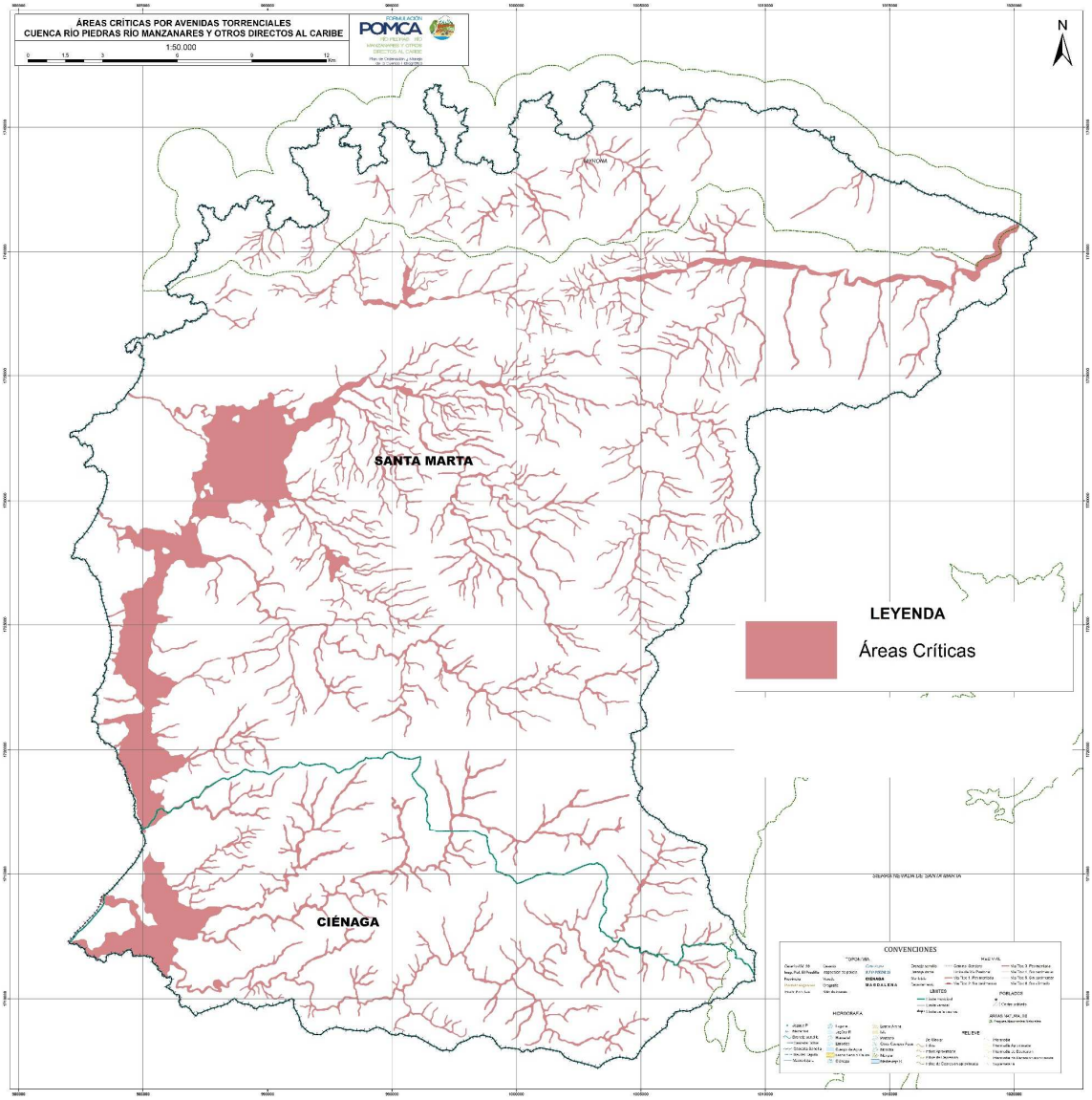


4.2.4. Áreas críticas por Avenidas Torrenciales

La información obtenida para la zonificación de susceptibilidad por avenidas torrenciales fue verificada por los diferentes actores sociales presentes en la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe durante el panel de gestión del Riesgo llevado a cabo en la ciudad de Santa Marta, donde se obtuvo la percepción y complementación de la información delimitando de forma social algunas afectaciones apreciativas por los actores, los cuales se integran

con los resultados obtenidos los cuales no difieren en la zonificación de susceptibilidad como se muestra en la Figura 4.46.

Figura 4.46. **Áreas críticas por avenidas torrenciales en la Cuenca Hidrográfica Río Piedras - Río Manzanares y Otros directos al Caribe**



El mapa de áreas críticas por avenidas torrenciales permite visualizar que el 12,31 % del área total de la cuenca se encuentra en zona crítica frente a este fenómeno, mientras que el 87,69% restante, no presenta ningún tipo de amenaza relacionada con estos eventos.

4.2.5. Áreas críticas por Otros eventos

Los fenómenos de Sequía, Erosión costera, Sismos, Marejadas Tempestad y Vendaval corresponden a eventos a los cuales no se les puede dar un tratamiento detallado dentro de este documento en lo referente al análisis de susceptibilidad, por lo mismo, no es posible identificar áreas críticas para ellos y por tanto no se describen en este numeral, sino que se presentan de forma general directamente dentro de la Evaluación y zonificación de la amenaza.

4.3. EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA

El tercer ítem dentro del proceso de identificación, clasificación y caracterización de fenómenos amenazantes y evaluación de la amenaza correspondiente con la Evaluación y zonificación de la Amenaza, propiamente dicha, se presenta a continuación, para los tipos de eventos que siguiendo la guía de análisis dada en el Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas (2014), fueron catalogados como críticos dentro del área de la cuenca, estos corresponden a Movimientos en Masa, Inundaciones, Avenidas Torrenciales e Incendios Forestales. Adicionalmente, y como se explicó antes, otros eventos como Sequias, Erosión costera, Sismos, Marejadas Tempestades y Vendavales, que no hacen parte de los tipos de eventos objeto de análisis también se referirán dado que son considerados por las comunidades habitantes en la cuenca como eventos generadores de riesgo.

Es importante conocer la definición de Amenaza, este término hace referencia Condición latente derivada de la posible ocurrencia de un fenómeno físico de origen natural, que puede causar daño a la población y sus bienes, la infraestructura, el ambiente, y la economía pública y privada[8].

La Evaluación de amenazas, se centra en la valoración de la probabilidad de ocurrencia de los fenómenos naturales potencialmente dañinos en el territorio, considerando diferentes escenarios o factores detonantes; de este modo, se logra una apreciación de las posibles consecuencias que se puedan dar sobre el área de estudio al determinar algún tipo de uso en las zonas catalogadas dentro de los diferentes grados de amenaza frente a uno u otro evento, convirtiéndose la síntesis de este análisis en soporte esencial de los procesos de planificación para el desarrollo de una cuenca.

4.3.1. Amenaza por Movimientos en masa

4.3.1.1. *Resumen*

Para la zonificación de amenaza por movimientos en masa de la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe, se aplicó una metodología basada en análisis de estabilidad de taludes por el método de talud infinito, a partir del cual se calculó la probabilidad de falla de las laderas, definiendo finalmente las categorías de amenaza.

El principal insumo para la zonificación de amenaza es el mapa de unidades geológicas superficiales, en cuyos atributos se presentan las características geológico-geotécnicas de los materiales presentes en la zona de estudio. Posteriormente, para determinar la estabilidad de las laderas se

[8] Metodologías de análisis de Riesgo. Resolución 004/09 del FOPAE. Alcaldía Mayor de Bogotá. 2014

combinaron análisis espaciales y cálculos estadísticos para la simulación de las distribuciones de probabilidad de cada uno de los escenarios establecidos.

Para la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe se determinaron 3 grados de amenaza por movimientos en masa, donde la categoría de amenaza alta se distribuye en un 19,90%, la amenaza media un 18,54% y la amenaza baja en 61,16% siendo la categoría con mayor distribución en el área total de la cuenca.

En el siguiente numeral se presenta, el proceso metodológico y los resultados obtenidos de su aplicación en la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe.

4.3.1.2. *Metodología para la Evaluación y zonificación de la amenaza por movimientos en masa en la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al caribe*

El desarrollo metodológico de la zonificación de amenaza por movimientos en masa, está fundamentado en el numeral 3.4.1 del Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas; en el cual, se analizan solamente las áreas categorizadas como de susceptibilidad media y alta, mediante un análisis determinístico.

El análisis determinístico tiene como base los modelos hidrológicos y de estabilidad que consideran la información detallada de las pendientes fundadas en la mecánica de suelos. Éste método, busca eliminar la subjetividad cuantificando los grados de riesgo en valores absolutos (Barredo et al., 2000). Es un modelo que incluye gran variedad de parámetros geotécnicos, supeditando su desempeño a la calidad y cantidad de los datos recolectados. Para la cuenca objeto de ordenación, se considera el equilibrio mecánico de una ladera, en términos de un parámetro denominado factor de seguridad (FS), en el cual se comparan las fuerzas que tienden a desestabilizarla y las fuerzas que resisten la inestabilidad (Cheng & Lau, 2008). Basado en el FS, un talud es inestable cuando las fuerzas que resisten son superadas por las que desestabilizan, es decir si el FS < 1. De otra manera, si las fuerzas consideradas son iguales, el FS = 1, se encuentra en un equilibrio límite.

Uno de los métodos de mejor implementación para el cálculo del FS en zonificaciones y análisis de estabilidad de laderas homogéneas, es el método de talud infinito, el cual se puede aplicar a una unidad de trabajo tipo celda, la cual contiene tanto las características geométricas del talud, como sus propiedades geo mecánicas (SGC, 2015). En la Figura 4.47 se presenta el mapa conceptual para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa.

Figura 4.47. Esquema para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa para la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe.



Fuente: Adaptado del protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los POMCA, 2014.

A partir de las zonas críticas obtenidas en el numeral 4.2.1 donde se realiza la evaluación de susceptibilidad de amenaza por movimientos en masa en las categorías media y alta y, teniendo la cartografía de unidades geológicas superficiales, se determinaron los parámetros geológico – geotécnicos[9] del comportamiento de las rocas y suelos (depósitos) en el área de la cuenca Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe.

- Espesor promedio del suelo y/o depósito (h)
- Cohesión (c')
- Peso Unitario del suelo (ɣ)
- Ángulo de Fricción (Ø')
- Nivel Freático

Estos parámetros se obtuvieron a partir del mapa de unidades geológicas superficiales para cada uno de los materiales superficiales presentes en el área de la cuenca como se muestra en la Tabla 4.48, atributos que se espacializan en la Figura 4.48 (Cohesión), Figura 4.49 (Peso Unitario) y en la Figura 4.50 (Ángulo de fricción).

[9] Se tomaron valores de referencia para los parámetros geológico-geotécnicos, de acuerdo con la revisión bibliográfica.

Tabla 4.48. Parámetros Geológico – Geotécnicos obtenidos para las unidades geológicas superficiales en la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe

Nombre UGS	Unidad	Descripción	Intercepto de cohesión C' (KN/m2)	Ángulo de fricción ϕ' (Grados)	Peso unitario húmedo de la capa de suelo (KN/m3)
Roca Blanda del Batolito de Santa Marta y Plutón de Buritaca	Rbst-cd	Macizos rocosos moderadamente descompuestos (grado III), con una resistencia a la compresión simple entre 5 – 25 R2, calidad de roca mala con RQD = 25 – 50, índice de fracturamiento Jv entre 10 y 30 fr/m3 que corresponde a bloques pequeños, con un índice de resistencia geológico (GSI) con valores variables entre 30 y 40, caracterizada a partir del RMR de Bieniawski como roca pobre. Tonalitas biotíticas, hornbléndicas, cuarzodiorita.	4000	40	27
Roca Blanda de Rocas Ultramáficas intrusivas y metamórficas	Rbum	Rocas moderadamente descompuestas equivalentes al grado III de clasificación de Dearman, una resistencia a la compresión simple entre 5 y 25 (R2), con calidad de roca mala (RQD = 25 – 50), tamaño de bloques pequeños de acuerdo al índice de fracturamiento Jv con valores entre 10 y 30 fr/m3, índice de resistencia geológico (GSI) entre 20 y 30, obteniendo a partir de estos parámetros una calidad de macizo rocoso según el Rock Mass Rating (RMR) de roca pobre. Serpentina, talco, tremolita, actinolita y esquistos talcosos.	6000	35	28
Roca Blanda de Esquistos de Concha	Rbc	Rocas moderadamente descompuestas, con resistencia a la compresión simple de R2 con valores entres 5 – 25 MPa, tamaño de bloques pequeños con un índice de fracturamiento Jv entre 10 y 30 fr/m3, índice geológico de resistencia con valores variables entre 20 y 30, calidad de roca muy mala (RQD = < 25%), clasificación del macizo rocoso RMR de roca pobre con valores entre 21 y 40. Esquistos verdes, filitas de clorita y sericita y anfibolitas. Facie esquistos verdes.	6000	30	25
Roca Blanda de Esquistos de Gaira	Rbeg	Macizos rocosos con grado III correspondientes a rocas moderadamente descompuestas, resistencia a la compresión simple de 5 – 25 MPa, un índice de fracturamiento Jv entre 10 – 30 fr/m3 que corresponde a bloques pequeños, calidad de roca mala (RQD = 25 – 50%), con índice de resistencia geológico GSI entre 30 y 40, se clasifica de acuerdo al RMR como roca pobre con valores menores a 40. Esquistos micáceos anfibolíticos y mármoles.	5000	32	25
Roca Blanda de Esquistos de San Lorenzo Inferior	Rbsli	Esquistos anfibolíticos y mármoles con grado III correspondientes a rocas moderadamente descompuestas, resistencia a la compresión simple de 5 – 25 MPa (R2), un índice de fracturamiento Jv entre 10 – 30 fr/m3 que corresponde a bloques pequeños, calidad de roca mala (RQD = 25 – 50%), con índice de resistencia geológico GSI entre 30 y 40, se clasifica de acuerdo al RMR como roca pobre con valores menores a 40.	8000	33	25

Nombre UGS	Unidad	Descripción	Intercepto de cohesión C' (KN/m2)	Ángulo de fricción ϕ' (Grados)	Peso unitario húmedo de la capa de suelo (KN/m3)
Roca Intermedia del Batolito de Santa Marta y Plutón de Buritaca	Rist-cd	Tonalitas biotíticas, hornbléndicas y cuarzodiorita moderadamente descompuestas, grado III en el perfil de meteorización de Dearman, con resistencia a la compresión simple de 50 y 100 MPa, calidad de macizo rocoso medio (RQD = 50 - 75%), índice de fracturamiento entre 3 y 10 fr/m3 correspondiente a bloques medianos, con un índice geológico de resistencia GSI entre 45 - 60, calidad de macizo rocoso de roca buena en base al RMR.	12000	32	28
Roca Intermedia de Esquistos de San Lorenzo Inferior	Risli	Esquistos anfibolíticos y mármoles débilmente descompuestos a moderadamente descompuestos, grado II a III en el perfil de meteorización de Dearman, con resistencia a la compresión simple de 50 a 100 MPa, calidad de macizo rocoso medio, aunque en algunos sectores bueno (RQD = 60 – 80%), índice de fracturamiento entre 10 y 30 fr/m3 correspondiente a bloques pequeños, con un índice geológico de resistencia GSI entre 50 y 65, calidad de macizo rocoso de roca buena.	8000	30	28
Roca Intermedia de Esquistos de San Lorenzo Superior	Risls	Esquistos graníticos, micáceos y anfibólicos moderadamente descompuestos, en el grado III de acuerdo al perfil de meteorización de Dearman, con resistencia a la compresión simple de 50 a 100 MPa, con calidad de roca media (RQD = 50 - 75%), índice de fracturamiento correspondiente a bloques medianos - pequeños, con Jv entre 4 y 30 fr/m3, presentando un índice de resistencia geológico GSI entre 45 y 55, calidad de macizo rocoso RMR de roca regular.	10000	30	25
Roca Intermedia de Filita de Taganga	Rift	Filitas cloríticas y sericíticas, anfibolitas de grano muy fino y talcoesquistos débilmente descompuestos o en grado II de meteorización, con resistencia a la compresión simple R4 de 50 a 100 MPa, asociada a calidad de roca media (RQD = 50 – 75%), tamaño de bloques medianos de acuerdo al índice de fracturamiento Jv entre 3 y 10 fr/m3, índice de resistencia geológico GSI entre 40 y 55, con calidad de macizo rocoso RMR de roca regular.	12000	30	25
Roca Intermedia de Granulita de Los Mangos	Rim	Neis bandeados claros y oscuros metamorfoseados hasta la fase granulita moderadamente descompuestos, resistencia a la compresión simple de R4 entre 50 y 100 MPa, con calidad de roca media (RQD = 50 – 75%), índice de fracturamiento Jv entre 4 – 30 fr/m3 correspondiente a tamaño de bloques medianos - pequeños, presenta un índice de resistencia geológico GSI de 40 – 50, la calidad de macizo rocoso en base al RMR es de roca regular.	10000	35	28

Nombre UGS	Unidad	Descripción	Intercepto de cohesión C' (KN/m2)	Ángulo de fricción ϕ' (Grados)	Peso unitario húmedo de la capa de suelo (KN/m3)
Roca Intermedia de Mármoles de Ciénaga	Rimc	Mármoles y materiales calcáreos moderadamente descompuestos (Grado III en la clasificación de Dearman), con resistencia a la compresión simple de R4 (50 – 100 MPa) a R5 (100 – 250 MPa), calidad de roca media en base al Rock Quality Designation (RQD) de valor entre 50 y 75%, tamaño de bloques medianos – pequeños en base a un índice de fracturamiento Jv entre 4 – 30 fr/m3, índice de resistencia geológico GSI de 45 – 60, se clasifica como roca regular con valores entre 41 y 60 a partir del RMR.	8000	30	25
Roca Intermedia de Neis de Buritaca	Rib	Neises horblendicos, anfibolitas y migmatitas moderadamente descompuestas (Grado III en la clasificación de Dearman, resistencia a la compresión simple entre 50 y 100 MPa (R4), con calidad de roca media (RQD = 50 – 75%), índice de fracturamiento con valores de Jv entre 4 y 30 fr/m3, con un índice de resistencia geológico variable de 40 a 55, y una calificación del Rock Mass Rating (RMR) como roca regular con valores menores a 60.	12000	35	28
Suelo Translocado Coluvial	Strc	Se origina a partir de la acumulación de materiales por fenómenos de reptación, erosión fluvial, se presentan bien seleccionados, moderadamente heterogénea su granulometría, donde se identifica fragmentos de gravas, cantos y bloques distribuidas en capas con bajos espesores, granosoportadas, angulares a subangulares, con esfericidad baja.	5000	33	1,7
Suelo Transportado Fluvial de Aluviones de Lechos Fluviales	Stf1	Conformados por depósitos recientes, los cuales han sido transportados y acumulados a lo largo de los cauces. Estos depósitos son heterogéneos y varían desde arenas, gravas, cantos y en algunos sectores bloques de composición variada, que incluyen fragmentos de rocas ígneas y metamórficas.	2000	30	1,7
Suelo Transportado Fluvial de Llanura de Inundación	Stflli	Depósitos heterogéneos a partir de su granulometría donde comprende tamaños desde limos arcillas, hasta arenas y cantos. En general los depósitos están moderadamente seleccionados y predominan las arenas, compacidad media - baja, humedad natural es variable.	2000	30	1,8
Suelo Transportado Fluvial de Terraza	Stftz	El depósito, presenta una textura arenosa, de granos subredondeados a redondeados y esfericidad baja, la humedad natural o condición de humedad es seco y la permeabilidad alta, de compacidad media a baja.	3000	28	1,7
Suelo Transportado Fluvial Depósito de Abanico	Stfab	Se constituye de sedimentos con granulometría variada, pobremente sorteadas, angulosas, constituida principalmente de conglomerados, con matriz limoarcillosa.	5000	30	1,7

Nombre UGS	Unidad	Descripción	Intercepto de cohesión C' (KN/m2)	Ángulo de fricción ϕ' (Grados)	Peso unitario húmedo de la capa de suelo (KN/m3)
Suelo Transportado Fluvial de Glacis	Stfg	Se constituye por arenas de grano fino, lodo y gravas, es disgregable, moderadamente seleccionadas y con una matriz lodosoportada, de espesores entre 1 y 3 metros. Se caracteriza por su textura arenosa-limosa de granos subangulares y esfericidad baja.	3000	32	1,7
Suelo Transportado Costero de Barra	Stcb	Suelos transportados conformados por arenas de grano fino, compuestas por cuarzo y líticos, moderadamente seleccionados, con espesores entre 1 y 3 metros, textura arenosa, granos subangulares - subredondeados y esfericidad media.	3000	28	1,6
Suelo Transportado Costero de Laguna	Stcl	Suelo transportado compuesto de arenas con grano fino a muy fino, limos y arcillas, moderadamente seleccionados, textura arenosa - limosa, granos subredondeados y esfericidad baja - media. Presenta pequeñas concentraciones de materia orgánica.	3000	25	1,8
Suelo Transportado Costero de Playa	Stcp	Suelos transportados conformados por arenas de grano fino a grueso, compuestas por cuarzo principalmente, moderadamente seleccionadas, textura arenosa fina, granos subangulares - subredondeadas, con esfericidad baja.	3000	28	1,6
Suelo Transportado Costero de Terraza	Stctz	El depósito, presenta una textura arenosa, de granos subredondeados a redondeados y esfericidad baja, la humedad natural o condición de humedad es seco y la permeabilidad alta, de compacidad media a baja.	2000	28	1,5
Suelo Transportado Eólico de Mantos de Arena	Stem	Suelos transportados conformados por arenas de grano fino a muy fino, compuesta por cuarzo, fragmentos líticos en menor proporción, granos redondeados, moderadamente seleccionada, no sedimentados, con humedad natural seca y compacidad baja – media.	2000	25	1,5

Figura 4.48. **Cohesión para la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe**

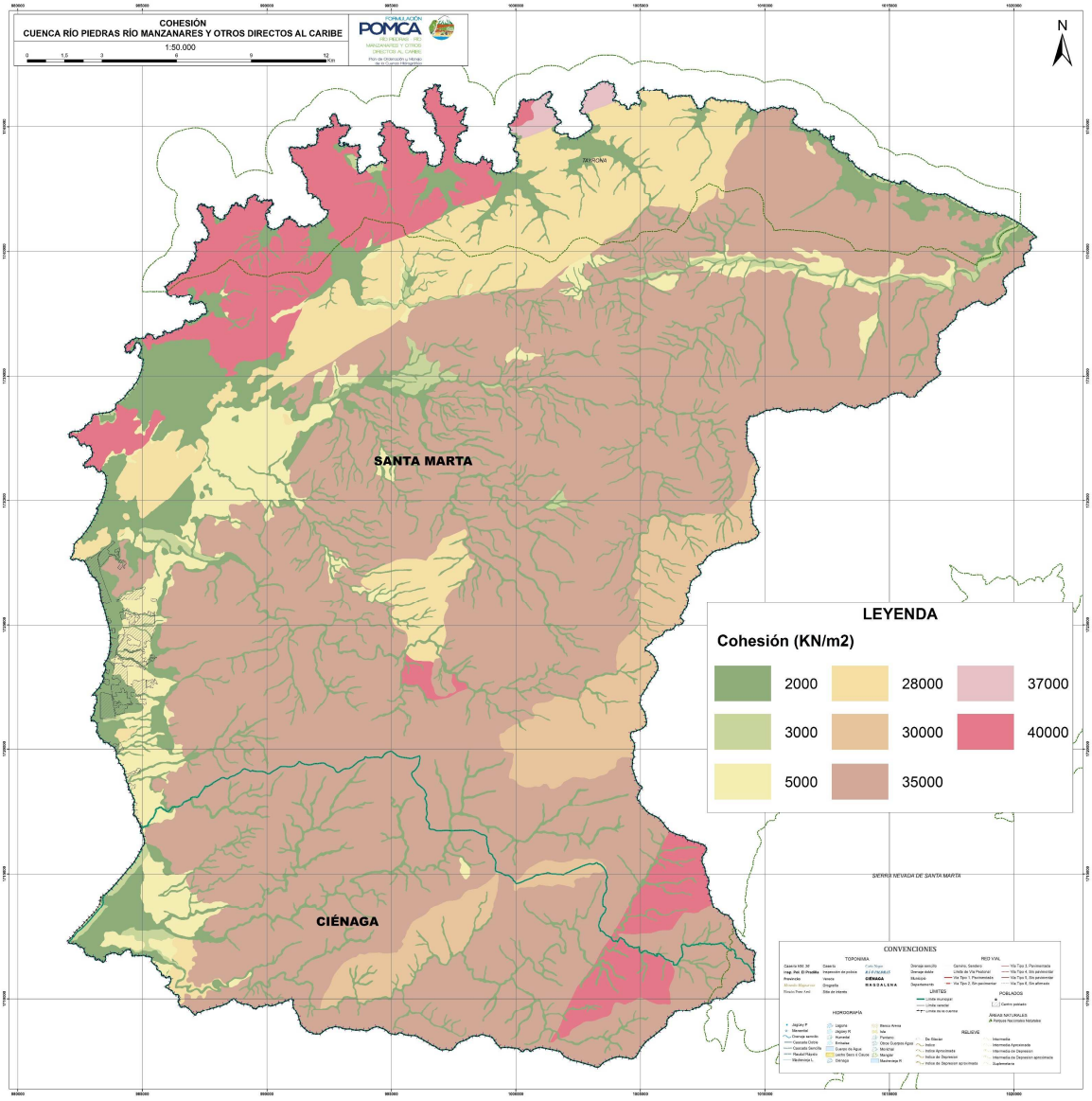


Figura 4.49. **Peso Unitario para la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe**

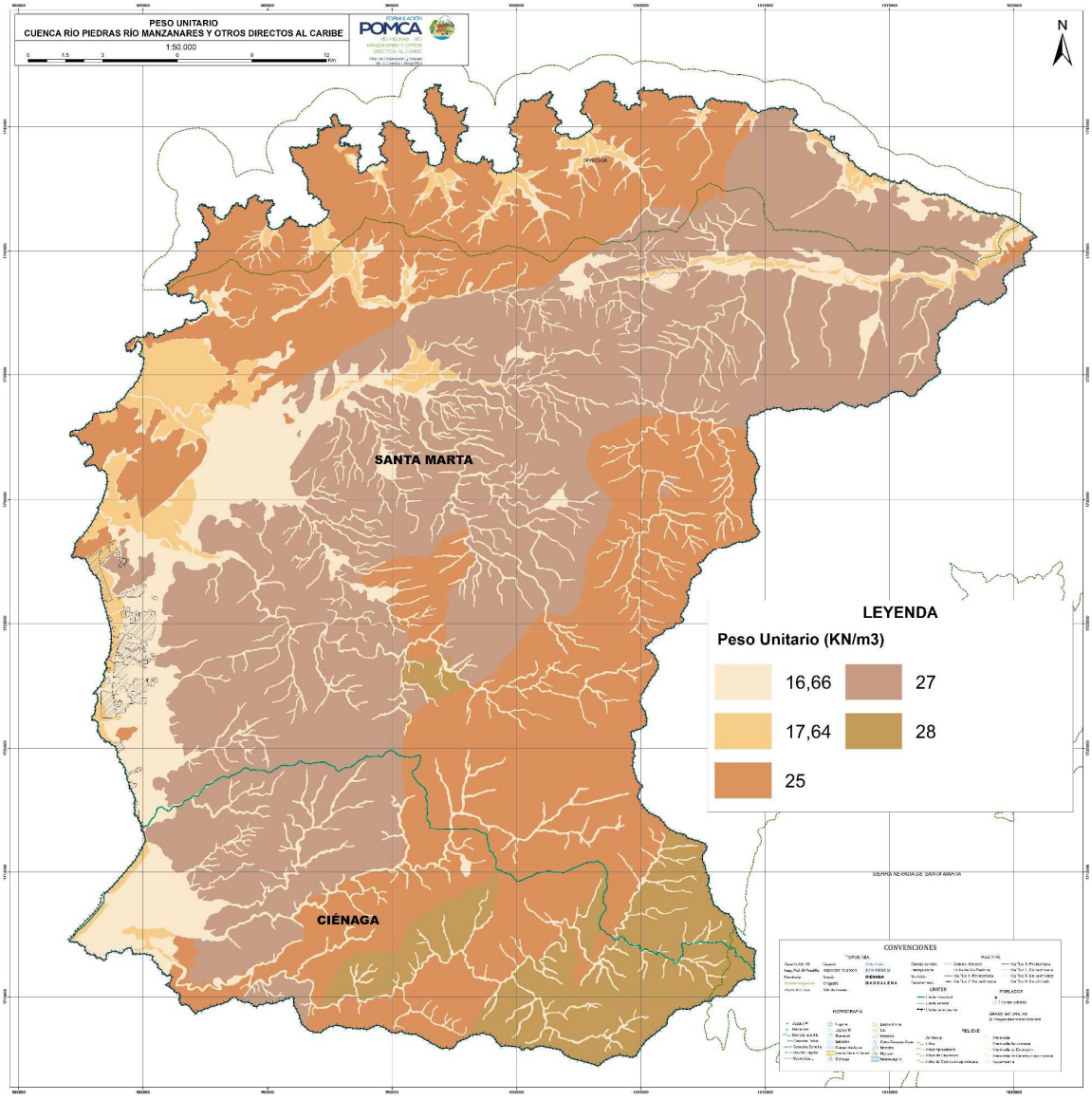
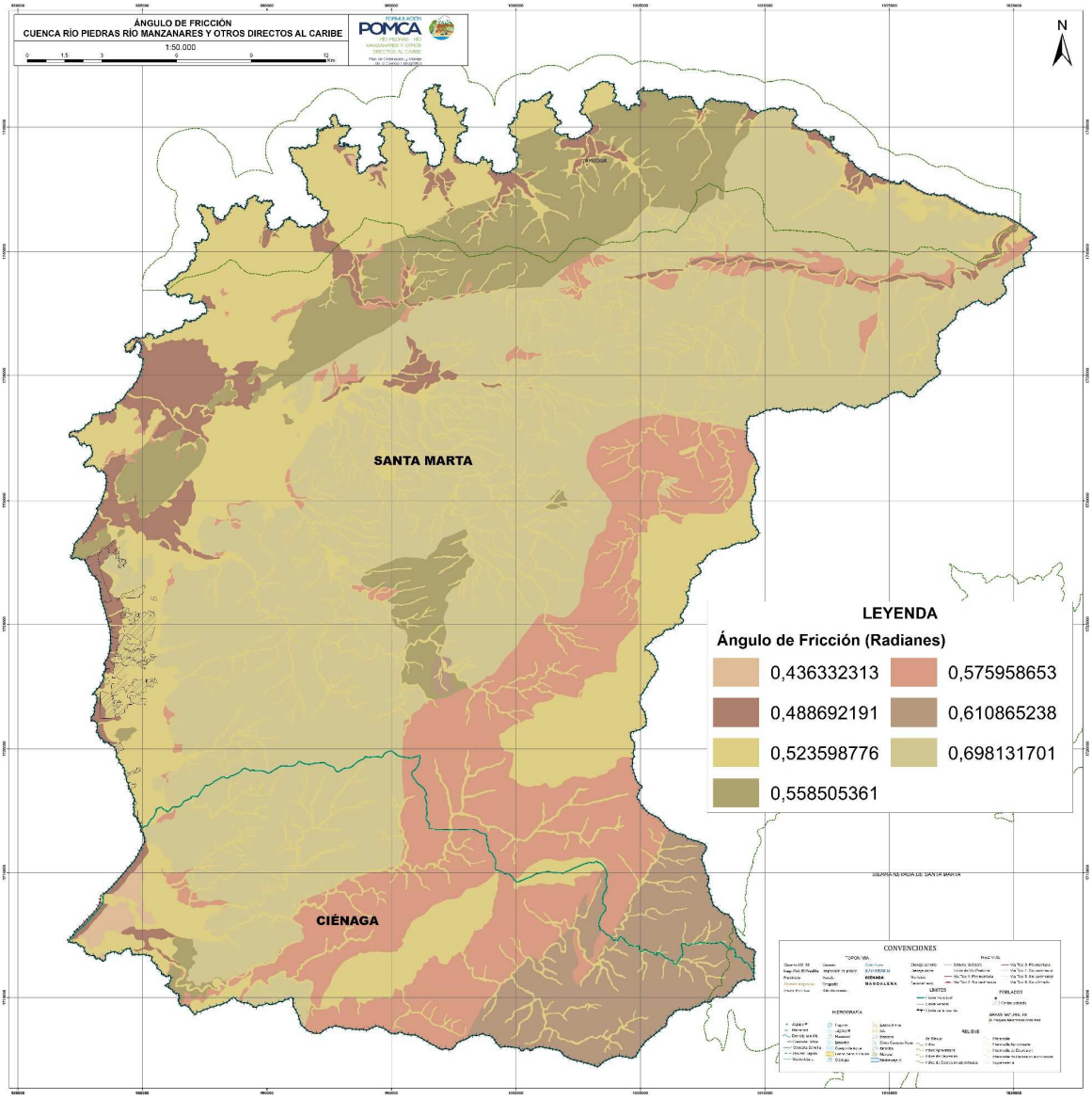


Figura 4.50. **Ángulo de Fricción para la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe**



Para la determinación del espesor, se tomó la información del mapa geológico y del análisis de las tomografías realizadas, ya que por ser un ensayo indirecto permite estimar a partir de las resistividades diferenciar los materiales entre depósitos y unidades de roca como se muestra en la Figura 4.51, tomografía realizada en el corregimiento de Bonda, correspondiente al municipio de Santa Marta y se espacializa en la Figura 4.52.

Figura 4.51. Tomografía por el método Wenner en las Sabanas de Bonda en el municipio de Santa Marta

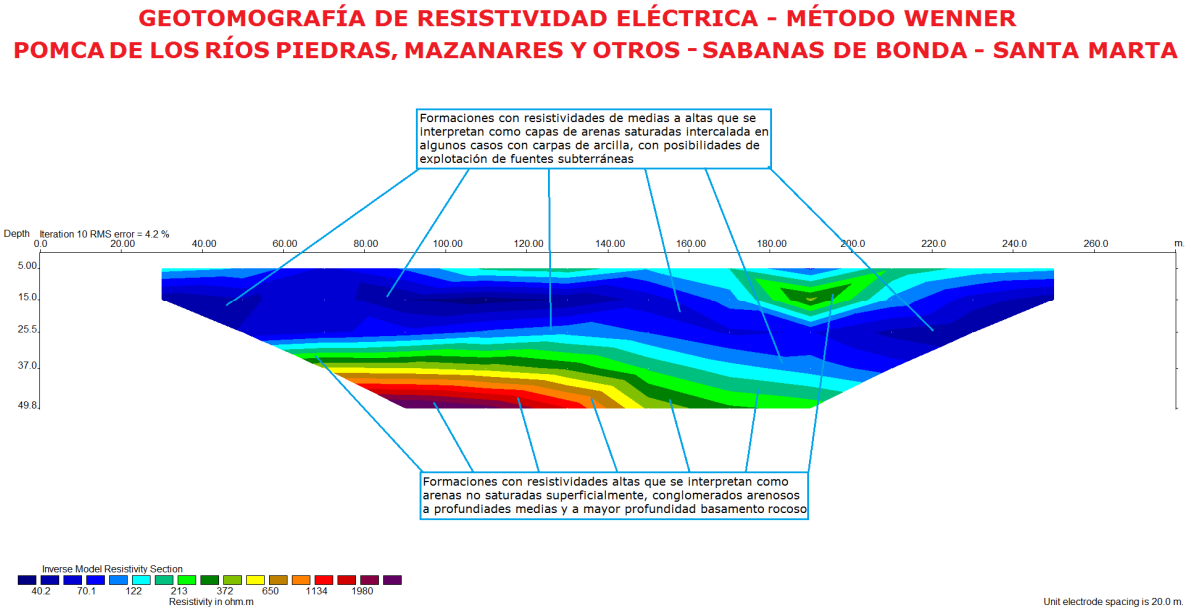
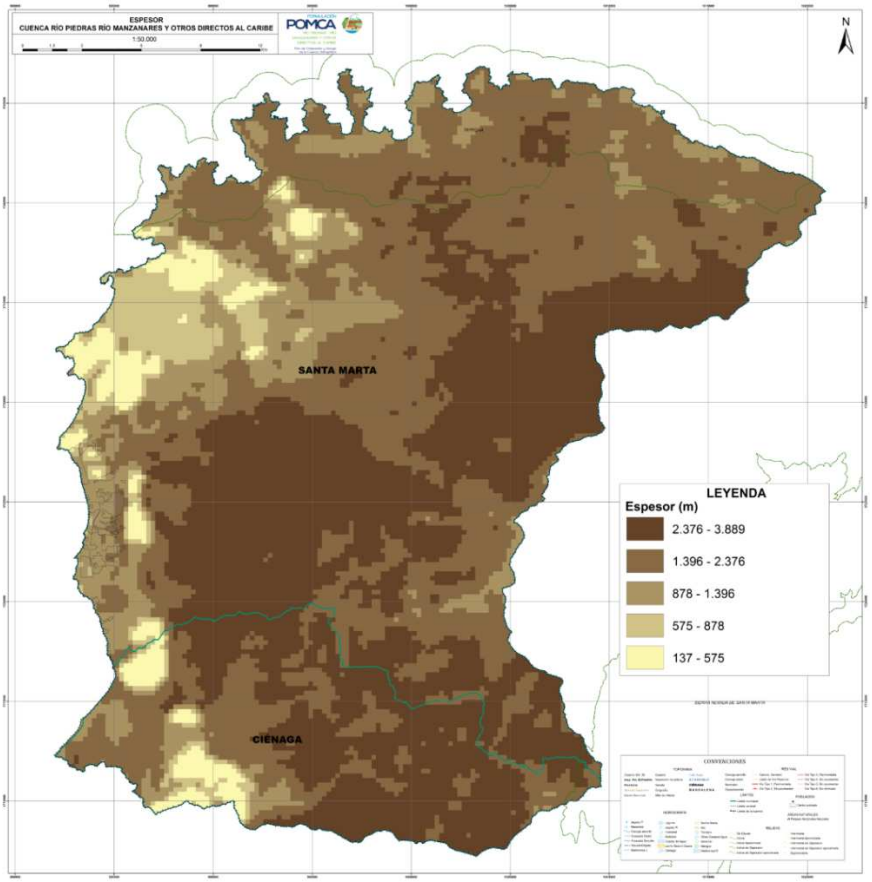


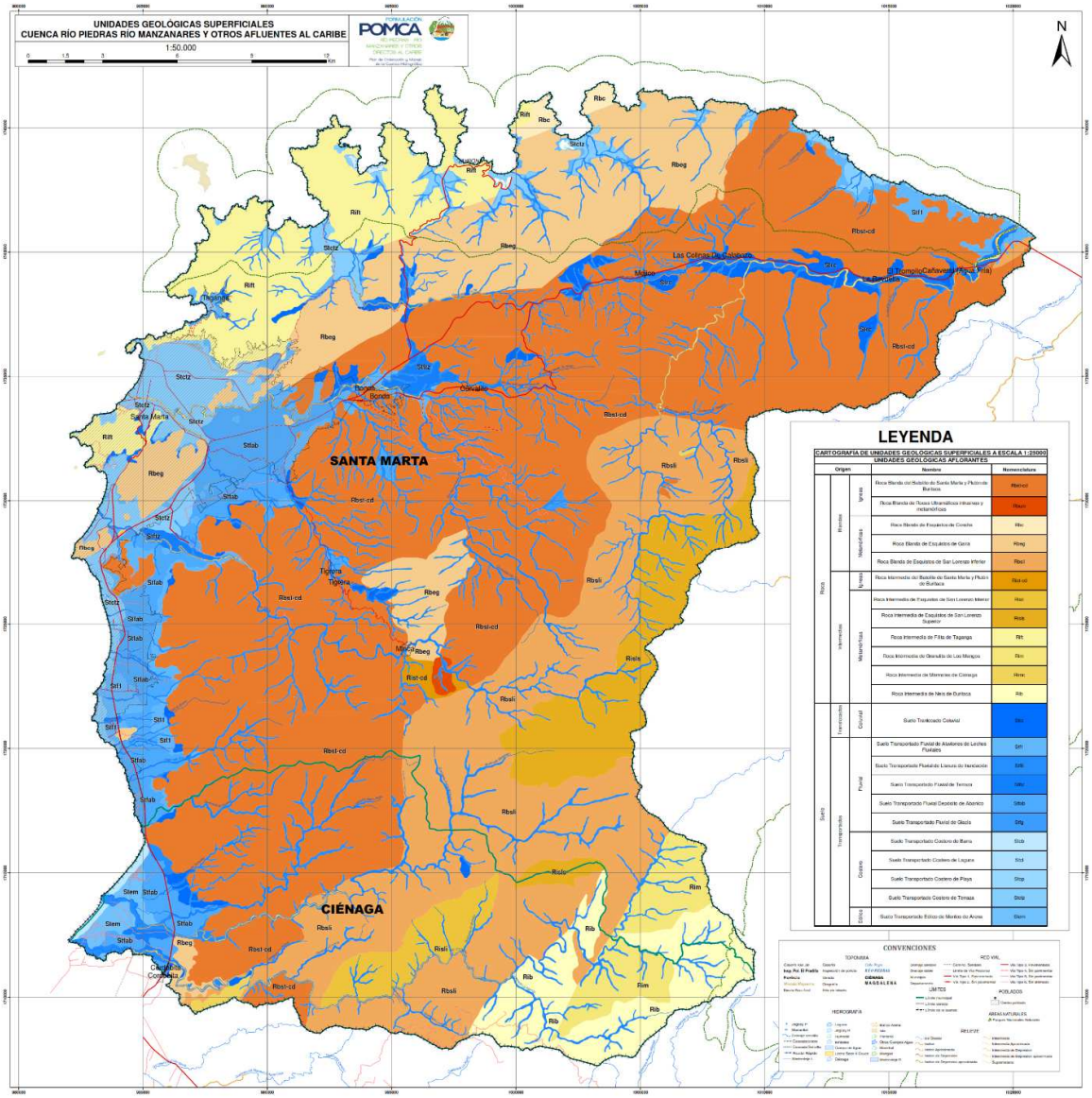
Figura 4.52. **Espesor para la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe**



Según la distribución de las líneas realizadas en las tomografías en el área de la cuenca, se establecieron espesores promedio debido a la escala de estudio, teniendo esto en cuenta para la determinación del cálculo de factor de seguridad y la obtención de los escenarios de amenaza.

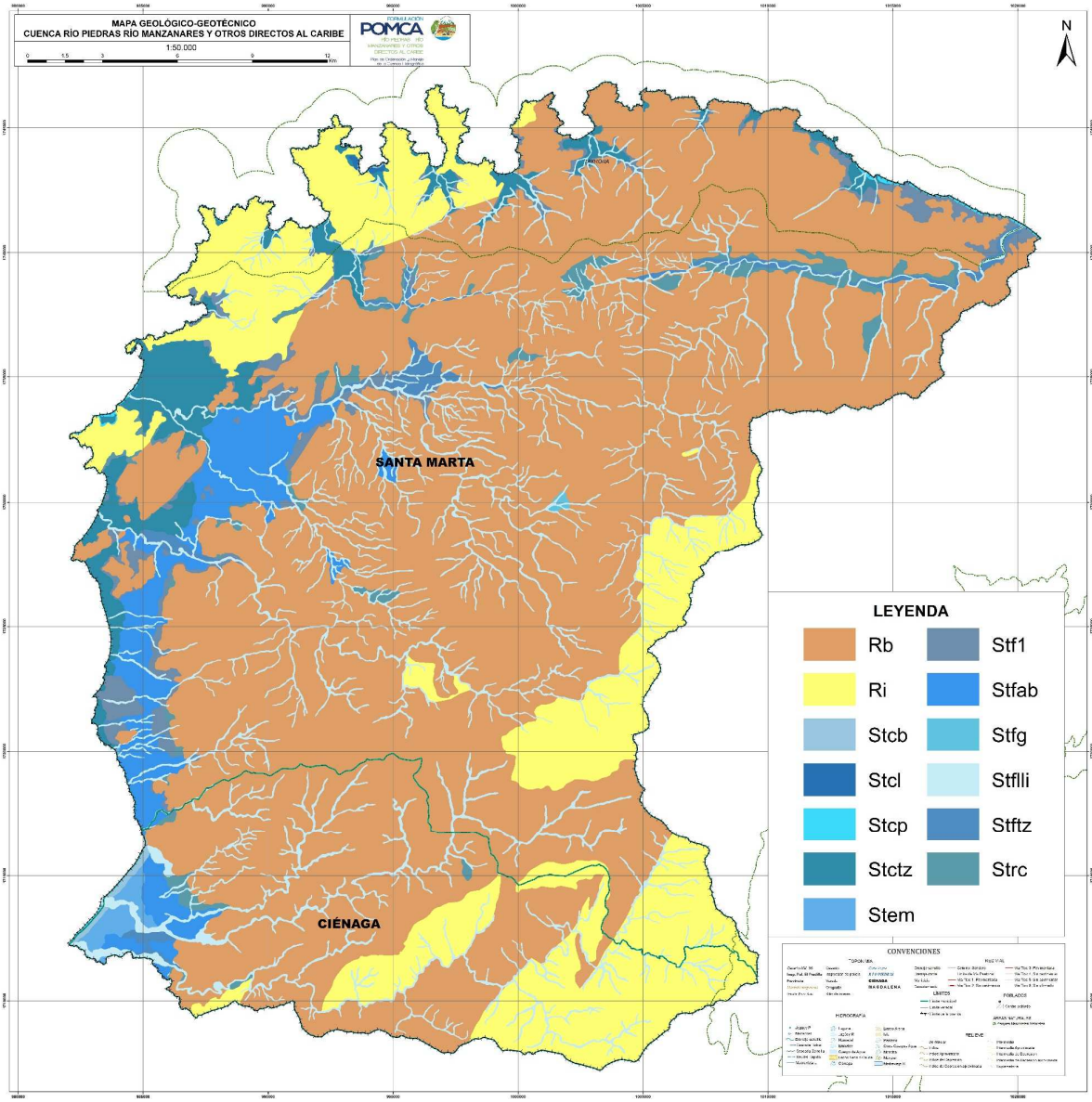
En la Figura 4.53 se presenta el mapa de unidades geológicas superficiales con los materiales descritos previamente espacializados en el área de la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe.

Figura 4.53. Mapa de unidades Geológicas Superficiales



A partir del mapa de unidades geológicas superficiales, y tomando los parámetros de resistencia definidos para cada material (Jv, RQD, RMR), se presenta el mapa geológico-geotécnico para el área de la cuenca hidrográfica Río Piedras, río Manzanares y Otros Directos al Caribe como se muestra en la Figura 4.54.

Figura 4.54. Mapa Geológico-Geotécnico para la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe

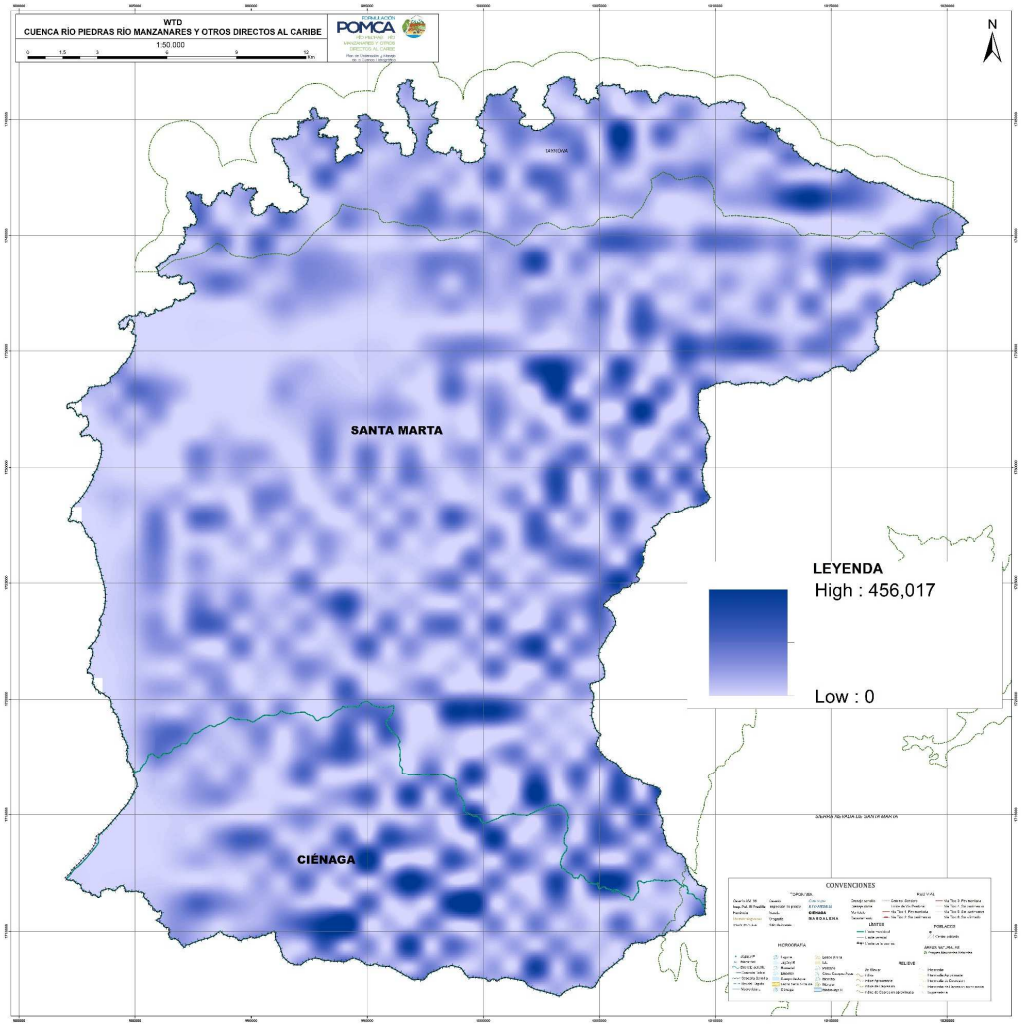


Teniendo estos parámetros se realiza la determinación de los detonantes de acuerdo con las especificaciones del protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los POMCA; los detonantes a considerar son: Amplificación sísmica y nivel freático.

4.3.1.2.1. *Detonante Lluvia*

Para el caso del nivel freático, se adquiere ráster (resolución 10m x 10 m) de profundidad de nivel freático (WTD) con promedios históricos para la cuenca Río Piedras, río Manzanares y Otros Directos al Caribe, obtenidos de una modelación realizada para la Agencia mundial contra la escasez de agua con una resolución de 1Km x 1Km, el cual fue remuestrado con una interpolación cúbica para transformar la información acorde con la escala de trabajo como se muestra en la Figura 4.55.

Figura 4.55. Profundidad de nivel freático con promedios históricos para la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe.



Con base en el inventario de eventos activos efectuados en la fase de análisis se correlacionaron con la precipitación máxima diaria para obtener un margen detallado de los eventos activadores para los eventos por movimientos en masa como se presenta en la Tabla 4.49.

Tabla 4.49. Correlación entre la fecha de ocurrencia de movimientos en masa y precipitación

Cod. MM	Fecha de ocurrencia	Precipitación (mms)	Cod. MM	Fecha de ocurrencia	Precipitación (mms)
PDMZ59	3/07/2011	7,0	PDMZ152	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido
PDMZ60	3/07/2011	7,0	PDMZ153	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido
PDMZ69	1/04/2013	0,0	PDMZ154	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido
PDMZ71	23/05/2013	4,0	PDMZ155	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido
PDMZ76	10/07/2013	4,3	PDMZ157	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido
PDMZ77	10/07/2013	4,3	PDMZ158	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido
PDMZ78	10/07/2013	4,3	PDMZ159	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido
PDMZ119	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido	PDMZ160	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido
PDMZ126	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido	PDMZ161	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido
PDMZ135	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido	PDMZ162	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido
PDMZ138	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido	PDMZ163	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido
PDMZ139	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido	PDMZ165	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido
PDMZ140	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido	PDMZ166	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido
PDMZ141	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido	PDMZ167	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido
PDMZ142	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido	PDMZ171	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido
PDMZ143	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido	PDMZ172	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido
PDMZ144	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido	PDMZ173	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido
PDMZ145	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido	PDMZ174	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido
PDMZ146	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido	PDMZ175	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido

Cod. MM	Fecha de ocurrencia	Precipitación (mms)	Cod. MM	Fecha de ocurrencia	Precipitación (mms)
PDMZ147	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido	PDMZ176	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido
PDMZ148	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido	PDMZ177	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido
PDMZ149	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido	PDMZ178	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido
PDMZ150	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido	PDMZ179	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido
PDMZ151	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido	PDMZ180	No se define fecha exacta de ocurrencia del evento	No Definido

Para mayor detalle se remite al Volumen 1. Biofísico, Capitulo 3 Clima.

Esta información fue corregida por periodo de retorno, de acuerdo a la siguiente expresión:

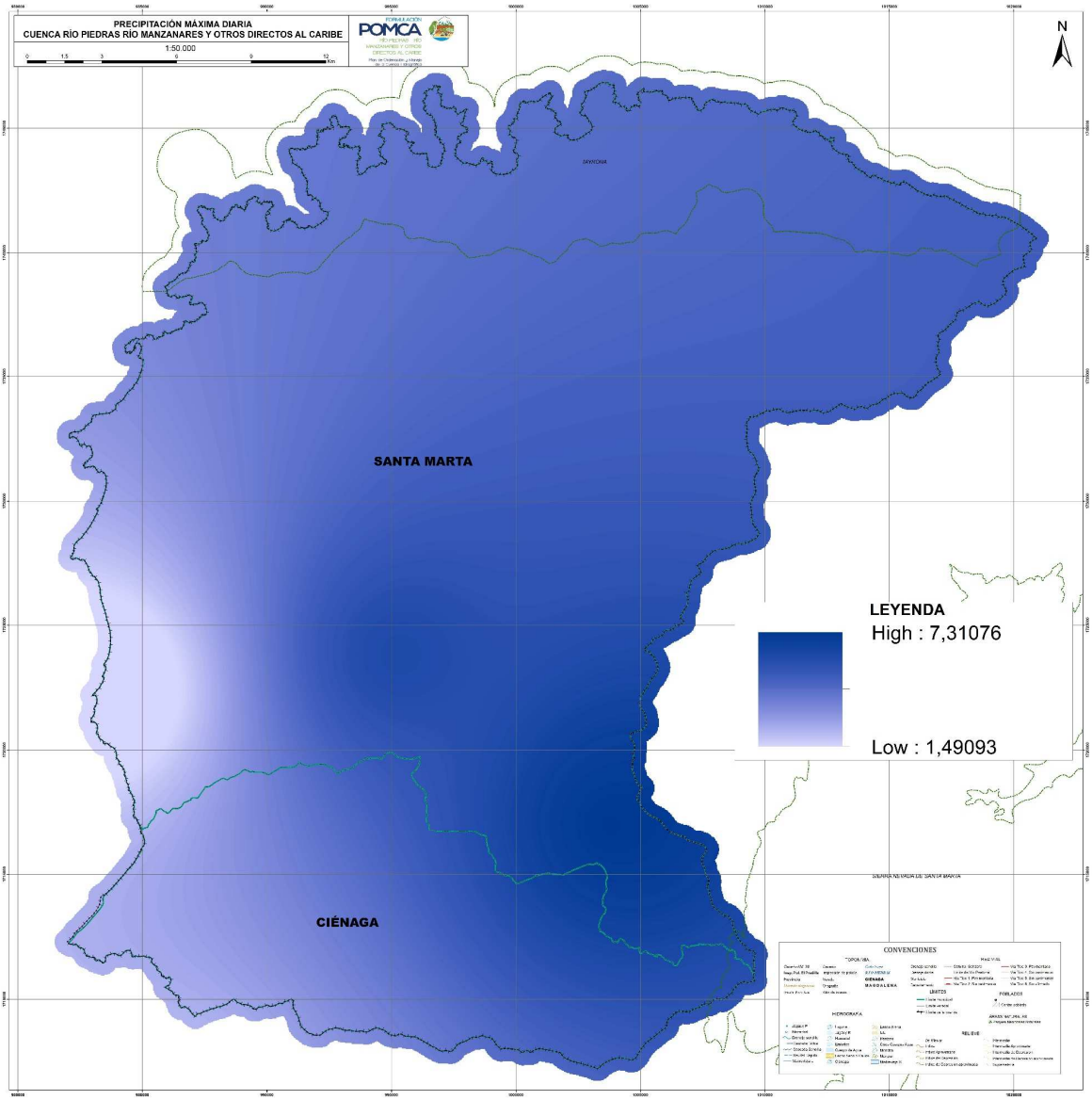
$$WTD(Tr) = WTDmedia * \frac{Pmedia}{P(Tr)}$$

Donde,
WTD(Tr): Nivel freático por cada periodo de retorno
WTD(Media): Nivel freático promedio reportado por la agencia mundial contra la escasez de agua
Pmedia: Precipitación media diaria
P(Tr): Precipitación máxima diaria por periodo de retorno.

La posición de nivel freático (hw) que requiere la fórmula de factor de seguridad, se obtiene restando la WTD (Tr) del espesor del suelo.

La determinación de la precipitación media diaria se obtuvo a partir de la precipitación media anual. Para ampliar el análisis climatológico de la cuenca con información regional, se obtuvo la información del IDEAM de las rosas de los vientos de los municipios aledaños, teniendo en cuenta que este parámetro climatológico es considerado de difícil espacialización, la cual se muestra en la Figura 4.56. En el análisis de precipitación de la cuenca requerido, fueron 7 las estaciones útiles para el desarrollo del presente estudio, categorizadas todas como Pluviométricas y localizadas en la cuenca y en sus alrededores, para mayor detalle sobre la caracterización temporal y espacial del clima, se remite al lector al volumen 1. Componente Biofísico, numeral 3. Clima.

Figura 4.56. Precipitación media máxima diaria en la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe.



Para establecer el valor de P(Tr), se extrajo de las series pluviométricas, la precipitación máxima de cada estación según el periodo de retorno analizado, obteniendo los resultados que se observan en la siguiente tabla:

Tabla 4.50. Precipitación máxima diaria por periodo de retorno para la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe.

Estación	2	20	50	100
Apto Simón Bolívar	38,93	134,62	166,29	189,14
Guachaca	147,33	400,49	486,20	549,20
Minca	173,12	460,46	543,12	601,98
La Palma	64,38	184,00	221,86	249,17
San Lorenzo	203,68	485,07	566,21	623,77
Vista Nieves	204,48	492,66	575,47	634,27
Buritaca	144,75	403,58	487,08	547,77

Estos valores fueron interpolados con ayuda de la herramienta Surfer 13, a fin de obtener un cubrimiento total de la cuenca, para cada periodo de retorno establecido en el protocolo, a 2 años (Figura 4.57), a 20 años (Figura 4.58), a 50 años (Figura 4.59) y a 100 años (Figura 4.60).

Figura 4.57. Precipitación máxima para el periodo de retorno a 2 años

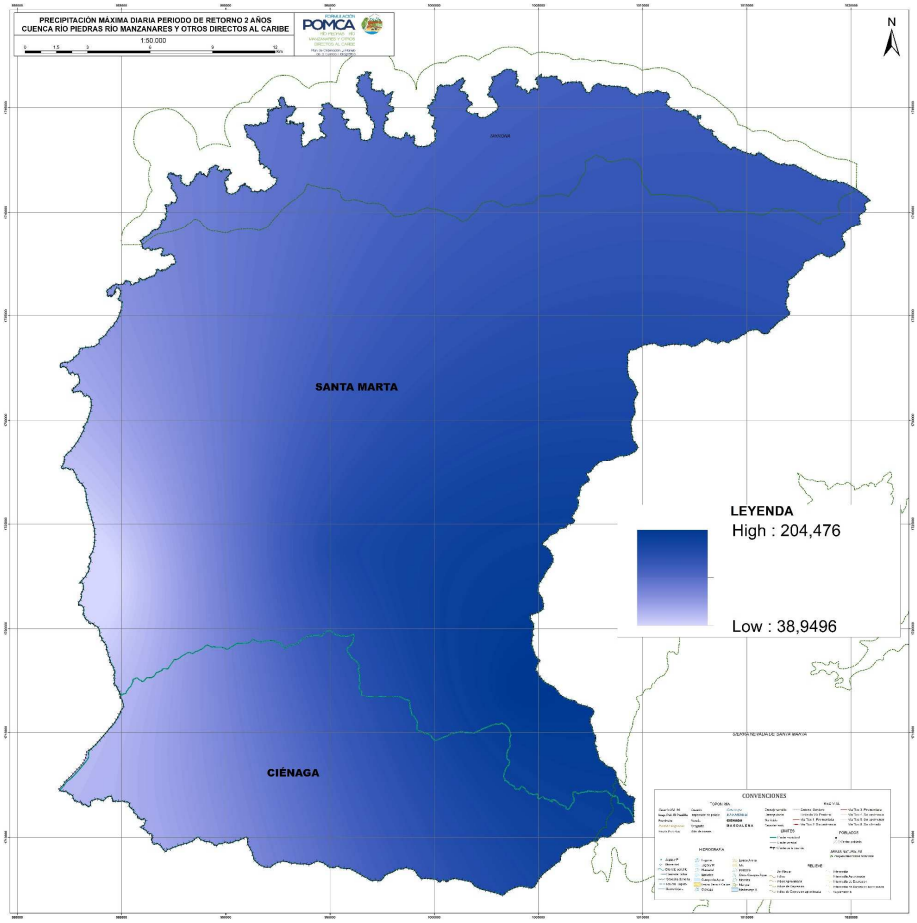


Figura 4.58. Precipitación máxima para el periodo de retorno a 20 años

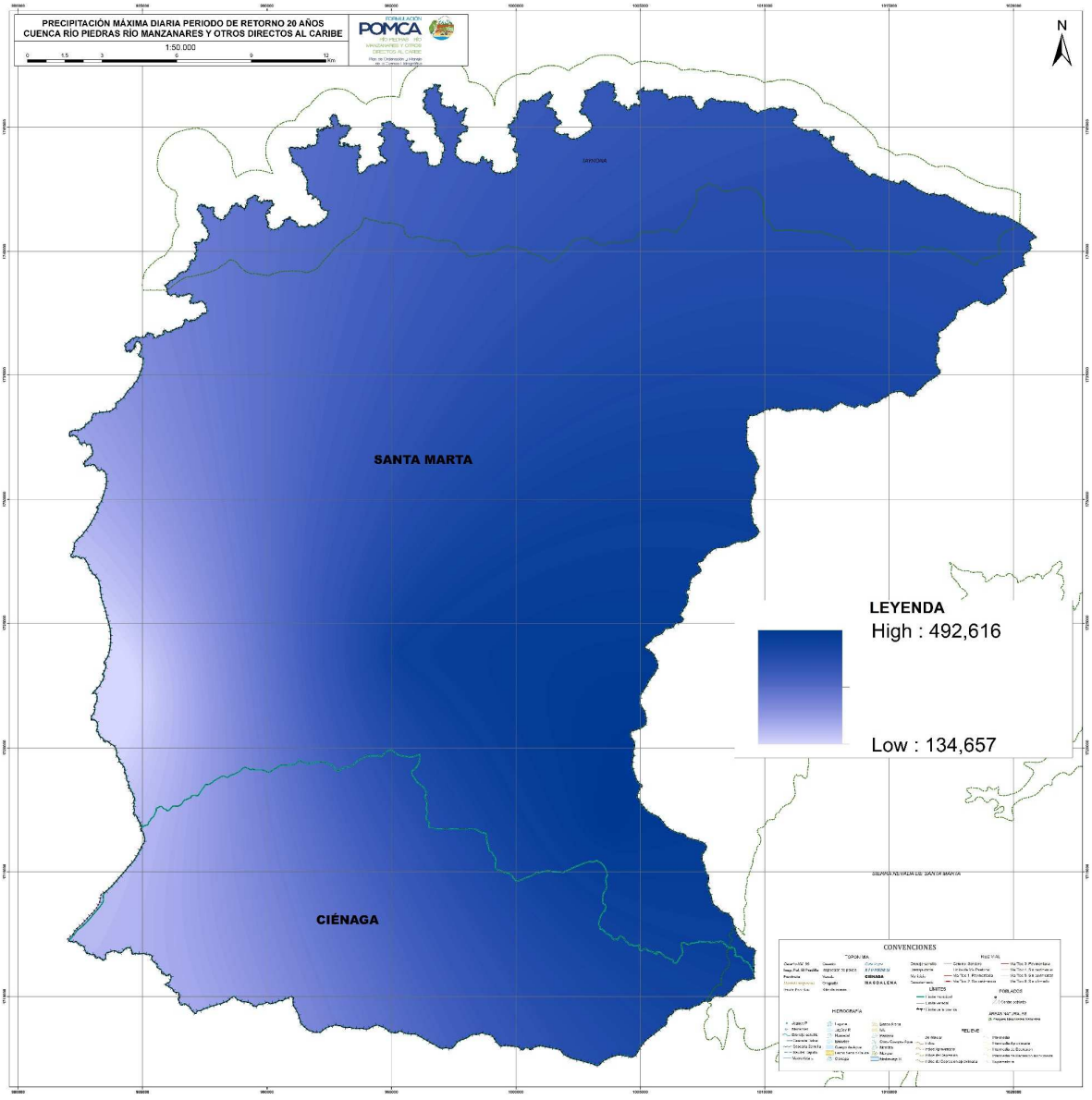


Figura 4.59. Precipitación máxima para el periodo de retorno a 50 años

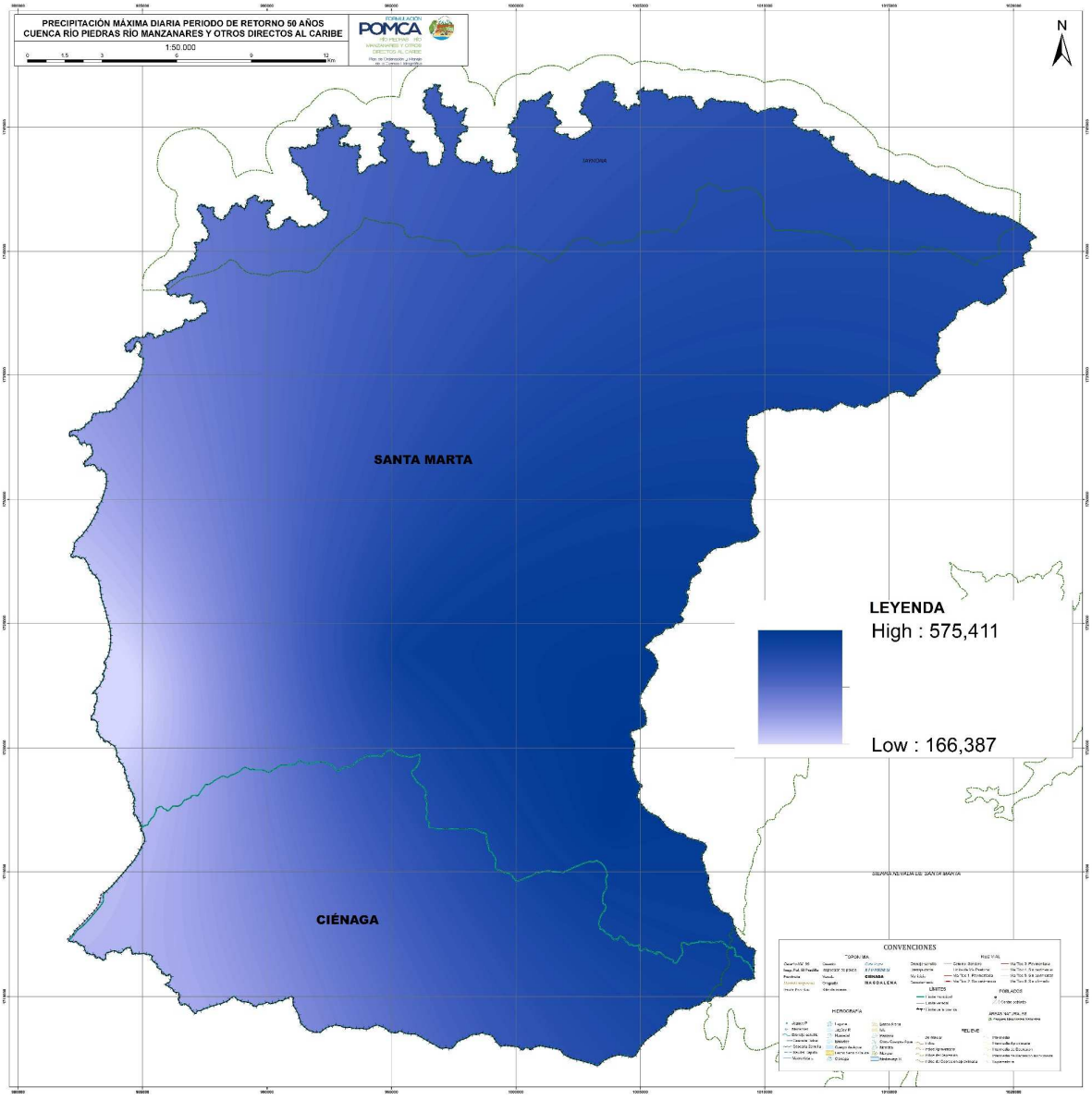
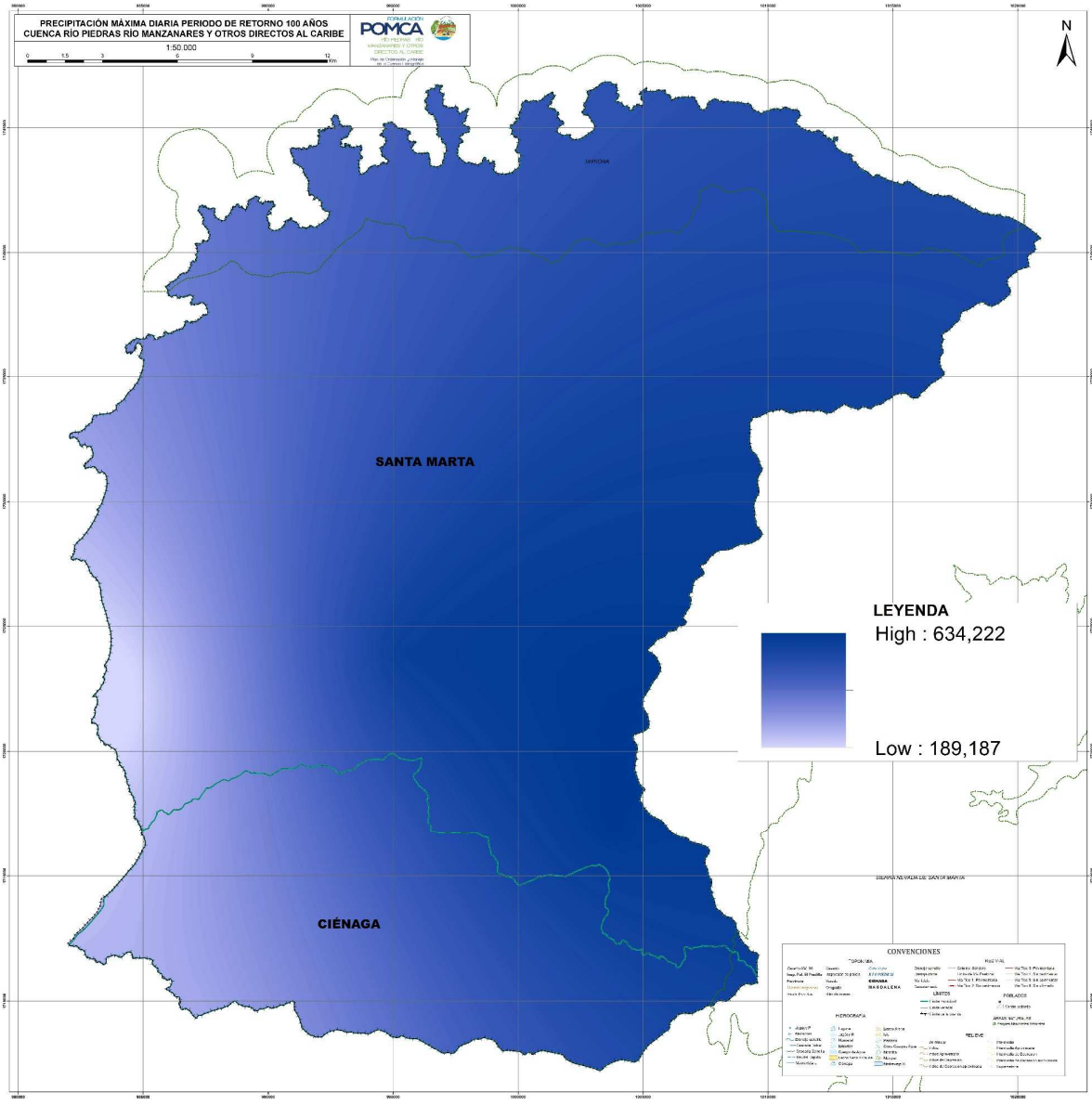


Figura 4.60. Precipitación máxima para el periodo de retorno a 100 años



4.3.1.2.2. *Detonante Sismo*

Los sismos pueden activar deslizamientos al aumentar el esfuerzo cortante, disminuir la resistencia por aumento de la presión de poros y por deformaciones asociadas por la onda sísmica, llegando a la falla por esfuerzo cortante. Se deben tener en cuenta varios factores en taludes expuestos a eventos sísmicos tales como el valor de la fuerza sísmica aplicada sobre los materiales potencialmente inestables, disminución de la resistencia de los materiales producto de las fuerzas dinámicas, que generan deformaciones cíclicas, el aumento de la presión de poros especialmente en materiales granulares limoarenosos, la amplificación sísmica, entre otros.

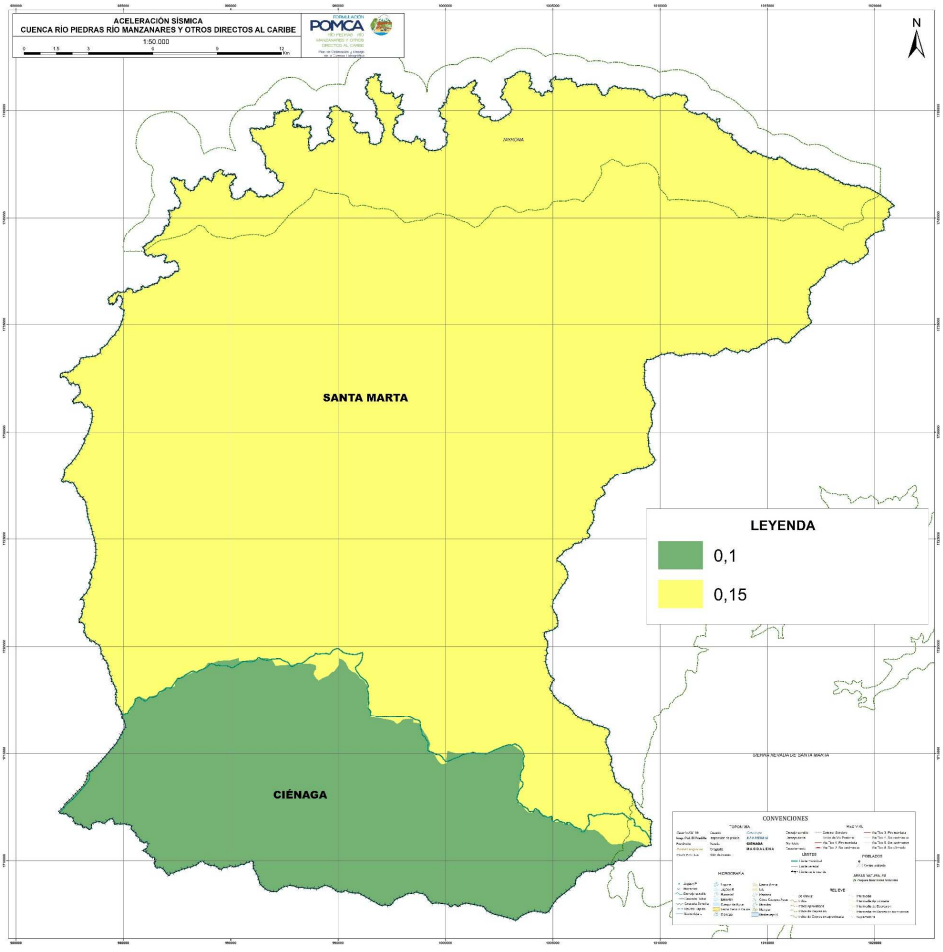
La importancia de la onda en cada sitio ha sido demostrada en los sismos recientes, habiéndose usado los resultados de estos estudios para desarrollar recomendaciones específicas de espectro de diseño que se aplican en los códigos.

Para la cuenca Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe, el valor de coeficiente de aceleración horizontal se obtuvo de la plataforma geoportal del servicio geológico colombiano en la temática de amenaza sísmica para cada municipio con jurisdicción en el área de la cuenca como se muestra en la Tabla 4.51 y se espacializa en la Figura 4.61.

Tabla 4.51. Aceleración horizontal por municipios en el área de la cuenca.

Municipio	Aceleración Horizontal
Santa Marta	0,15
Ciénaga	0,1

Figura 4.61. Aceleración Horizontal para la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe.



4.3.1.2.3. *Determinación del Factor de Seguridad*

Consideradas estas variables que se introducen en la fórmula propuesta por el protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los POMCA, se calcula el factor de seguridad por celda, para determinar los escenarios de amenaza por movimientos en masa utilizando el método de talud infinito con el fin de lograr determinar la estabilidad de las laderas, obteniendo los 10 escenarios de amenaza por periodo de retorno y sismicidad tal como se presenta en la Tabla 4.52.

$$FS = \frac{c' + \left(\gamma h \cos^2\beta - \alpha h \gamma \sin\beta\cos\beta - m\gamma_\omega h \cos^2\beta\right)\tan\phi'}{\gamma h \sin\beta\cos\beta + \alpha\gamma h\cos^2\beta}$$

Donde:

c´ = intercepto de cohesión

Ø' = ángulo de fricción

ɣ = peso unitario de la capa de suelo

β = inclinación del terreno

α = coeficiente de aceleración horizontal y amplificación sísmica

h = espesor de la capa de suelo

mh = Zw: Profundidad de la tabla de agua o posición del nivel freático que posteriormente será definida su obtención.

FS = Factor de seguridad

Tabla 4.52. Escenarios de análisis de escenarios de evaluación de amenaza por MM

Escenario	Periodo de Retorno	
	Precipitación	Sismicidad
1	Seca	Con Sismo
2	Seca	Sin Sismo
3	2	Con Sismo
4	2	Sin Sismo
5	20	Con Sismo
6	20	Sin Sismo
7	50	Con Sismo
8	50	Sin Sismo
9	100	Con Sismo
10	100	Sin Sismo

Fuente: Adaptado del protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los POMCA, 2014

En cada uno de los escenarios obtenidos, se establece de acuerdo al factor de seguridad categorías de amenaza, determinando las zonas potencialmente estables o inestables para cada uno de los escenarios evaluados. En el análisis de la zonificación de amenaza por movimientos en masa para la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe se tienen en cuenta los rangos propuestos en el protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los POMCA (Tabla 4.53).

Tabla 4.53. Grados de estabilidad según rangos del Factor de Seguridad para la zonificación de movimientos en masa en los POMCA.

Rangos	Grados de Estabilidad
<1,2	Alta
1,2 - 1,5	Media
> 1,5	Baja

Para la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe, se presentan los 10 cálculos del factor de seguridad para cada escenario de amenaza obtenidos espacializados mediante el sistema de información geográfica ArcGis donde se realizó el proceso matemático introduciendo la fórmula del Factor de Seguridad teniendo en cuenta cada periodo de retorno y el detonante sismo (Figura 4.62 a Figura 4.71).

Figura 4.62. Calculo del Factor de Seguridad para el escenario 1 seco sin sismo

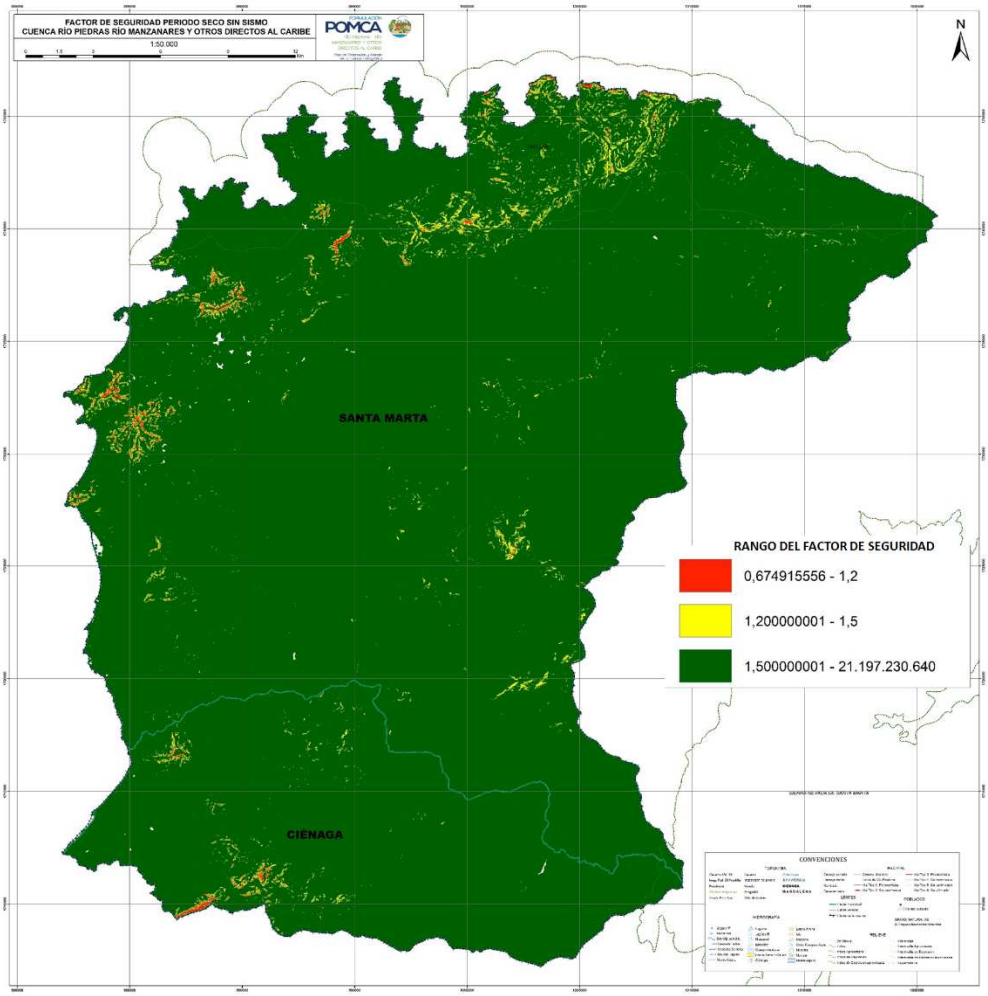


Figura 4.63. Calculo del Factor de Seguridad para el escenario 2, seco con sismo

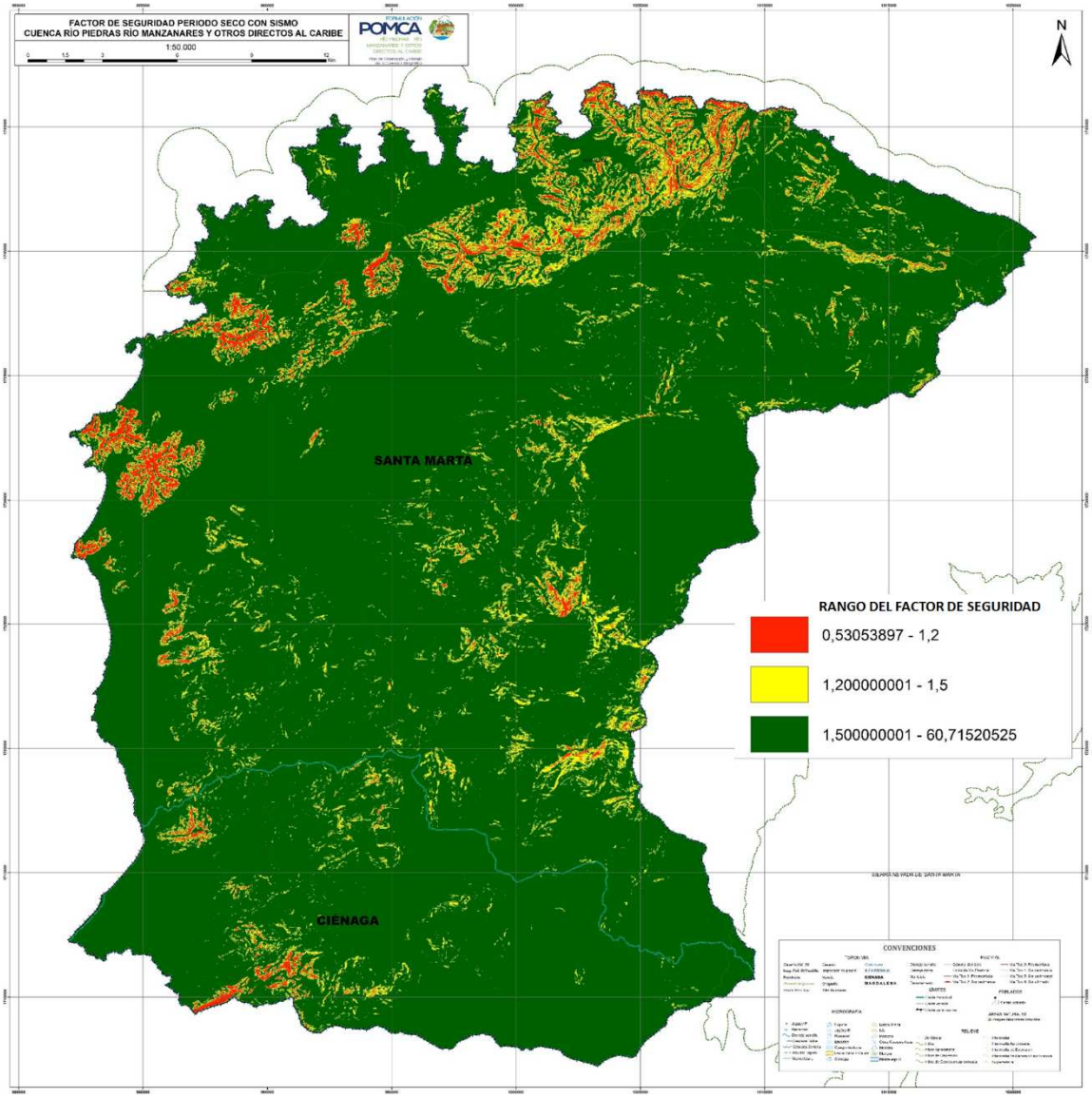


Figura 4.64. Calculo del Factor de Seguridad para el escenario 3, periodo de retorno a 2 años sin sismo

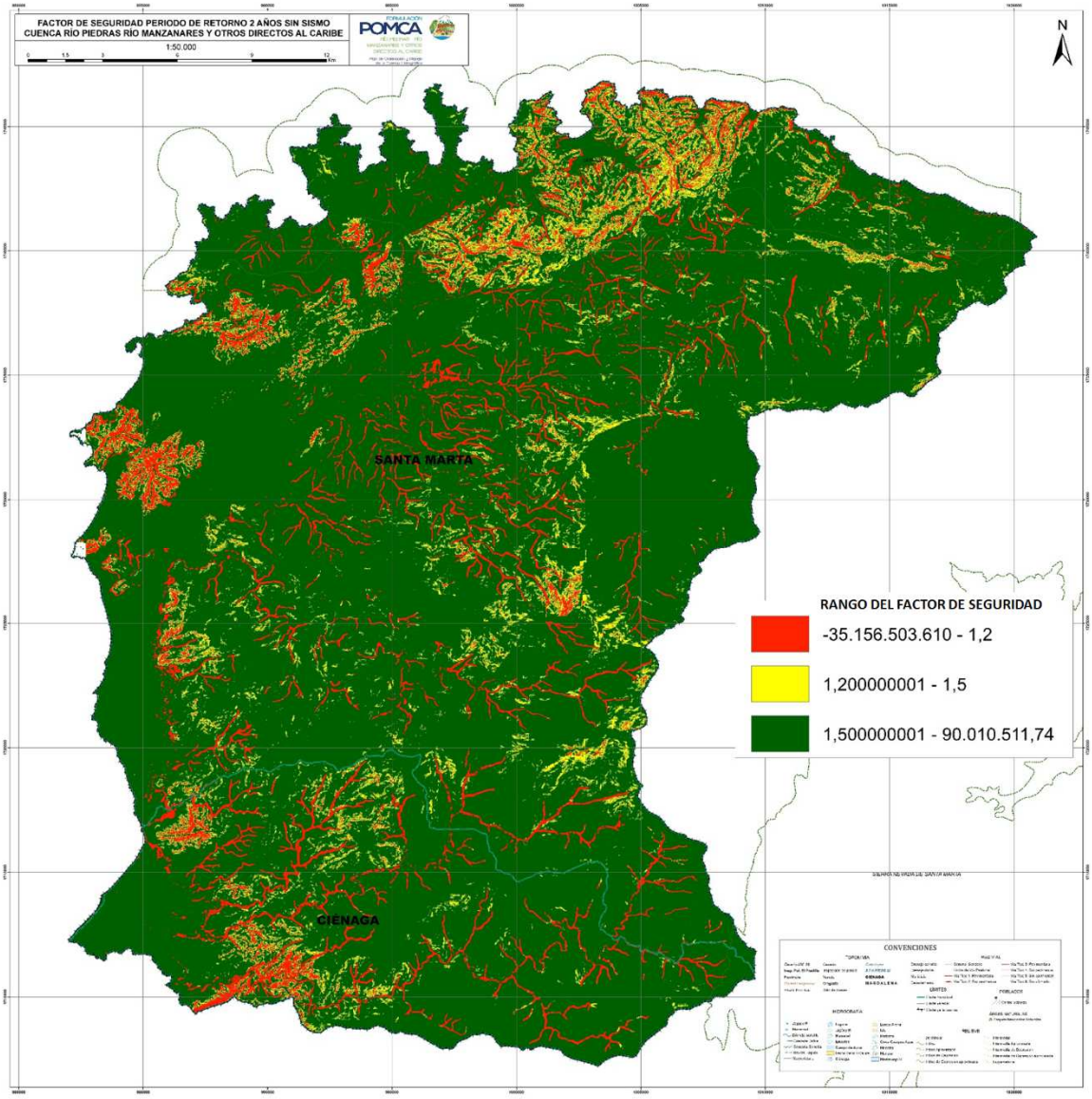


Figura 4.65. Calculo del Factor de Seguridad para el escenario 4, periodo de retorno a 2 años con sismo

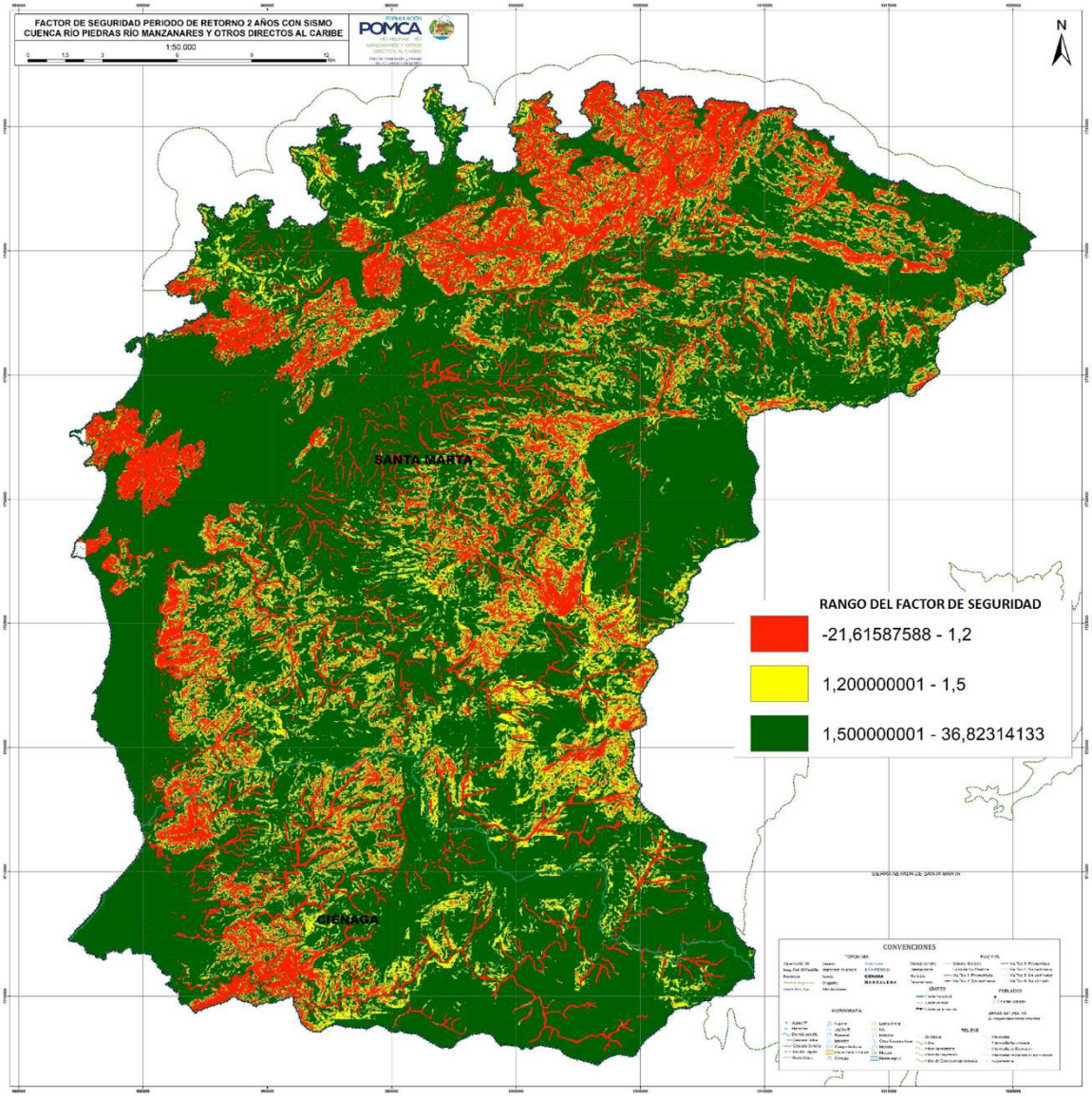


Figura 4.66. Calculo del Factor de Seguridad para el escenario 5, periodo de retorno a 20 años sin sismo

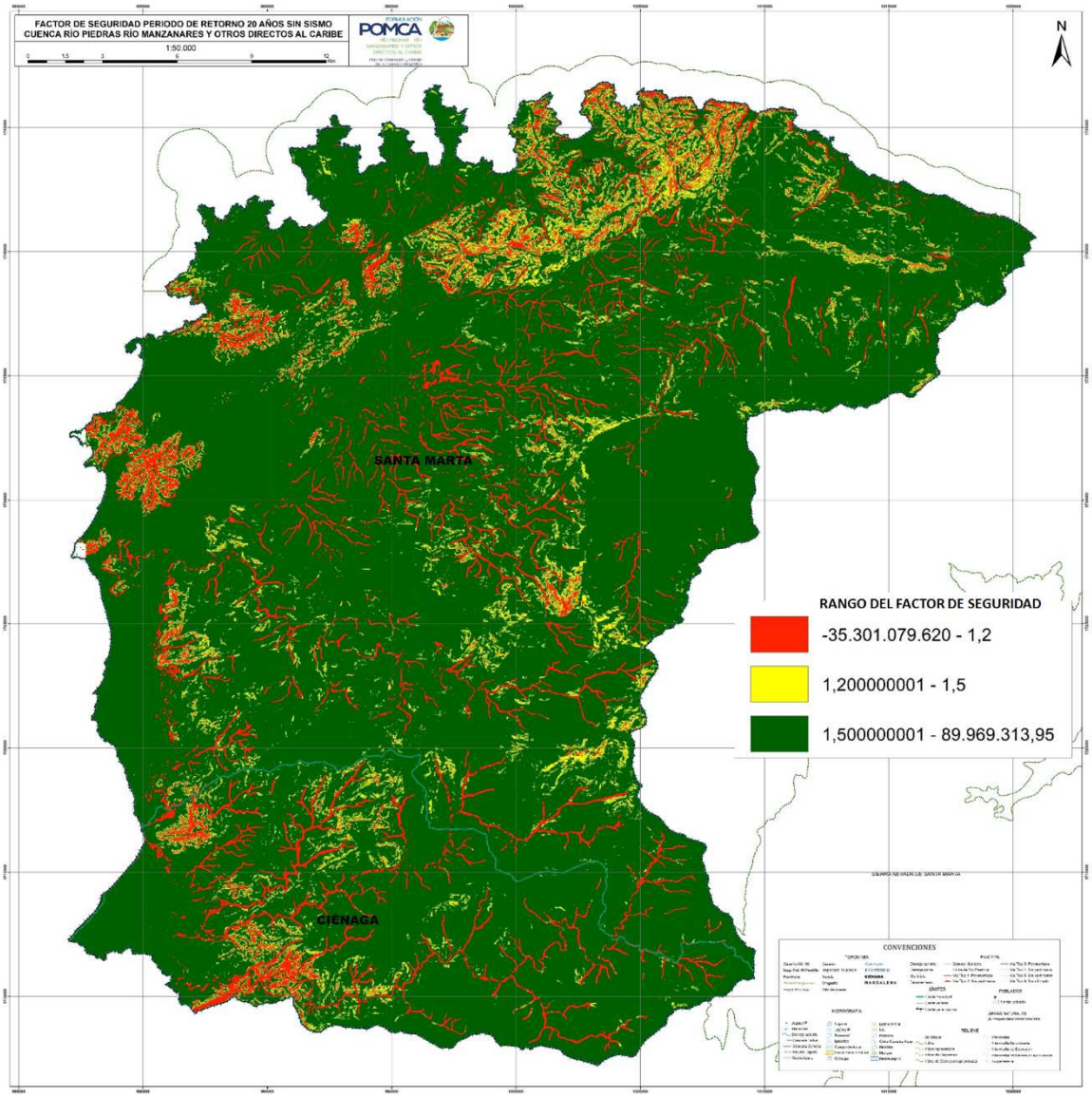


Figura 4.67. Calculo del Factor de Seguridad para el escenario 6, periodo de retorno a 20 años con sismo

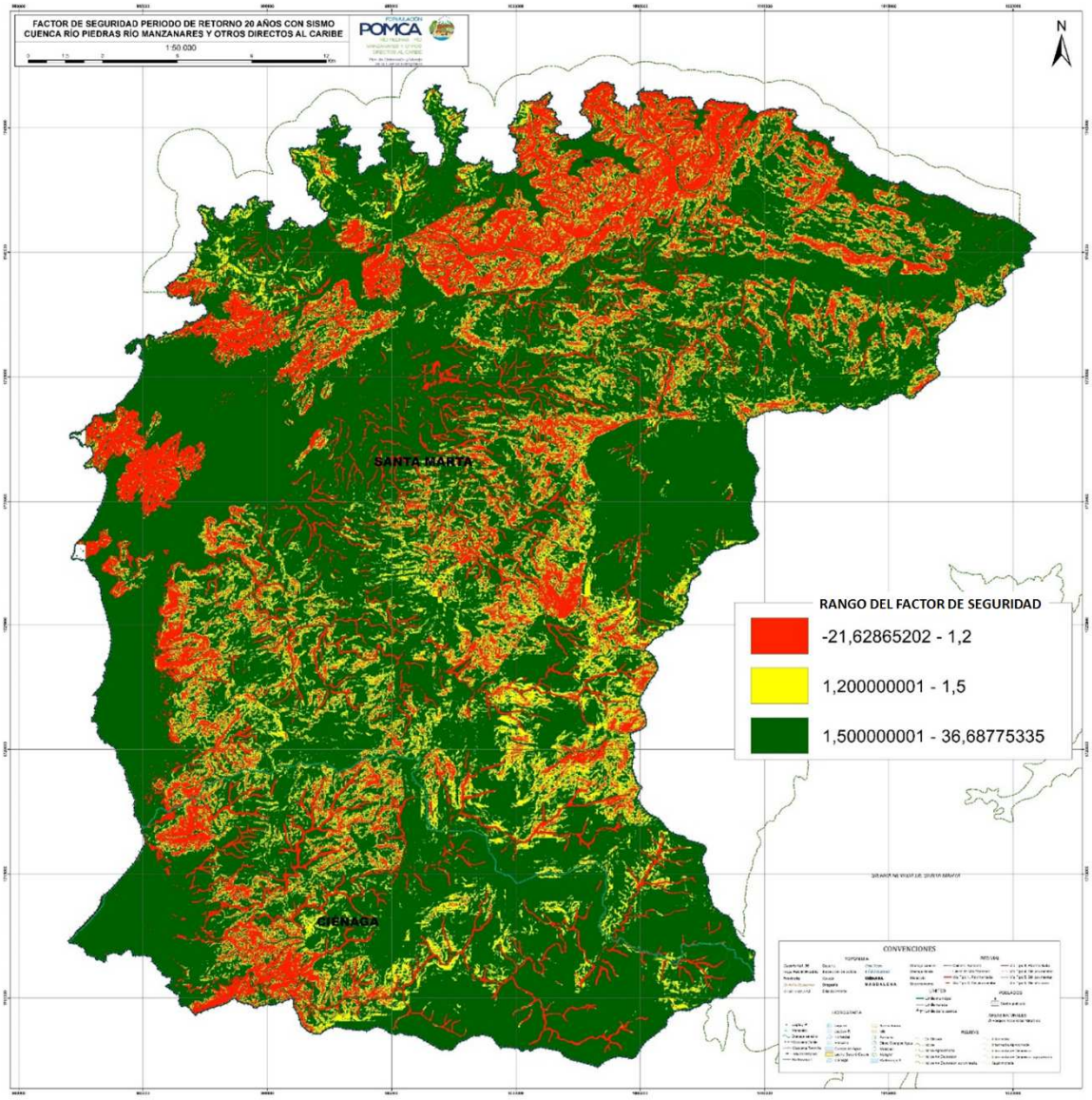


Figura 4.68. Calculo del Factor de Seguridad para el escenario 7, periodo de retorno a 50 años sin sismo

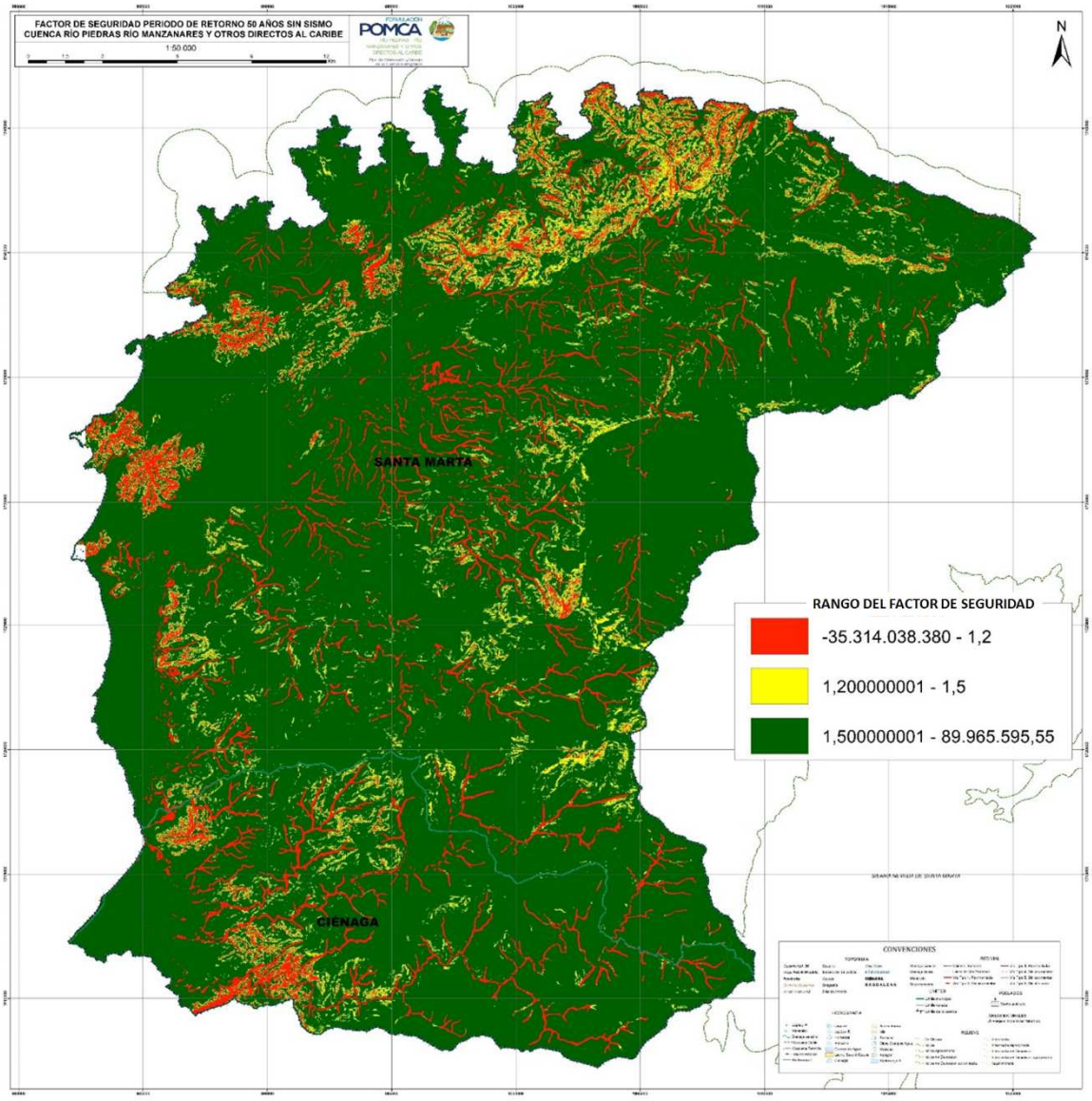


Figura 4.69. Calculo del Factor de Seguridad para el escenario 8, periodo de retorno a 50 años con sismo

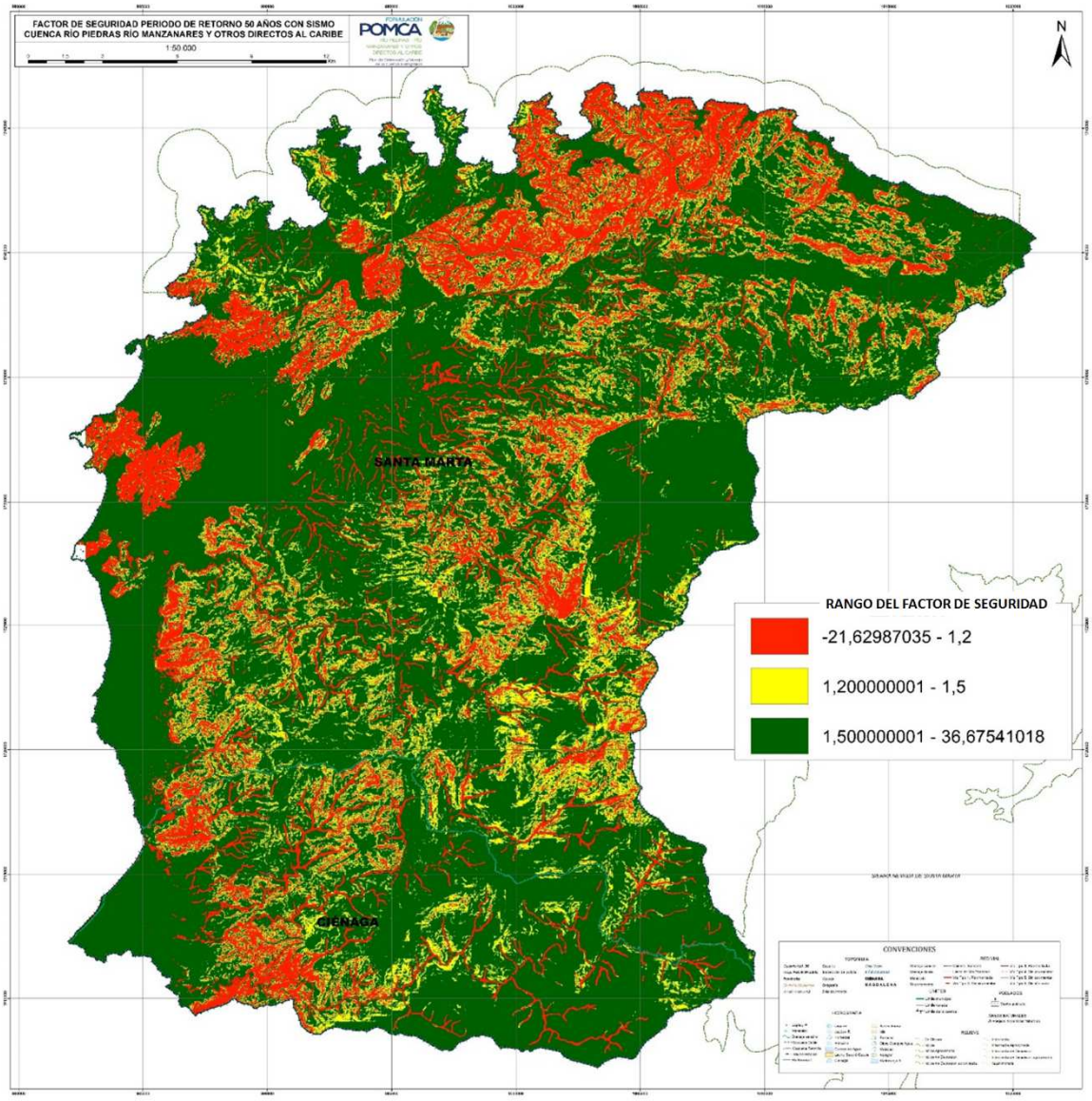


Figura 4.70. Calculo del Factor de Seguridad para el escenario 9, periodo de retorno a 100 años sin sismo

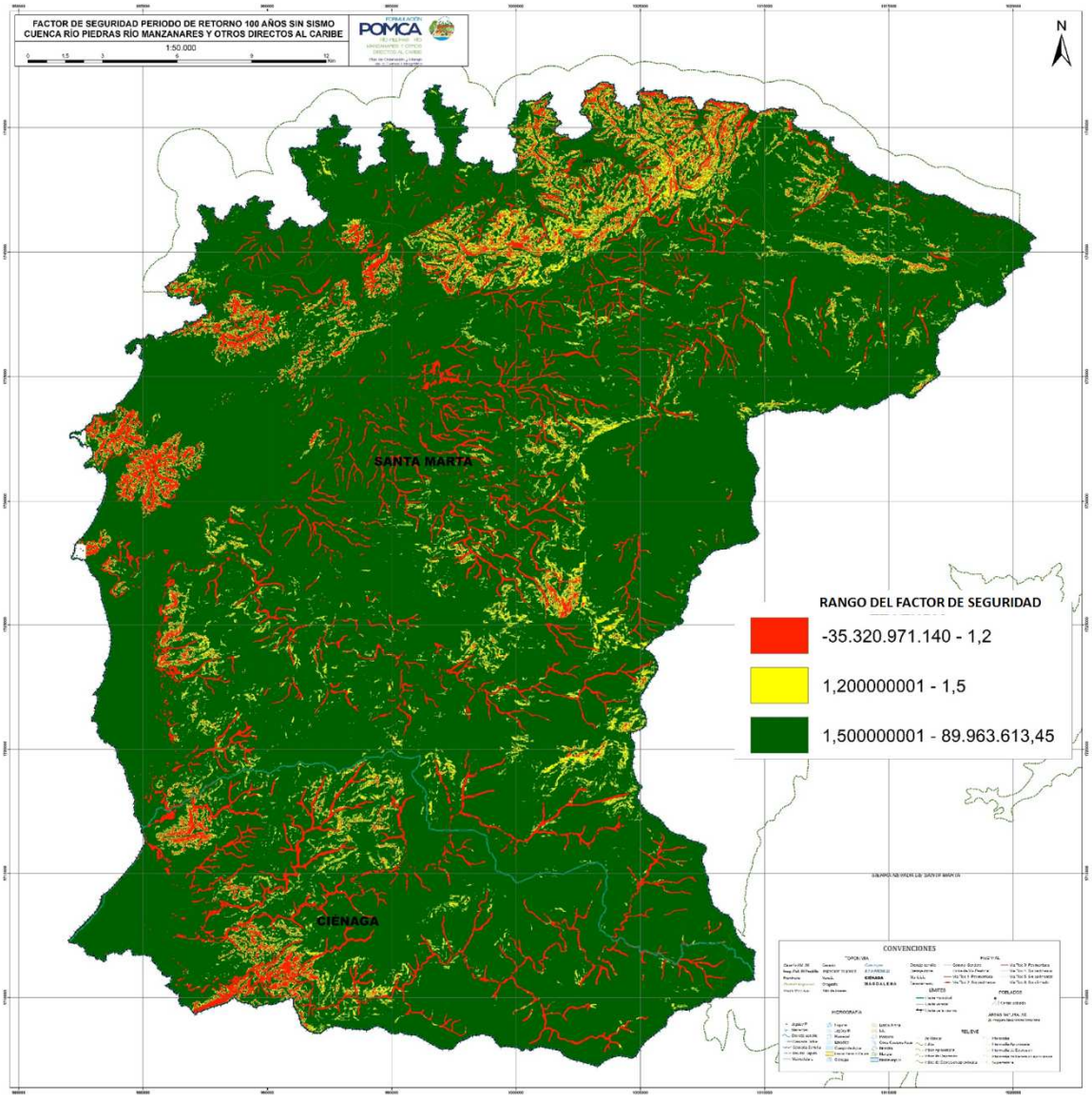
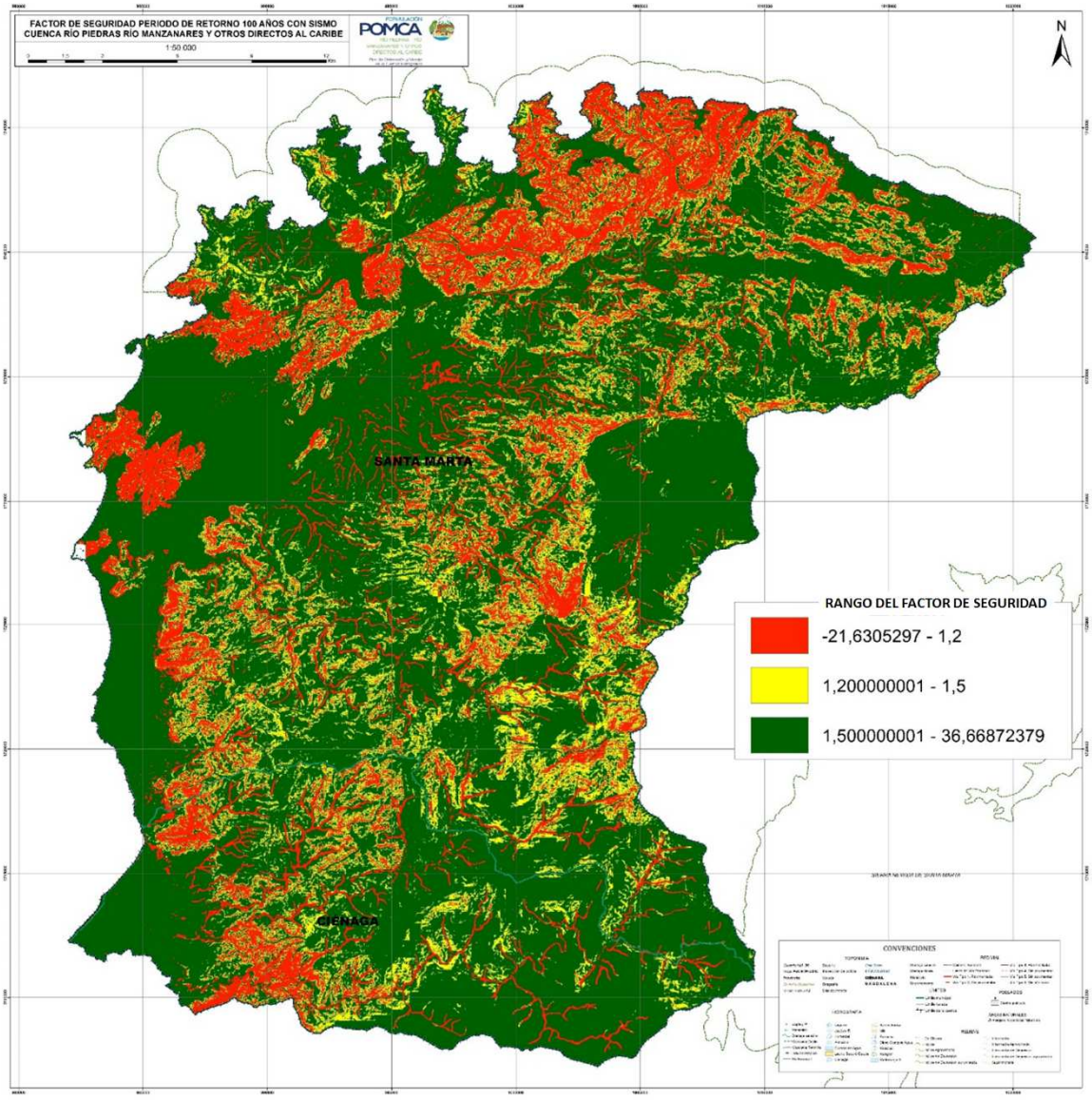
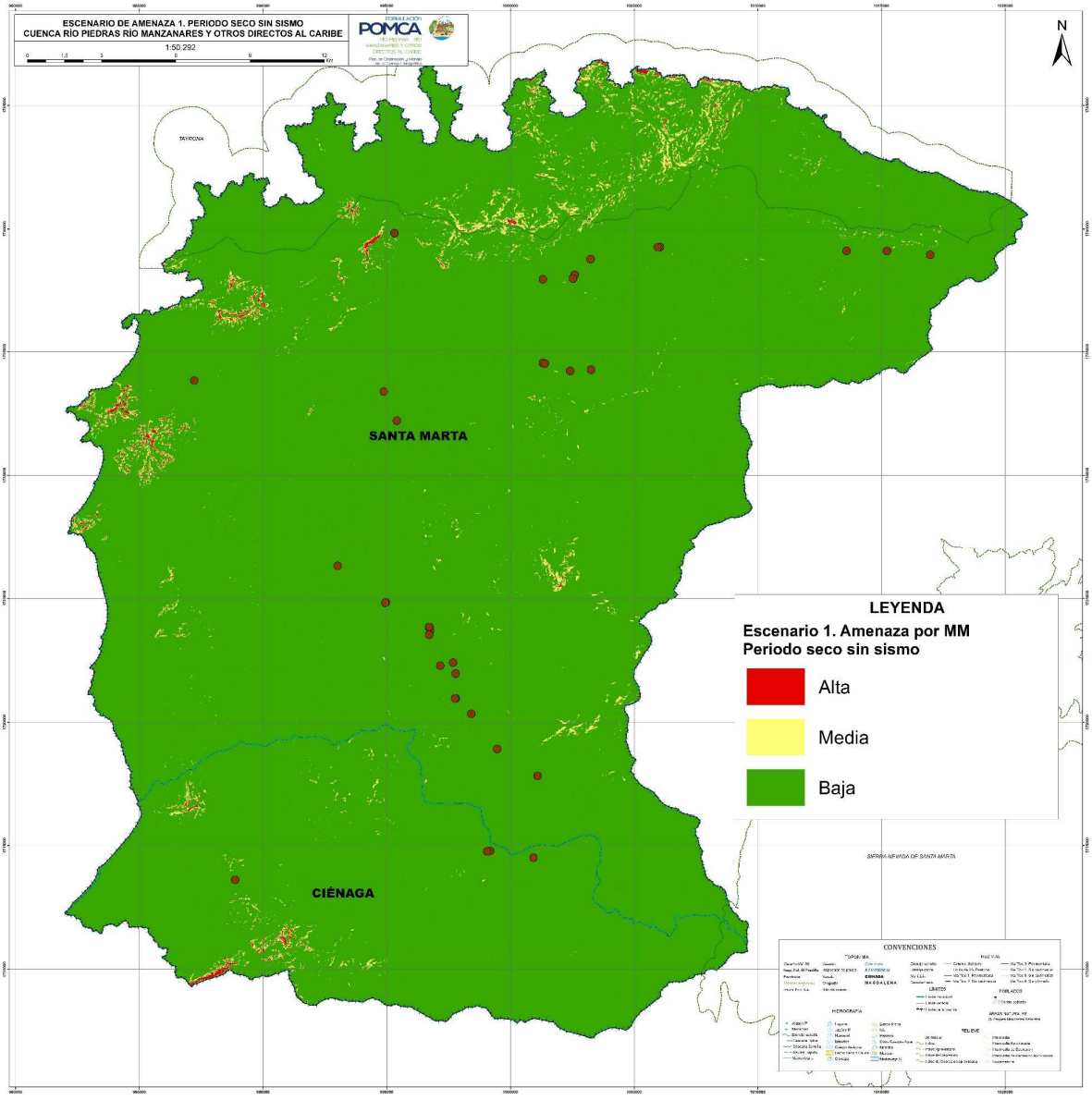


Figura 4.71. Calculo del Factor de Seguridad para el escenario 10, periodo de retorno a 100 años con sismo



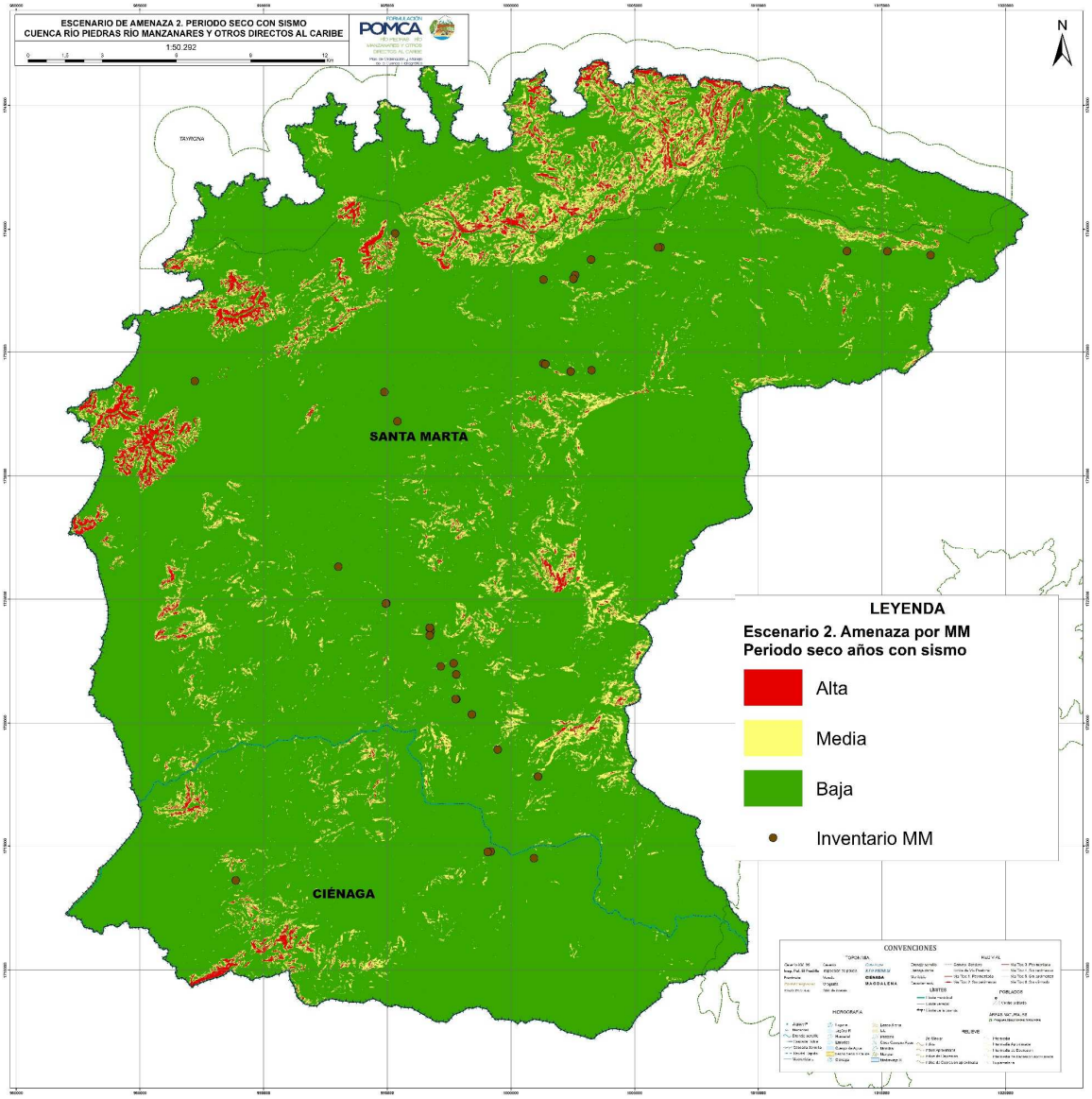
El método del talud infinito establece su aplicación para zonificaciones a escalas intermedias en grandes superficies del territorio, el cual se ajusta a los requerimientos básicos del modelo establecido para la zonificación de amenaza por movimientos en masa, donde se logra determinar la posible superficie de falla a partir de la caracterización de los depósitos. Teniendo los cálculos del factor de seguridad se determinan los 10 escenarios de amenaza validados con los eventos activos recientes para la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río manzanares y otros directos al Caribe los cuales se muestran de la Figura 4.72 a la Figura 4.81.

Figura 4.72. **Escenario de Amenaza 1, seco sin sismo**



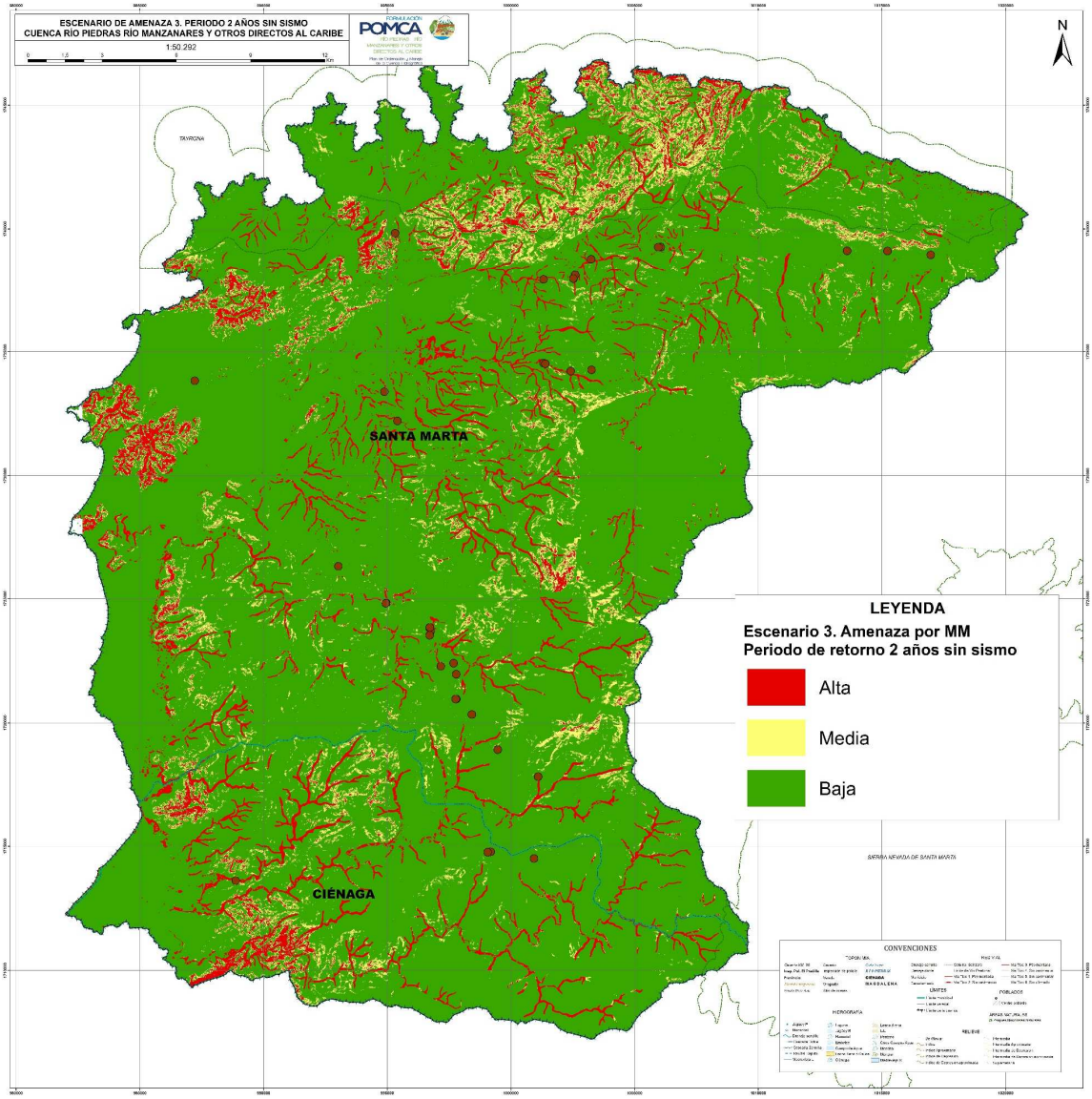
Para el escenario 1 mostrado en la Figura 4.72 en el área de la cuenca del Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe se determinaron 3 grados de amenaza por movimientos en masa, donde la categoría alta se distribuye en un 0,26%, amenaza media en 1,43% y amenaza baja en 98,31% del área total de la cuenca distribuida en las zonas topográficamente bajas con morfologías planas. Cabe resaltar que por tener ausencia de los detonantes para este escenario no se evidencia relación con los eventos activos recientes.

Figura 4.73. **Escenario de Amenaza 2, seco con sismo**



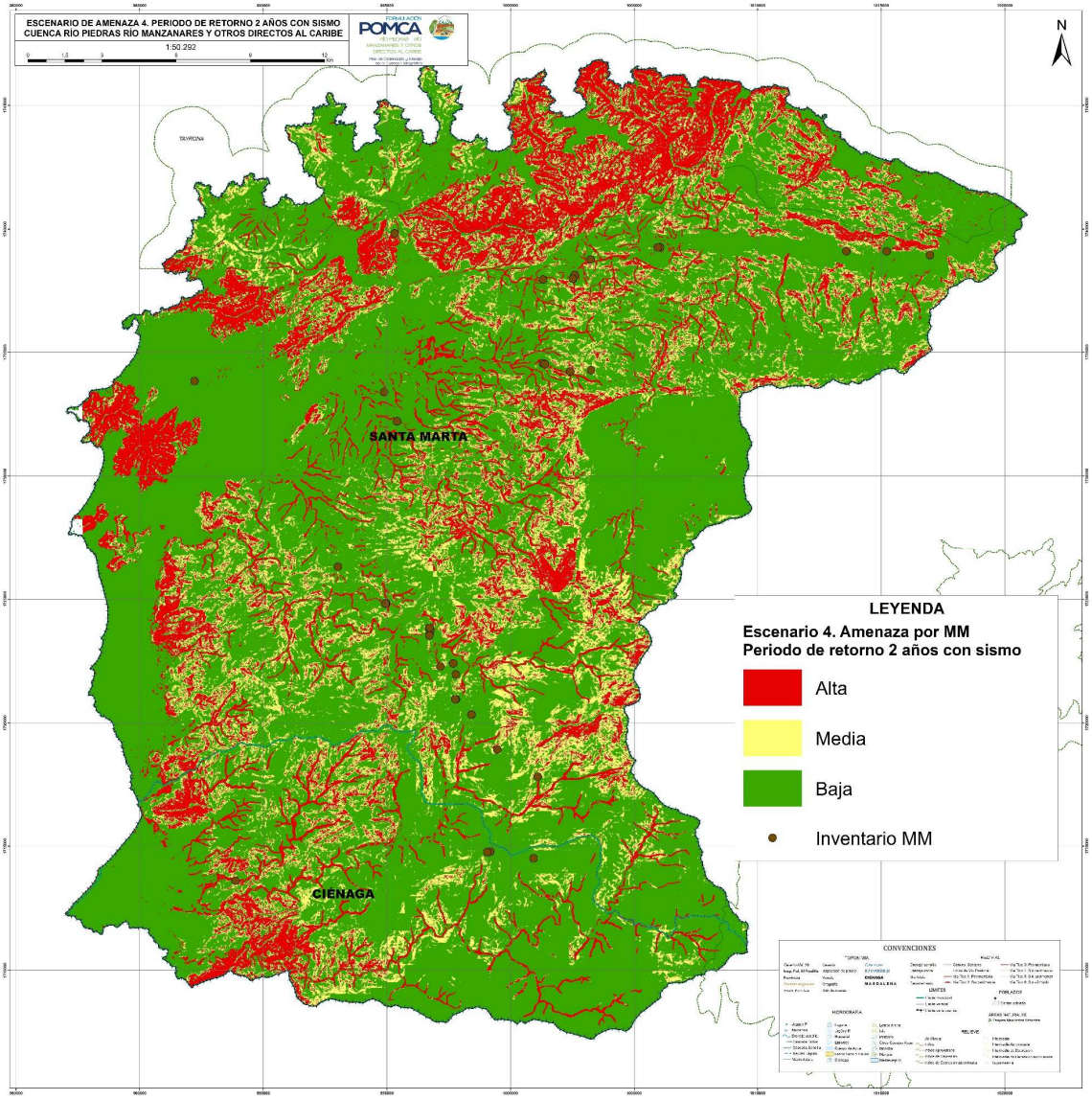
Para el escenario 2 mostrado en la Figura 4.73 en el área de la cuenca del Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe se determinaron 3 grados de amenaza por movimientos en masa, donde la amenaza alta se distribuye en un 2,29%, en zonas correspondientes a los corregimientos de Bonda, Guacháca, Taganga y Minca para el municipio de Santa Marta, y en los sectores de Jolonura y Región Córdoba para el municipio de Ciénaga, amenaza media un 6,57% y amenaza baja en 91,15% del área total de la cuenca distribuida en las zonas topográficamente bajas con morfologías planas. En el análisis de este escenario se tiene en cuenta el detonante sismo, sin embargo, no se evidencia relación con los eventos activos recientes.

Figura 4.74. **Escenario de Amenaza 3, periodo de retorno a 2 años sin sismo**



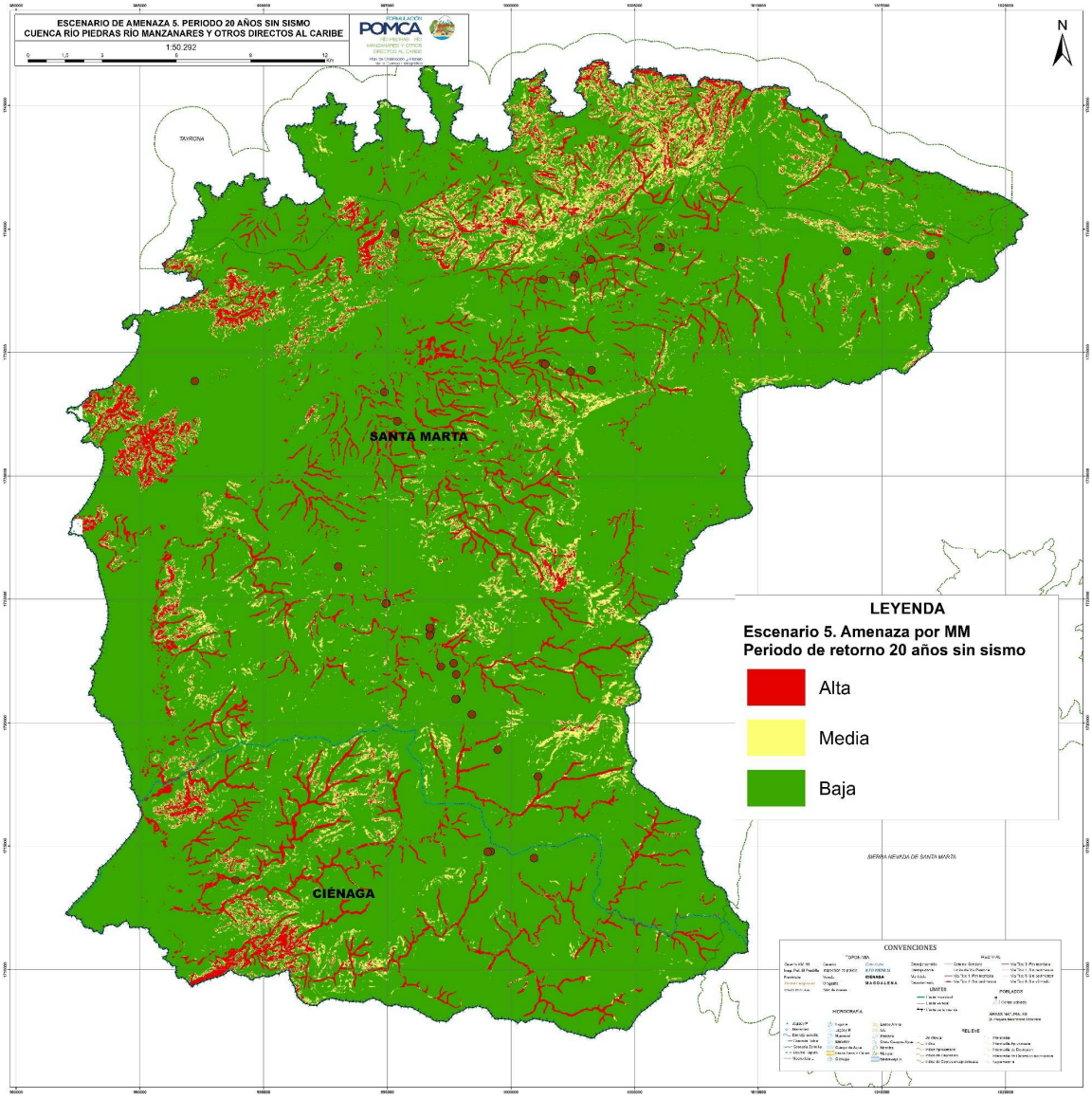
Para el escenario 3 mostrado en la Figura 4.74 en el área de la cuenca del Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe se determinaron 3 grados de amenaza por movimientos en masa, donde la amenaza alta se distribuye en un 8,09%, en zonas donde se identificó la ocurrencia a partir de características morfodinámicas y la resistencia de los materiales, amenaza media un 6,08% localizada en zonas expuestas a la generación de estos eventos donde se determina moderadamente la posibilidad de recurrencia de estos procesos, ya que por características geomorfológicas y geológicas disminuye considerablemente la presencia de estos eventos y amenaza baja en 85,83% del área total de la cuenca distribuida en las zonas topográficamente bajas con morfologías planas.

Figura 4.75. **Escenario de Amenaza 4, periodo de retorno a 2 años con sismo**



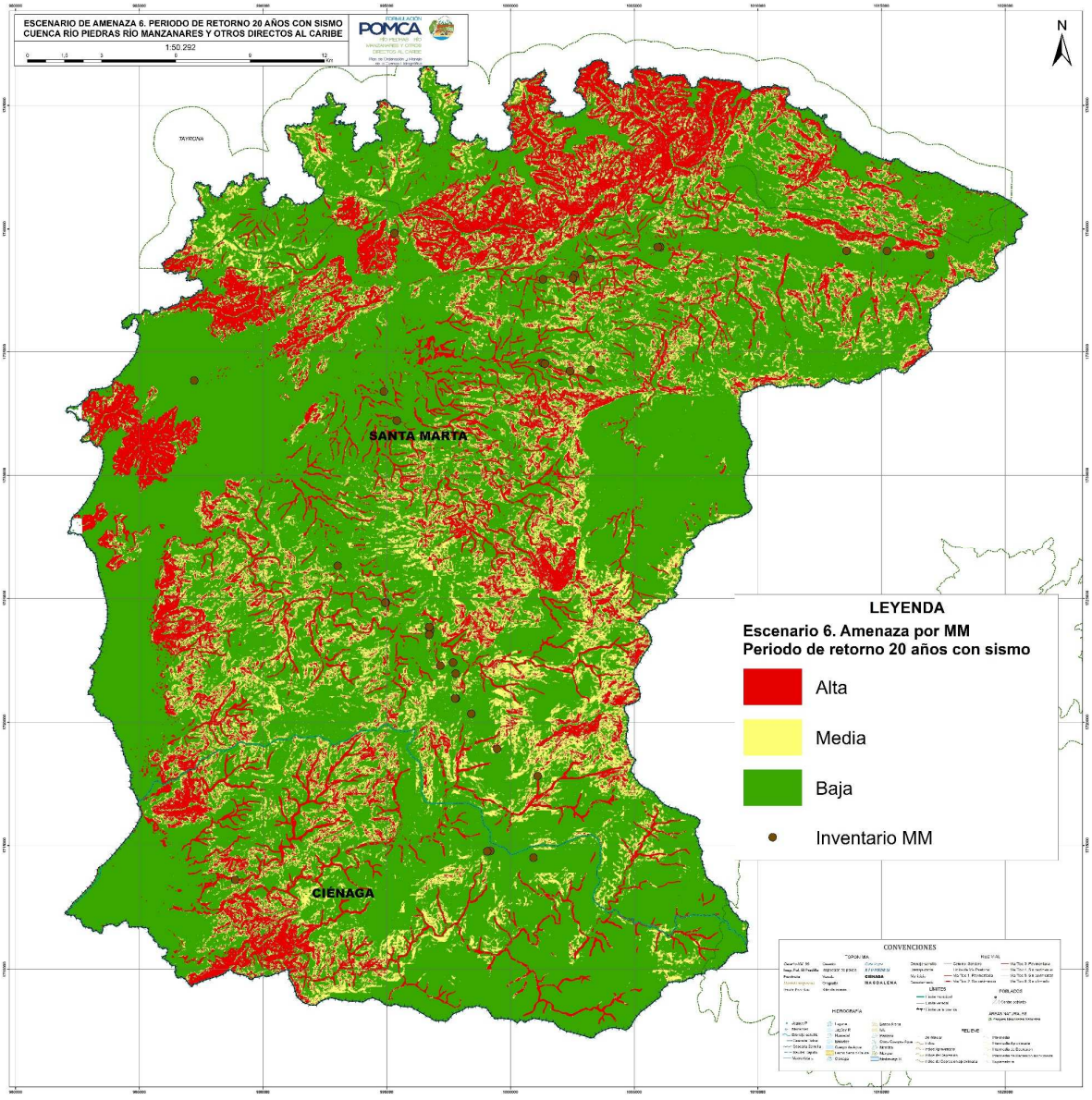
Para el escenario 4 mostrado en la Figura 4.75 para el área de la cuenca del Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe se determinaron 3 grados de amenaza por movimientos en masa, donde la categoría alta se distribuye en un 18,19%, en zonas donde se identificó la ocurrencia a partir de características morfodinámicas, influenciada por la precipitación y la resistencia de los materiales, amenaza media un 14,33% localizada en zonas expuestas a la generación de estos eventos donde se determina moderadamente la posibilidad de recurrencia de estos procesos, ya que por características geomorfológicas y geológicas disminuye considerablemente la presencia de estos eventos y amenaza baja en 67,49% del área total de la cuenca distribuida en las zonas topográficamente bajas con morfologías planas.

Figura 4.76. **Escenario de Amenaza 5, periodo de retorno a 20 años sin sismo**



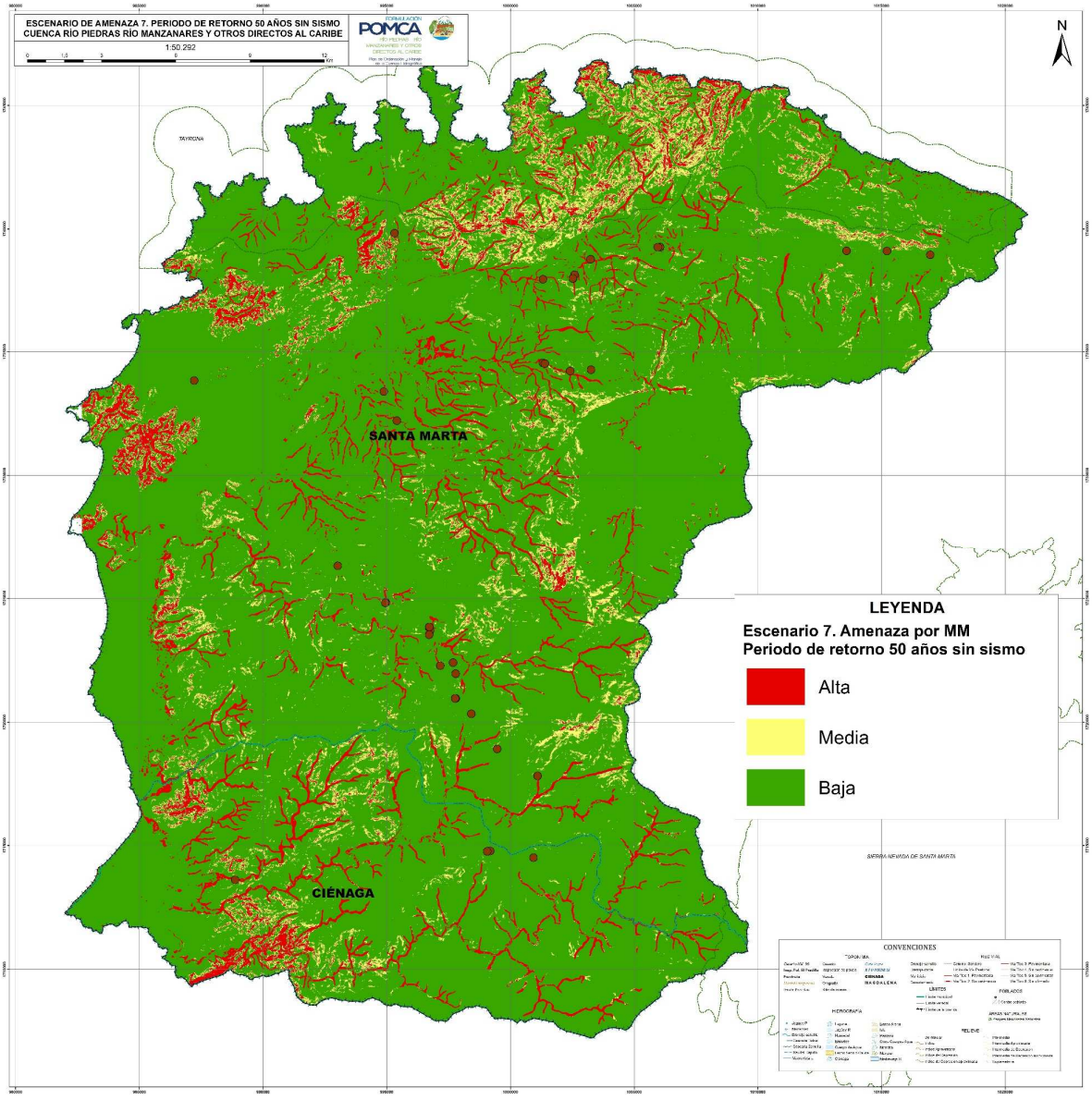
Para el escenario 5 mostrado en la Figura 4.76 para el área de la cuenca del Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe se determinaron 3 grados de amenaza por movimientos en masa, donde la categoría alta se distribuye en un 8,11%, en zonas donde se identificó la ocurrencia a partir de características morfodinámicas distribuida en gran parte del área de la cuenca influenciada principalmente por la precipitación, amenaza media un 6,10% localizada en zonas expuestas a la generación de estos eventos donde se determina moderadamente la posibilidad de recurrencia de estos procesos, ya que por características geomorfológicas y geológicas disminuye considerablemente la presencia de estos eventos y amenaza baja en 85,79% del área total de la cuenca distribuida en las zonas topográficamente bajas con morfologías planas.

Figura 4.77. **Escenario de Amenaza 6, periodo de retorno a 20 años con sismo**



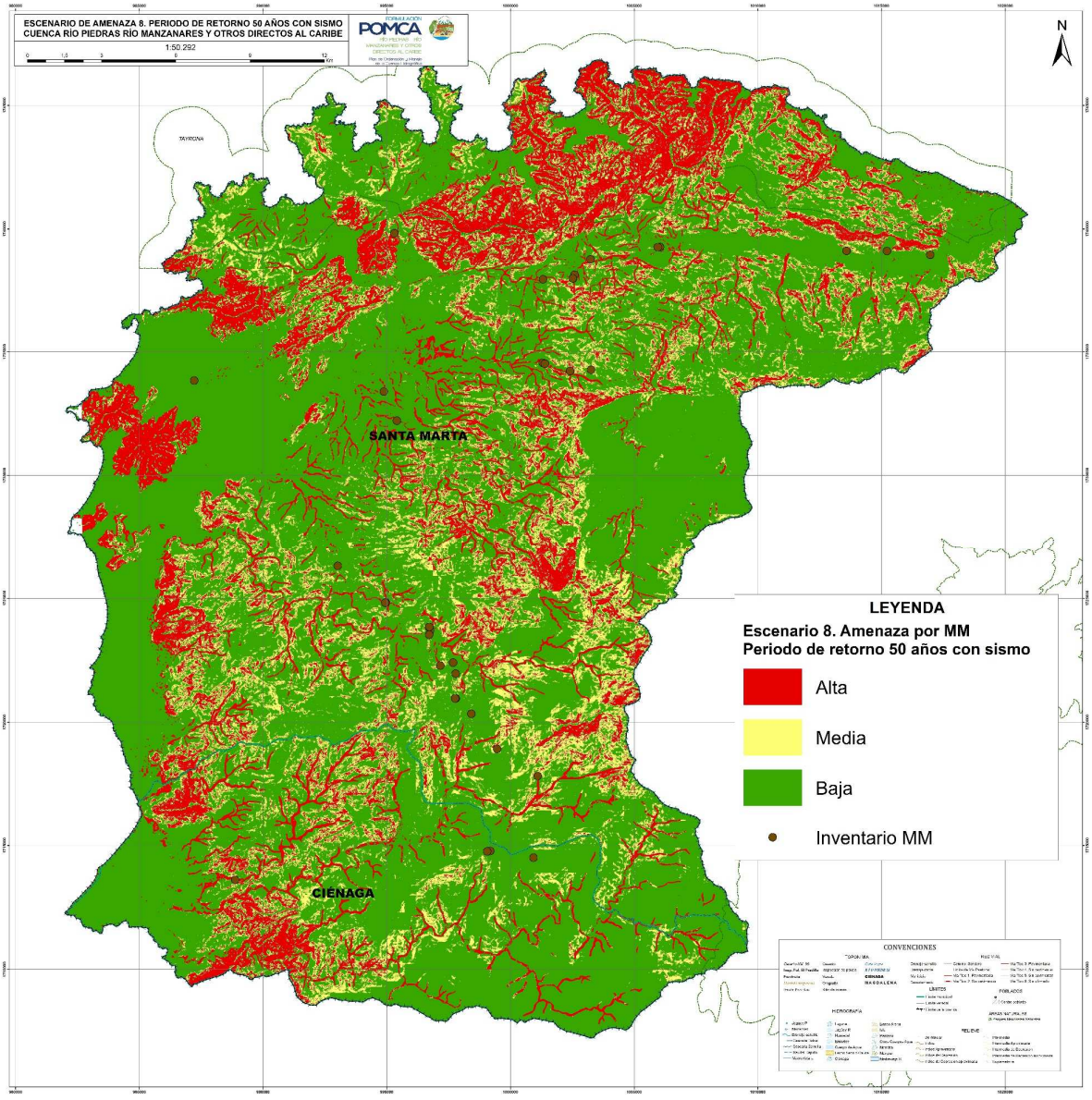
Para el escenario 6 mostrado en la Figura 4.77 para el área de la cuenca del Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe se determinaron 3 grados de amenaza por movimientos en masa, donde la categoría de amenaza alta se distribuye en un 18,23%, en zonas donde se identificó la ocurrencia a partir de características morfodinámicas, la resistencia de los materiales y la influencia de la precipitación, amenaza media un 14,35% localizada en zonas expuestas a la generación de estos eventos donde se determina moderadamente la posibilidad de recurrencia de estos procesos, ya que por características geomorfológicas y geológicas disminuye considerablemente la presencia de estos eventos y amenaza baja en 67,42% del área total de la cuenca distribuida en las zonas topográficamente bajas con morfologías planas.

Figura 4.78. **Escenario de Amenaza 7, periodo de retorno a 50 años sin sismo**



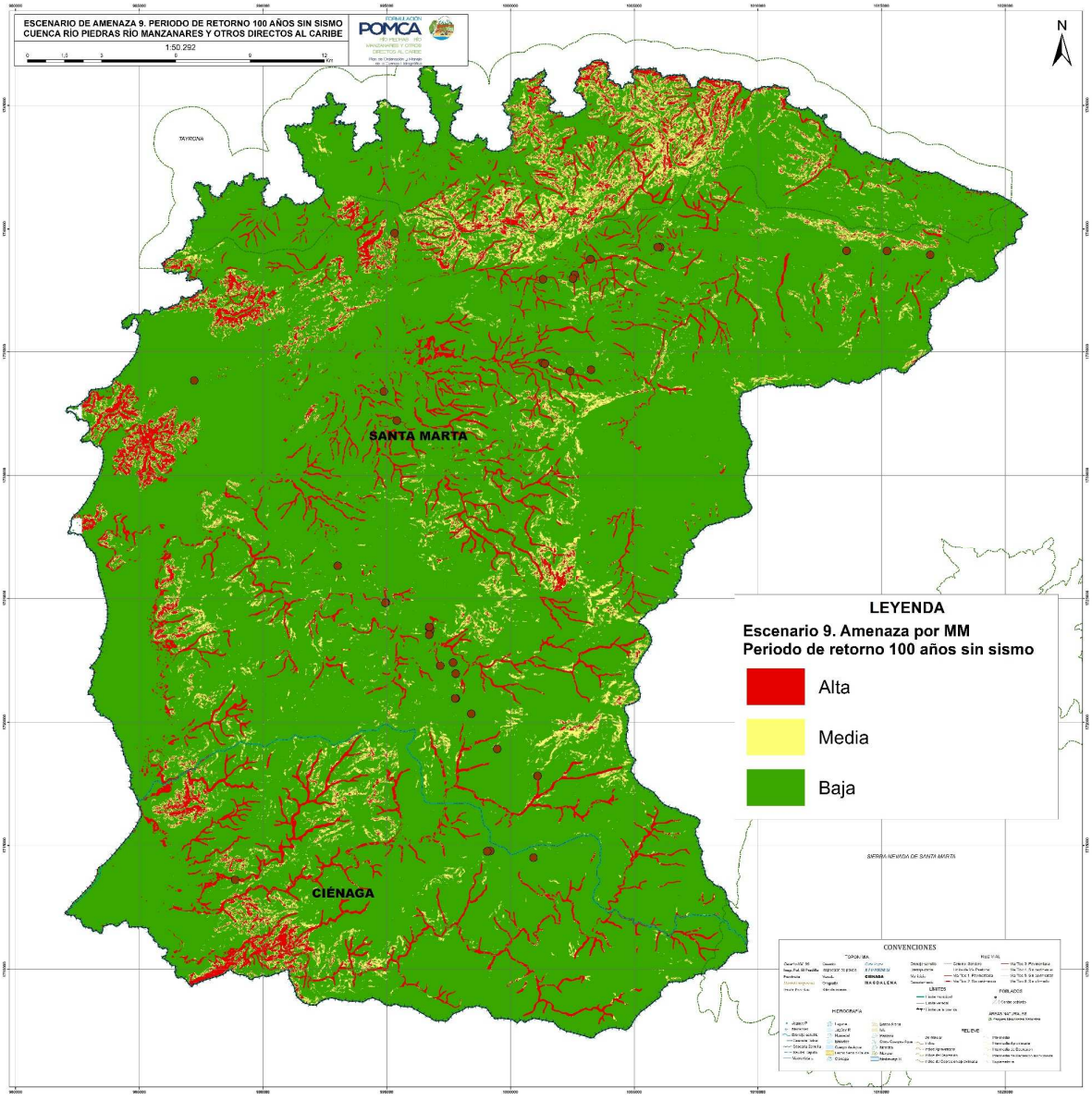
Para el escenario 7 mostrado en la Figura 4.78 para el área de la cuenca Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe se determinaron 3 grados de amenaza por movimientos en masa, donde la susceptibilidad alta se distribuye en un 8,11%, en zonas donde se identificó la ocurrencia a partir de características morfodinámicas, la resistencia de los materiales y la influencia de la precipitación, amenaza media un 6,10% localizada en zonas expuestas a la generación de estos eventos donde se determina moderadamente la posibilidad de recurrencia de estos procesos, ya que por características geomorfológicas y geológicas disminuye considerablemente la presencia de estos eventos y amenaza baja en 85,79% del área total de la cuenca distribuida en las zonas topográficamente bajas con morfologías planas.

Figura 4.79. **Escenario de Amenaza 8, periodo de retorno a 50 años con sismo**



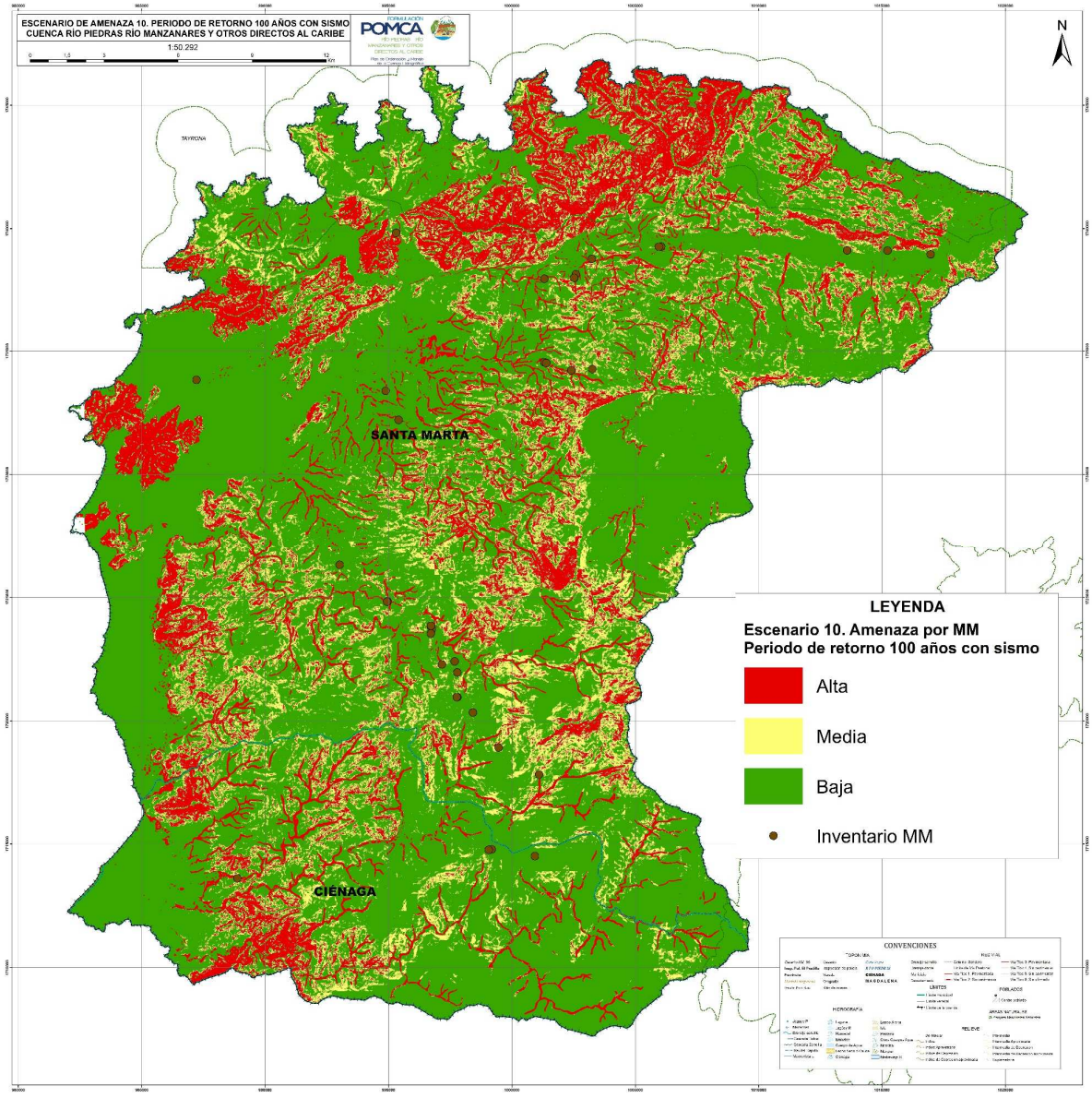
Para el escenario 8 mostrado en la Figura 4.79 para el área de la cuenca Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe se determinaron 3 grados de amenaza por movimientos en masa, donde la categoría alta se distribuye en un 18,24%, en zonas donde se identificó la ocurrencia a partir la resistencia de los materiales, características morfodinámicas y la influencia de la precipitación, amenaza media un 14,35% localizada en zonas expuestas a la generación de estos eventos donde se determina moderadamente la posibilidad de recurrencia de estos procesos, ya que por características geomorfológicas y geológicas disminuye considerablemente la presencia de estos eventos y amenaza baja en 67,41% del área total de la cuenca distribuida en las zonas topográficamente bajas con morfologías planas.

Figura 4.80. **Escenario de Amenaza 9, periodo de retorno a 100 años sin sismo**



Para el escenario 9 mostrado en la Figura 4.80 para el área de la cuenca Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe se determinaron 3 grados de amenaza por movimientos en masa, donde la categoría de amenaza alta se distribuye en un 8,11%, en zonas donde se identificó la ocurrencia de eventos activos distribuida de forma general en toda el área de la cuenca evidenciando la influencia principalmente de la precipitación, amenaza media un 6,10% localizada en zonas expuestas a la generación de estos eventos donde se determina moderadamente la posibilidad de recurrencia de estos procesos, ya que por características geomorfológicas y geológicas disminuye considerablemente la presencia de estos eventos y amenaza baja en 85,79% del área total de la cuenca distribuida en las zonas topográficamente bajas con morfologías planas.

Figura 4.81. **Escenario de Amenaza 10, periodo de retorno a 100 años con sismo**



Para el escenario 10 mostrado en la Figura 4.81 para el área de la cuenca Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe se determinaron 3 grados de amenaza por movimientos en masa, donde la categoría alta se distribuye en un 18,24%, en zonas donde se identificó la ocurrencia a partir de características morfodinámicas, la resistencia de los materiales y la influencia de la precipitación, amenaza media un 14,35% localizada en zonas expuestas a la generación de estos eventos donde se determina moderadamente la posibilidad de recurrencia de estos procesos, ya que por características geomorfológicas y geológicas disminuye considerablemente la presencia de estos eventos y amenaza baja en 67,41% del área total de la cuenca distribuida en las zonas topográficamente bajas con morfologías planas.

Con los 10 escenarios de amenaza obtenidos, se determina la probabilidad a partir de la varianza del factor de seguridad. Con este valor se obtiene la desviación estándar y el área bajo la curva normal, calculando así, la probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Z = \frac{1 - Fs}{\sigma Fs}$$

$$\mathbf{P} = (0.5 + Z)\ 100$$

$$\mathbf{P} = (0.5 - Z)\ 100$$

Donde:

- Z = distancia entre el Factor de Seguridad y la ordenada en la curva normal. Siempre representa un área menor a **1**.
- σ (FS) = Desviación estándar del Factor de Seguridad.
- P = Probabilidad de ocurrencia de falla.

Teniendo esto, mediante el software ArcGis se obtiene el mapa de zonificación de amenaza por movimientos en masa. A partir de la cartografía, se procede a realizar el control de campo con las condiciones actuales del terreno y los movimientos en masa reportados en el inventario como eventos activos recientes (Figura 4.82), con el fin de realizar una calibración en el modelo y así obtener la zonificación final de amenaza por movimientos en masa para la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe (Figura 4.83) y se detalla en el Anexo 14.

Figura 4.82. Calibración del modelo de zonificación con el reconocimiento de campo y los eventos activos – recientes.

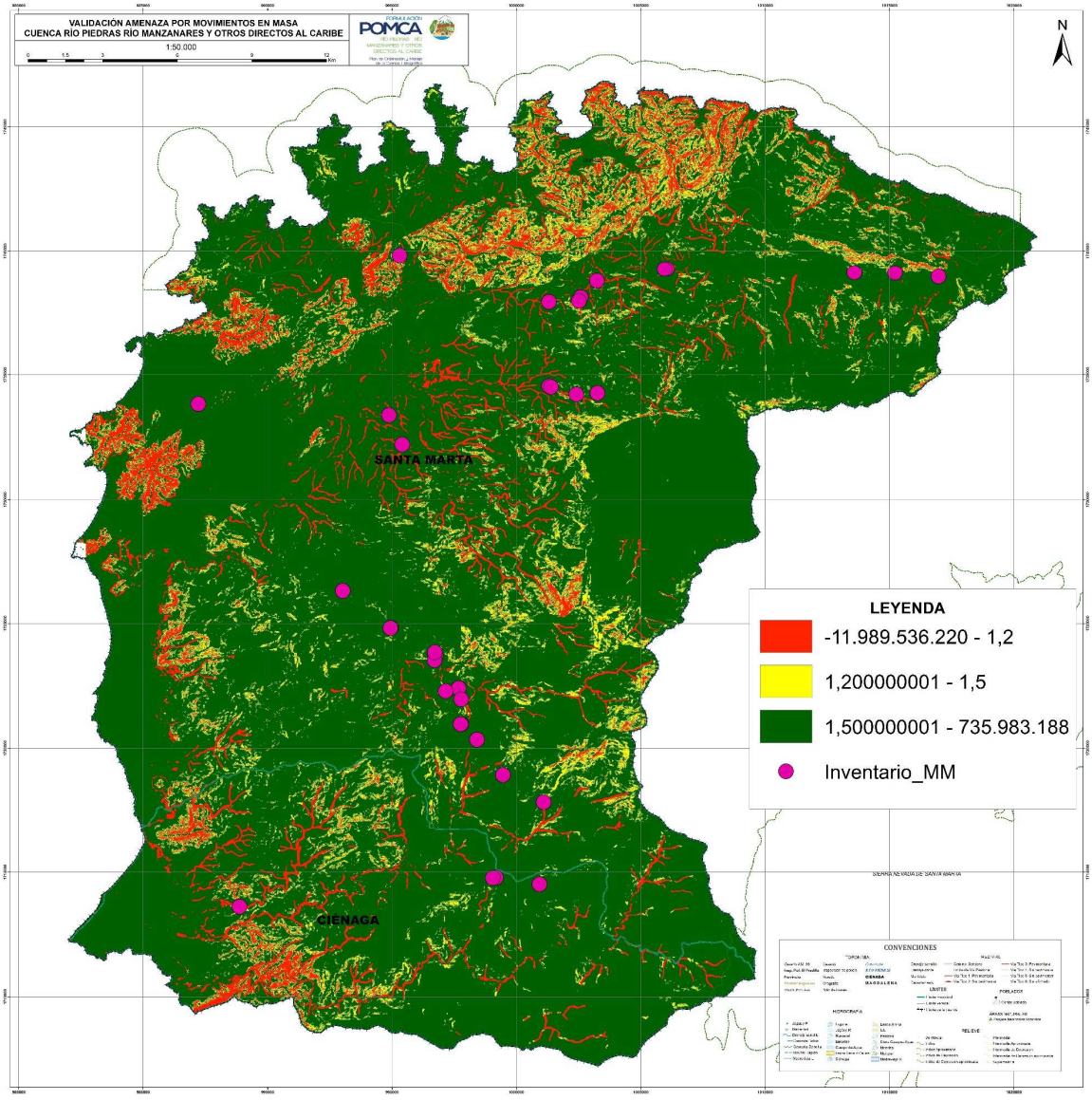
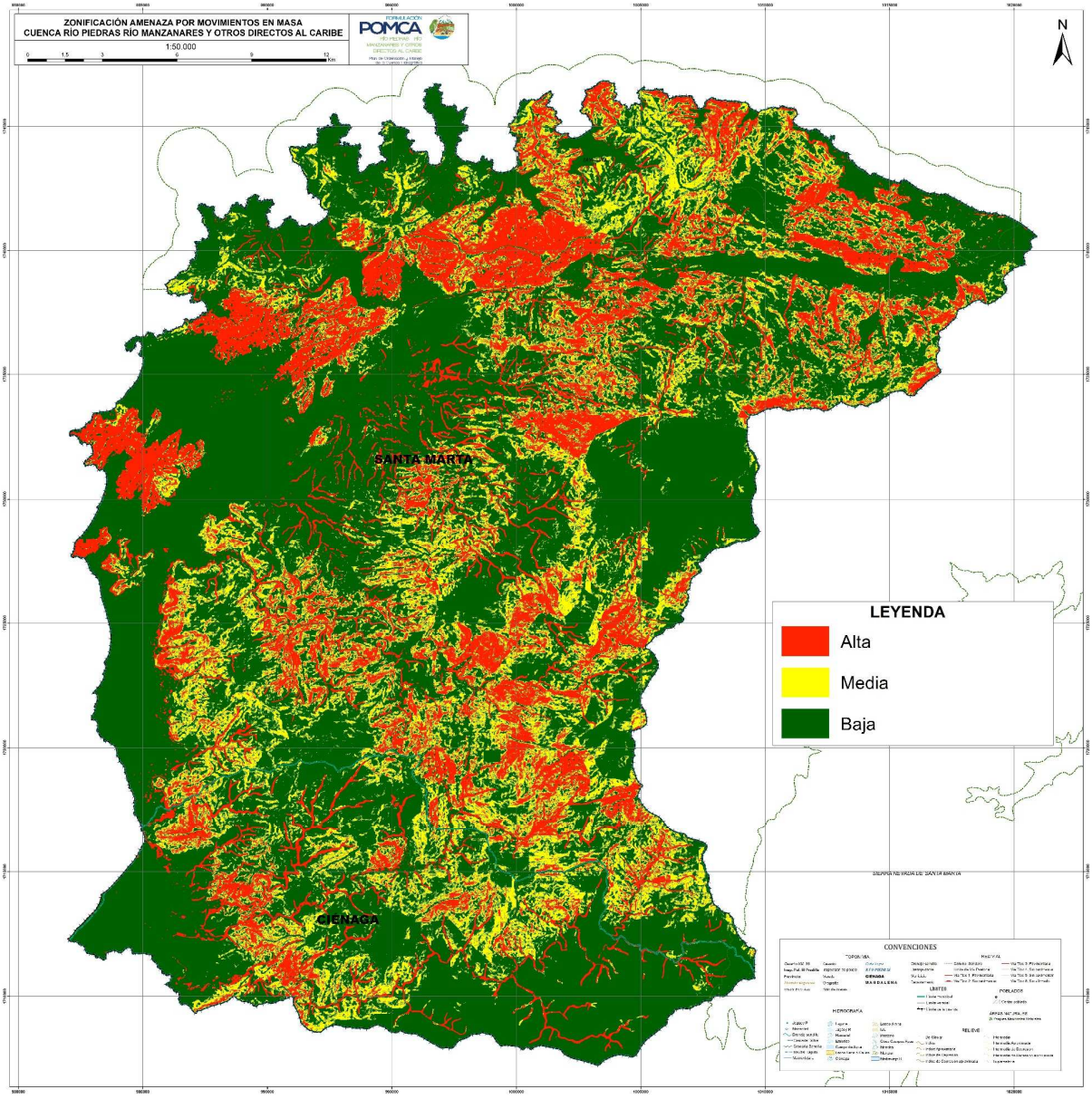
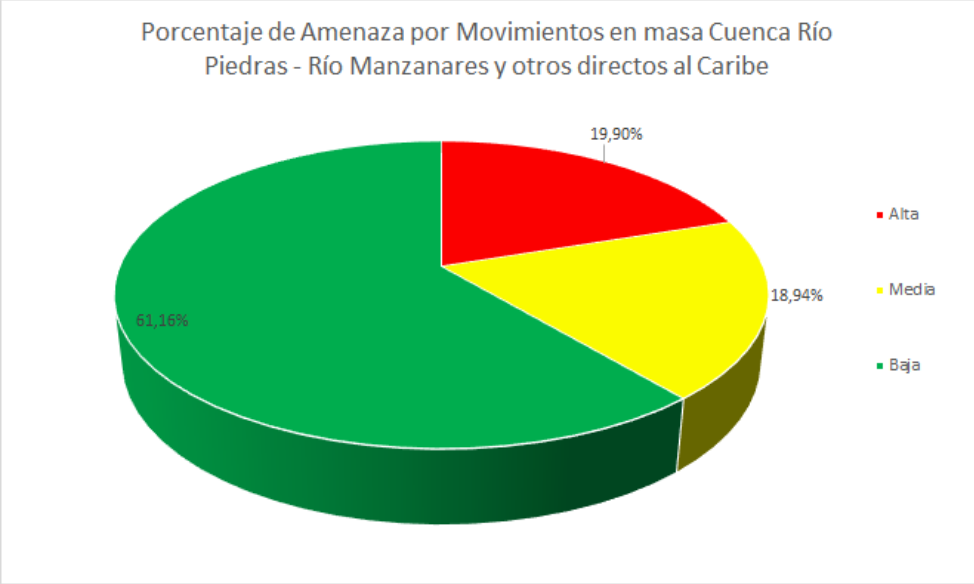


Figura 4.83. **Zonificación de amenaza por movimientos en masa.**



La Figura 4.84 muestra la distribución porcentual en cada categoría de amenaza por movimientos en masa para la cuenca en estudio.

Figura 4.84. Porcentajes de cada categoría de amenaza por movimientos en masa



4.3.1.3. *Amenaza Alta*

Corresponde al 19,9% del área de la cuenca, asociada a geoformas de origen denudacional, estructurales y fluviales, se distribuye en toda el área de la cuenca, en las zonas topográficamente accidentadas en los corregimientos de Guachaca, Bonda, Taganga, Minca y en sectores del casco urbano pertenecientes al municipio de Santa Marta, y en las veredas Jolonura, Mamonal, Región Córdoba, Lourdes, Cantarana, y La Reserva del municipio de Ciénaga.

4.3.1.4. *Amenaza Media*

Corresponde al 18,94% del área de la cuenca, se asocia a georfomas que presentan fenómenos de remoción en masa de origen denudacional, moderadamente en rocas blandas localizada distribuidamente en el área de la cuenca en los municipios de Santa Marta y Ciénaga.

4.3.1.5. *Amenaza Baja*

Para el área de la cuenca, la amenaza baja se presenta en un porcentaje alto equivalente al 61,16%, representado en las áreas con geoformas planas y de muy baja pendiente, distribuida en toda el área de la cuenca.

4.3.1.6. *Necesidades de Información*

Contar con estudios detallados geotécnicos, que alimenten la elaboración cartográfica a la escala requerida en los POMCA para cada municipio, ya que es de gran utilidad para la determinación del enfoque investigativo aplicado en las áreas de mayor importancia contando los sectores donde se tiene el mayor reporte de eventos, tipos de materiales y geoformas generalmente susceptibles a generar fenómenos de este tipo, con el fin de prever estos eventos y mitigar los daños que se puedan causar, previniendo y aumentando el conocimiento de la población en la reducción de este tipo de amenaza en los lugares de mayor cuidado en el área de la cuenca.

Generación de cartografía temática por las entidades oficiales para cada variable utilizada en el análisis de factor de seguridad, integrando las bases de datos con los eventos recurrentes y una caracterización general con información valiosa y pertinente de los tipos de procesos, la ocurrencia, detonantes, condicionantes y otras características definidas por las entidades gubernamentales para la caracterización de los eventos.

El inventario de movimientos en masa con la cantidad de información específica por cada proceso georreferenciado con sus caracterización y morfometría respectiva, es de gran importancia en la evaluación de la zonificación de amenaza por movimientos en masa, por lo cual es preciso contar con bases de datos donde se encuentre disponible la mayor información posible recopilada y referenciada espacialmente, ya que es necesario realizar verificaciones más precisas y tener una visión clara del modelo a elaborar.

Verificar los procesos morfodinámicos asociados a movimientos en masa, que se generan al interior del Parque Nacional Sierra Nevada y Tayrona, con el propósito de integrar en su plan de manejo, medidas de reducción y/o mitigación de este tipo de eventos.

4.3.1.7. *Recomendaciones Finales*

A partir de los resultados obtenidos se recomienda realizar diferentes proyectos de mitigación principalmente en las vías secundarias y terciarias donde se realizan ampliaciones de carreteables sin controles geotécnicos correspondientes, manteniendo el control natural de los taludes en las zonas morfológicamente accidentadas en las áreas con amenaza alta, en los corregimientos de Minca, Bonda, Guachaca correspondiente al municipio de Santa Marta, veredas como Jolonura, Aguaslindas y Cordobita del municipio de Ciénaga, y en la vía que conduce a Santa Marta con Minca – El Campano – La Tagua donde se deben controlar aguas subterráneas y desarrollo de meteorización física de los materiales.

Realizar estudios detallados geológico - geotécnicos en las áreas críticas reportadas en los instrumentos de planificación con estrategias precisas que logren mitigar y disminuir el riesgo en las poblaciones con mayor afectación por este tipo de eventos, requiriendo programas de control natural de taludes, obras de contención estructural en los eventos activos de mayor importancia e impedir la deforestación indiscriminada en zonas de amenaza alta y media donde es posible la presencia de nuevos procesos de remoción en masa.

Se deben implementar programas de control y seguimiento, que impidan el establecimiento de viviendas o actividades productivas en las áreas categorizadas como de amenaza alta por movimientos en masa. De igual manera, se deben analizar las condiciones de vulnerabilidad y riesgo, para establecer los programas de reubicación que se requieran.

Desarrollar planes de reforestación en las zonas que son geomorfológicamente susceptibles a presentar movimientos en masa como subunidades denudacionales, y fluviales en zonas de ladera en conjunto con los grupos comunitarios, sectores educativos; y con seguimiento y apoyo de la autoridad ambiental (CORPAMAG).

4.3.2. Amenaza por Inundaciones

El estudio del riesgo asociado a las inundaciones, y en términos generales los desbordamientos de los cauces y corrientes de una cuenca en eventos de lluvias intensas, se encuentra ligado a la precipitación que se deposita en la unidad hidrográfica, así como en la topografía del terreno que rodea los cursos de agua. Así, los modelos que suelen emplearse para tal fin se basan en relaciones de lluvia-escorrentía, a través de una metodología que combina el análisis hidrológico para determinar la relación entre la precipitación registrada en un área determinada y la cantidad de agua que puede llegar como escorrentía a los cauces y producir la inundación; un análisis hidráulico que define como cambia el flujo del cauce a lo largo de su recorrido, contemplando cambios en la pendiente y en las secciones transversales; y un análisis de inundación de llanura para contemplar las zonas bajas donde el flujo tiende a ser indefectiblemente bidimensional. (ERN, 2011)

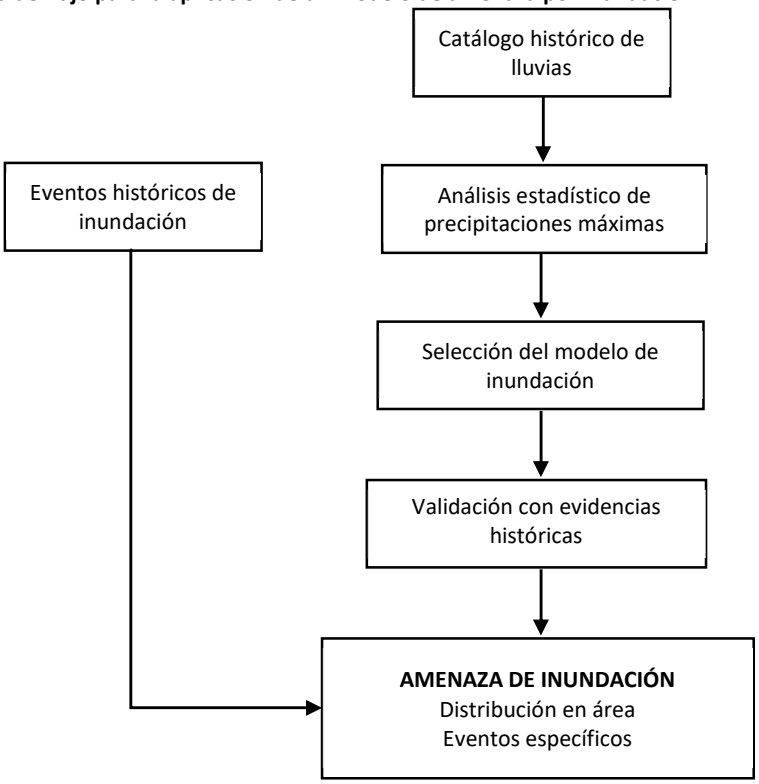
Ahora, la amenaza por inundación se suele expresar mediante medidas de intensidad distribuidas en el espacio geográfico analizado y según la probabilidad de ocurrencia del evento pluvial que origina la inundación. Dicha intensidad viene a ser una función de la profundidad y la velocidad del agua, así como de la duración de los eventos; por lo tanto, en la definición de la amenaza se debe tener en cuenta tanto la probabilidad de ocurrencia del evento de lluvia extremo como de los niveles o altura tirante del agua (ERN, 2011)

4.3.2.1. *Metodología para la Evaluación y zonificación de la amenaza por Inundaciones.*

A modo general, en la Figura 4.85 se describe la metodología empleada para la evaluación de la amenaza por inundación, cuya estructura contempla las siguientes etapas:

- Análisis estadístico de precipitaciones máximas. A partir de la evolución histórica de los datos máximos de precipitación diaria, se realiza el ajusta según la distribución de probabilidad más apropiada. Esta etapa se surtió en el análisis de eventos extremos del capítulo de Clima contenido en el Volumen 1 del presente Informe de Diagnóstico. Este análisis ofrece el valor de la precipitación máxima de 24 horas por cada período de retorno en 2, 2.33, 5, 10, 20, 25, 50, 100, 200 y 500 años. Finalmente, con ayuda de los Polígonos de Thiessen para las estaciones climatológicas, se determina el régimen promedio de lluvia para los períodos de retorno de interés (15, 100 y 500 años)

Figura 4.85. Diagrama de flujo para la aplicación de un modelo de amenaza por inundación



Fuente: El Consorcio. Adaptado de ERN (2011Diagrama de flujo para la aplicación de un modelo de amenaza por inundación.

- Selección del modelo de inundación: Tomando en consideración la escala semidetallada de trabajo y la configuración de la red de drenaje, se optó por trabajar con un modelo simplificado para la descripción de las inundaciones. En esencia, el criterio decisivo en la decisión tomada corresponde al porcentaje del área total de la Cuenca en categorías alta y/o media de susceptibilidad a inundaciones, y la viabilidad de disponer de datos topobatimétricos o su levantamiento en campo. En los modelos simplificados, la intensidad de la lluvia se traduce a profundidad de precipitación efectiva, a través del modelo de escorrentía del SCS (Chow, 1994 citado por ERN, 2011), de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$P_e = \frac{\left[P_m - \frac{508}{N} + 5{,}08\right]^2}{P_m + \frac{2032}{N} + 20{,}32}$$

En donde P_e es la precipitación efectiva en cm, P_m es la precipitación de la tormenta en cm y N es el número de escurrimiento o "de curva"

Dicha precipitación efectiva corresponde a la intensidad de lluvia remanente luego que, de la profundidad total de precipitación aportada por la tormenta, se ha gastado una porción en los

procesos hidrológicos de infiltración y evapotranspiración (Chow, 1994 citado por ERN, 2011)Dada la extensión de la Cuenca y sus condiciones de relieve se procedió a construir el hietograma de diseño para cada uno de los períodos de retorno de interés, tomando como base el modelo de Tormenta II del SCS para una duración de 24 horas. La distribución de lluvia acumulada para el modelo del SCS se resume en la siguiente tabla.

Figura 4.86. Distribución en escala de tiempo, de lluvia según los tipos de tormenta del Servicio de Conservación de suelos

Tormenta de 24 horas					
		P_t/P_{24}			
Hora t	í/24	Tipo I	Tipo IA	Tipo II	Tipo III
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.00	0.083	0.035	0.050	0.022	0.020
4.00	0.167	0.076	0.116	0.048	0.043
6.00	0.250	0.125	0.206	0.080	0.072
7.00	0.292	0.156	0.268	0.098	0.089
8.00	0.333	0.194	0.425	0.120	0.115
8.50	0.354	0.219	0.480	0.133	0.130
9.00	0.375	0.254	0.520	0.147	0.148
9.50	0.396	0.303	0.550	0.163	0.167
9.75	0.406	0.362	0.564	0.172	0.178
10.00	0.417	0.515	0.577	0.181	0.189
10.50	0.438	0.583	0.601	0.204	0.216
11.00	0.459	0.624	0.624	0.235	0.250
11.50	0.479	0.654	0.645	0.283	0.298
11.75	0.489	0.669	0.655	0.357	0.339
12.00	0.500	0.682	0.664	0.663	0.500
12.50	0.521	0.706	0.683	0.735	0.702
13.00	0.542	0.727	0.701	0.772	0.751
13.50	0.563	0.748	0.719	0.799	0.785
14.00	0.583	0.767	0.736	0.820	0.811
16.00	0.667	0.830	0.800	0.880	0.886
20.00	0.833	0.926	0.906	0.952	0.957
24.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Morales-Hernández, *et al.*, 2014 basado en Chow, *et al.* 1988

Para la construcción del hietograma instantáneo se debe agregar el resultante de la tabla anterior por intervalos de tiempo, considerando que hay escorrentía sólo si se cumple la siguiente condición:

$$P_m \geq \frac{508}{N} - 5{,}08$$

Con este hietograma se programó una simulación en 2D desacoplado con ayuda de la herramienta informática HEC-RAS 5.0.3. El HEC-RAS es un modelo de dominio público desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los EE.UU., el cual soluciona las ecuaciones de St. Venant para flujo no permanente en canales abiertos y resuelve de manera

aproximada mediante esquemas de Preissman las ecuaciones básicas de momentum y continuidad (Matgen *et al.*, 2007, citado por ERN, 2011)

Esta herramienta cuenta con la opción de realizar la simulación en un entorno 2D desacoplado de manera que representa el escurrimiento de la precipitación sobre un modelo de terreno previamente definido. Con esta opción se realizaron las simulaciones hidráulicas y de inundación en llanura para la determinación de la amenaza por inundación.

- Integración de la amenaza: Como paso final se procesan los resultados espaciales obtenidos en el modelo para cada período de retorno de interés, y con la ayuda de herramientas SIG se discriminan las áreas de amenaza alta, media, baja y nula dentro de la Cuenca, de acuerdo con la siguiente categorización:

Tabla 4.54. **Categorías amenaza por inundación**

Categoría de Amenaza	Descripción
Alta	Zona comprendida por la mancha de inundación para un periodo de retorno de 15 años.
Media	Zona comprendida entre las manchas de inundación de 15 a 100 años.
Baja	Zona comprendida entre las manchas de inundación de 100 a 500 años.
Nula	Zona comprendida por la mancha de inundación para periodos de retorno por encima de los 500 años.

4.3.2.2. *Resultados Obtenidos*

Dentro de la evaluación de la amenaza es necesario incluir el (los) detonante(s) que pueden provocar o desencadenar una determinada amenaza en el territorio. En este sentido, en la zonificación de la amenaza por inundación, se considera que "la alta precipitación es el evento detonante de la mayoría de las inundaciones con excepción de las producidas por los tsunamis y el ascenso del mar" (Guía Técnica, Anexo B Gestión del Riesgo); aseveración que es aplicable a la cuenca en ordenación, dónde se considera la alta precipitación como detonante para la evaluación de la amenaza por inundación.

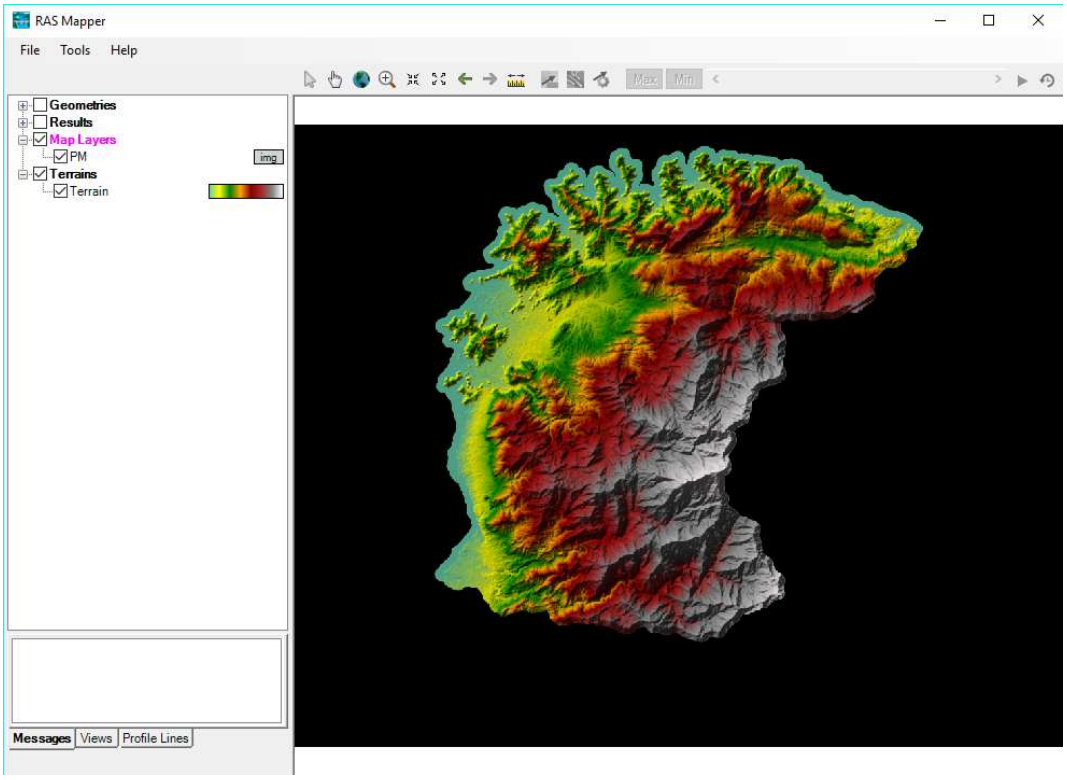
Tomando en cuenta lo anterior, se realizó el análisis de las series mensuales de la precipitación máxima en 24 horas registrada en cada una de las estaciones seleccionadas por medio de las series anuales y las distribuciones Gumbel, Pearson, Log – Pearson, Log – Normal y Valores Extremos. De esta manera, se determinaron las frecuencias de ocurrencia, para períodos de retorno de 2 a 500 años como es exigido en la guía técnica para formulación de Planes de Ordenación de Cuencas Hidrográficas (MADS, 2014) para, de manera posterior, por medio de la distribución Chi^2, seleccionar aquella que presentara el mejor ajuste, determinado por el menor valor obtenido de Chi^2. El detalle sobre la caracterización temporal y espacial del clima, se remite al lector al volumen 1. Componente Biofísico, numeral 2. Clima.

La información consignada en la anterior tabla permitió construir el hietograma de diseño para cada uno de los períodos de retorno de interés, tomando como base el modelo de Tormenta II del SCS

para una duración de 24 horas. Los pasos efectuados en la herramienta informática fueron los siguientes:

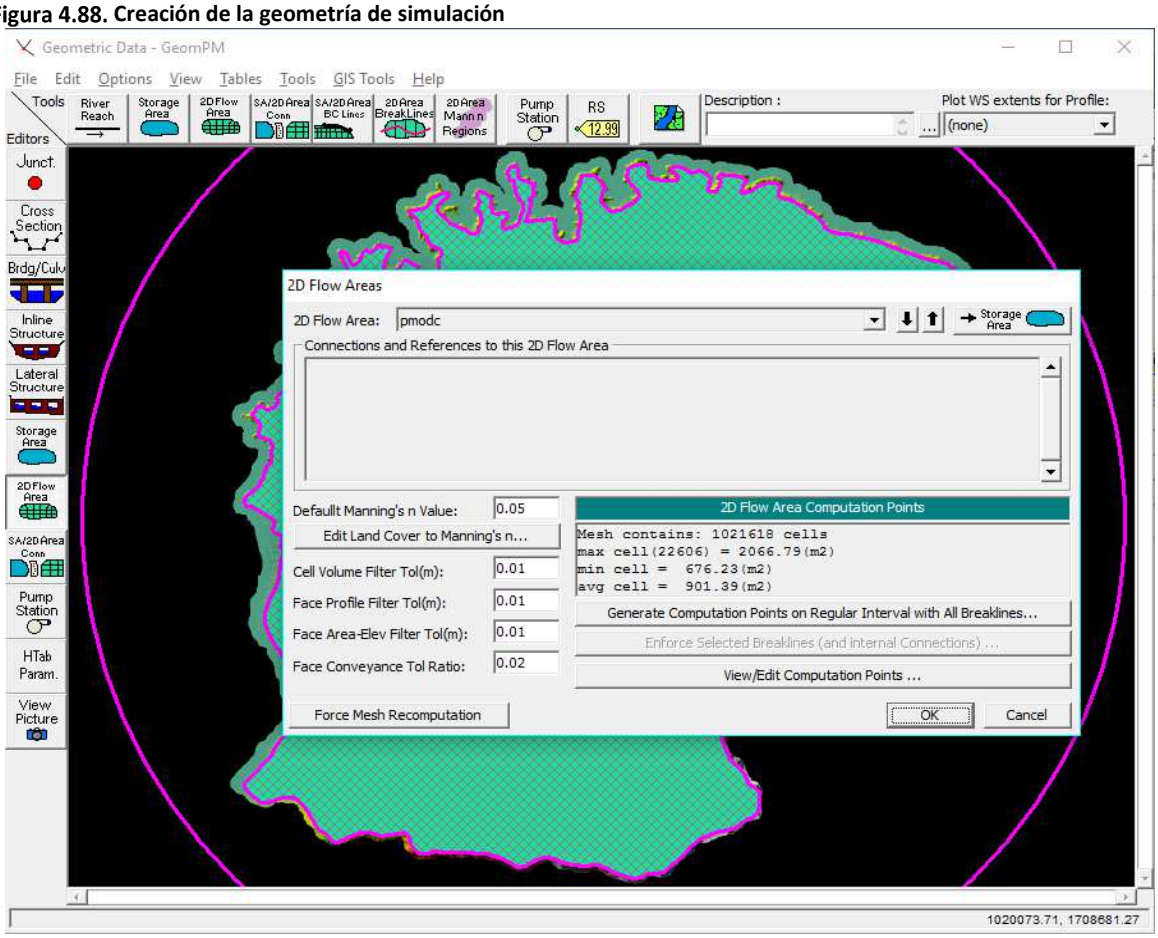
- *Creación del modelo del terreno:* A partir del modelo de elevación desarrollado para el POMCA, se efectúa el cargue del mismo a la plataforma informática para la reconstrucción del modelo digital de terreno. Esto se realiza a través de la opción RAS Mapper que viene integrada en el menú.

Figura 4.87. Creación del modelo del terreno



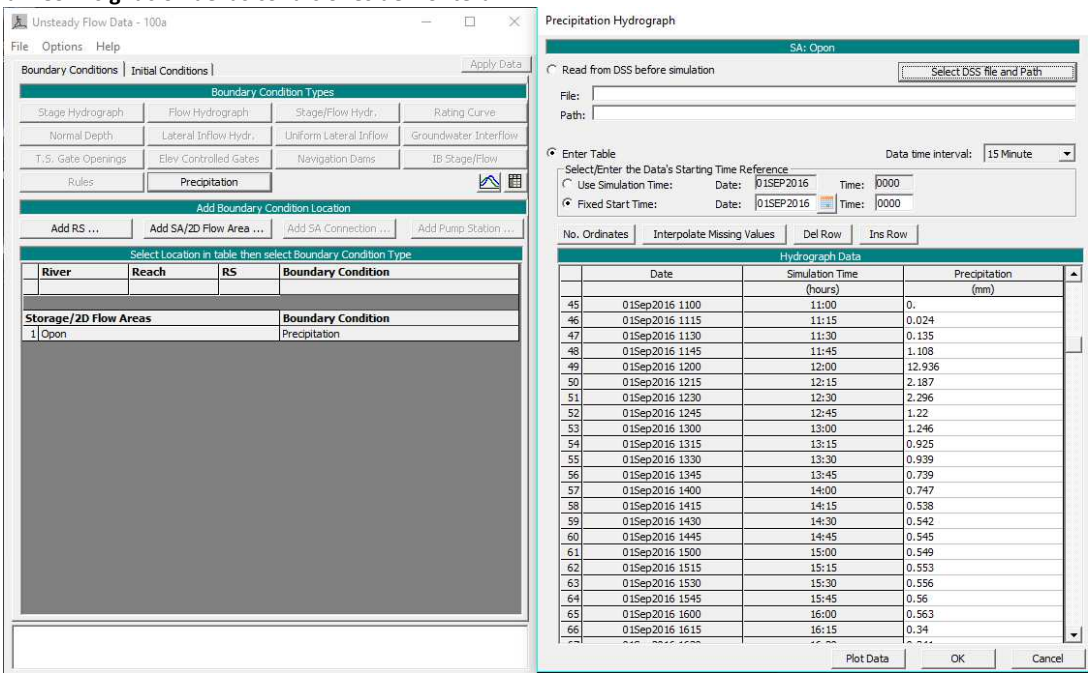
- *Creación de la geometría de simulación:* Una vez el modelo de terreno ha sido creado satisfactoriamente, se procede al delineamiento de la superficie para la simulación 2D, para la cual se creó una malla rectangular conforme; a partir de diferentes ensayos se definió un tamaño de malla que permitiera un equilibrio entre la resolución espacial deseada y las necesidades computacionales para poder ejecutar el modelo.

Figura 4.88. Creación de la geometría de simulación



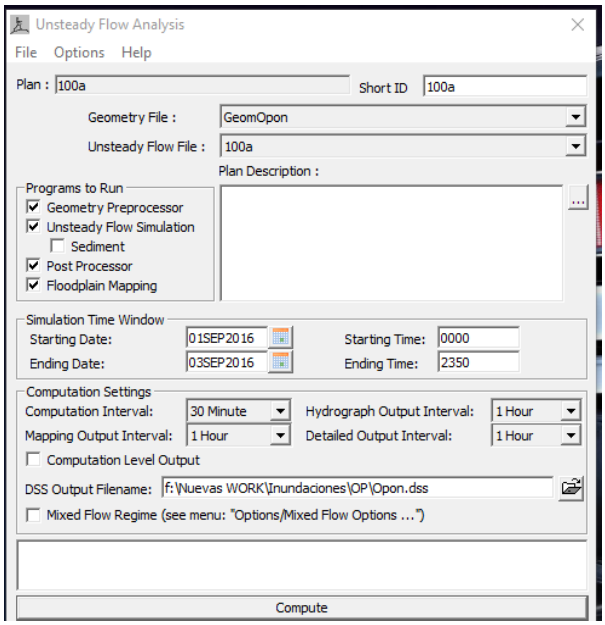
- *Asignación de las condiciones de frontera:* Tomando en consideración la aplicación del modelo como se describió, se aplicó la condición de frontera correspondiente al hietograma sintético calculado. Este se aplica mediante una condición de frontera superficial en el menú Unsteady Flow Data de la herramienta.

Figura 4.89. Asignación de las condiciones de frontera



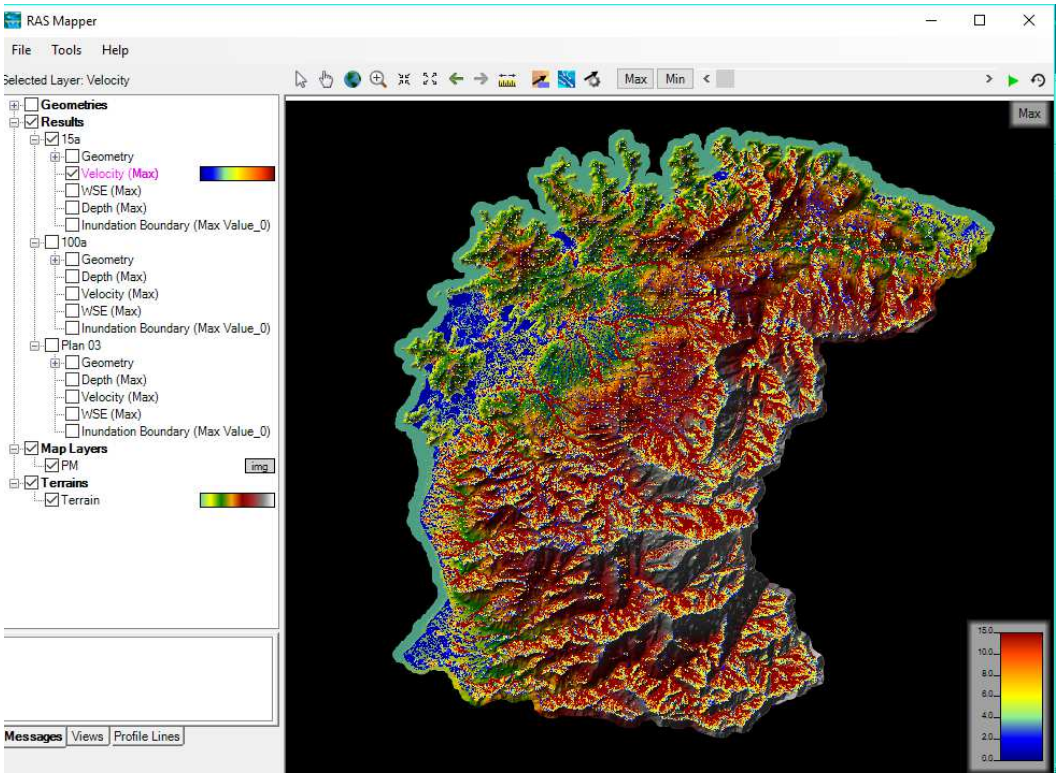
- *Definición de la simulación.* La simulación se aplicó de manera no estacionaria, en un lapso de 24 horas con tamaños de paso temporal de 15 minutos y presentación de resultados cada hora simulada.

Figura 4.90. Definición de la simulación



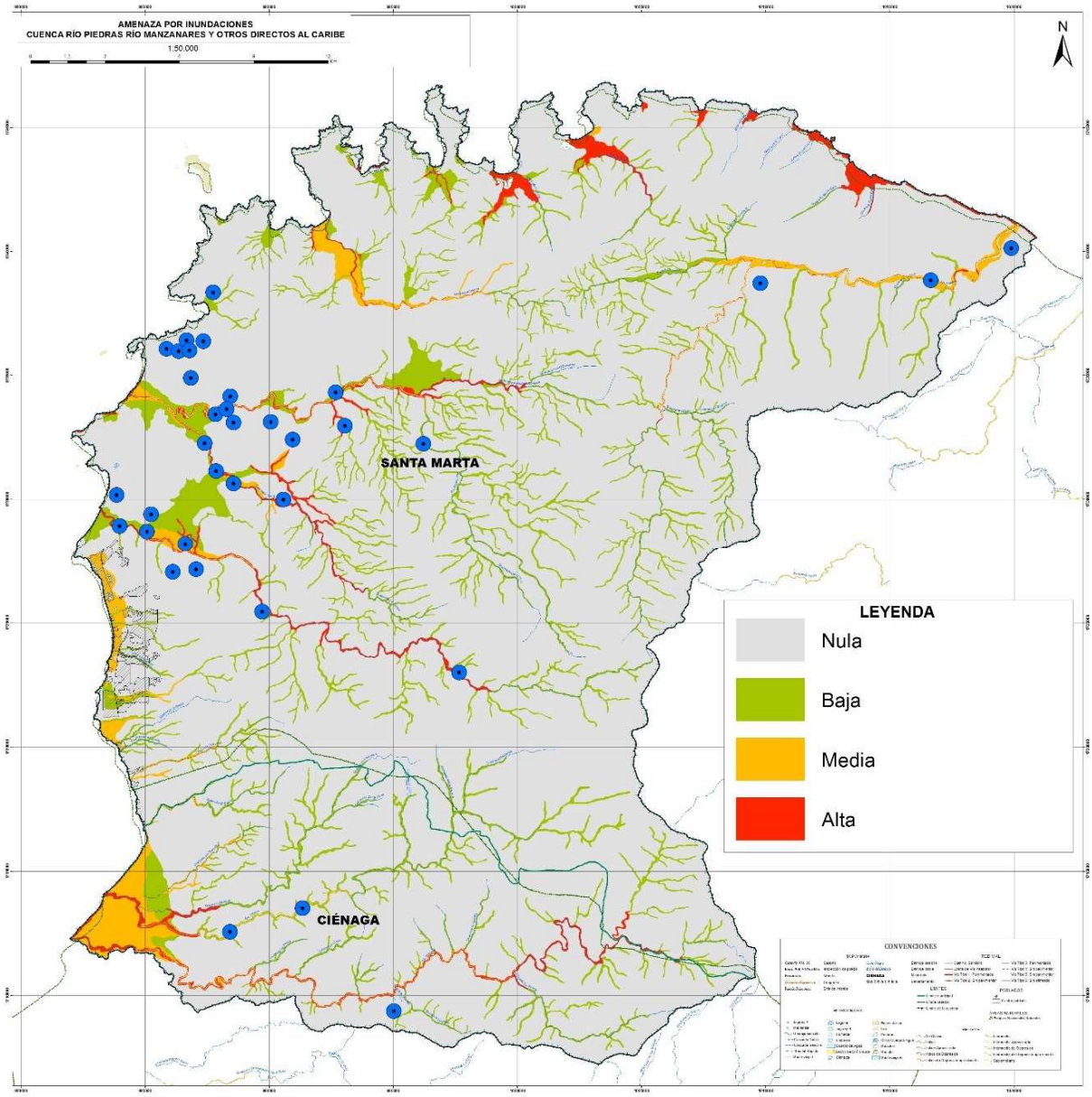
- *Lectura de resultados.* Nuevamente, haciendo uso del RAS Mapper, se puede visualizar directamente para la simulación efectuada, los resultados de profundidad y velocidad de la lámina de agua, así como la creación de los contornos de la cota de inundación máxima. Los pasos anteriormente descritos se efectuaron para la precipitación efectiva con períodos de retorno de 15 años (amenaza alta), 100 años (amenaza media), y 500 años (amenaza baja).

Figura 4.91. Lectura de los resultados



- Integración de la amenaza: Como paso final se procesan los resultados espaciales obtenidos en el modelo para cada período de retorno de interés, y con la ayuda de herramientas SIG se discriminan las áreas de amenaza alta, media, baja y nula dentro de la Cuenca, como se muestra en la Figura 4.92 y se adjunta en el Anexo 13.

Figura 4.92. Zonificación de amenaza por inundaciones



- **Amenaza alta:** Corresponde con zonas con geoformas asociadas a procesos activos (el. Valles aluviales, planos de inundación, terrazas bajas, albardones), evidencias efímeras (restos flotantes, depósitos sueltos), evidencias erosivas y sedimentarias bien definidas (micro topografía muy irregular, altas pendientes, y superposición de formas erosivas y sedimentarias, marcas de canales sin evidencia de actividad reciente), además de evidencias e inundaciones recientes o actividad fluvial reiterada identificadas en el análisis

multitemporal de eventos históricos con recurrencias menores o iguales a 15 años[10]. Corresponde a las superficies próximas a los cauces, con diferencias altitudinales menores a 50 m, y pendiente topográfica plana a suavemente inclinada (< 5°); se caracteriza por tener níveles de 0,536m y velocidades de flujo de hasta 67m/s. La categoria representa el 2,15% de área total en ordenación y se presenta en las veredas de Cordoba, Mamonal, Jolonura y La Reserva del municipio de Ciénaga, y en los corregimientos de Guachaca, Bonda, Taganga y minca pertenecientes al municipio de Santa Marta.

- **Amenaza media:** Se asocia con geoformas producto de procesos intermitentes (ej. Terrazas medias, meandros), procesos erosivos o sedimentarios suavizados (micro topografía irregular con limites suavizados de baja pendiente) o flujos secundarios representados por evidencias de morfologías canaliformes de poca definición y continuidad identificables en campo, además de eventos históricos con recurrencia mayor a 15 y hasta 100 años de periodo de retorno[11]. Zona comprendida entre las manchas de inundación de los periodos de retornos de 15 a 100 años, con diferencias altitudinales menores a 50 m, y pendiente topográfica plana a suavemente inclinada (< 5°); se caracteriza por tener níveles de 0,789m y velocidades de flujo de hasta 84m/s. La categoria representa el 2,04% de área toral de la cuenca, y se encuentra distribuida en toda la cuenca, en las veredas Mamonal, Jolonura del municipi de Ciénaga y en los corregimientos de Guachaca y Taganga del municipio de Santa Marta.

- **Amenaza baja:** Se determina con base en el análisis de eventos históricos que señale una unidad inundable con una sola evidencia de evento ocurrido; también con las evidencias topográficas en campo que señalen terrenos topográficamente más altos que los involucrados en las dos categorías anteriores y que coincidan con geoformas asociadas a procesos fluviales antiguos (terrazas altas). Esta categoría refleja la recurrencia de eventos mayores a 100 y hasta 500 años de periodo de retorno o mayores. Corresponde a las manchas de inundación de los periodos de retorno entre 100 y 500 años, se caracteriza por tener níveles de 0,968m y velocidades de flujo de hasta 105m/s. La categoria representa el 8,11% de área total de la cuenca, y se encuentra distribuida en la cuenca en los municipios de Ciénaga y Santa Marta.

4.3.2.3. *Necesidades de Información e investigación*

Considerando la importancia del inventario de eventos dentro del análisis, es indispensable contar registros detallados de los eventos donde se incluya coordenadas, fecha de ocurrencia, factor detonante y afectaciones, con el objetivo de realizar un análisis de mayor exactitud que permita precisar las áreas en las cuales dichos eventos son más recurrentes, obteniendo un resultado más consistente con las condiciones de la zona.

[10] Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible, Ministerio De Hacienda, Fondo De Adaptación. Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas. Bogotá D.C., 2014
[11] Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible, Ministerio De Hacienda, Fondo De Adaptación. Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas. Bogotá D.C., 2014

Para el desarrollo de un modelo hidrológico de mayor precisión que provea los caudales máximos por periodo de retorno, se requiere la instalación y monitoreo de estaciones hidrográficas que abarque mayor extensión de la cuenca hidrográfica en ordenación, principalmente en los cauces de los ríos Manzanares, Piedras, Gaira, Toribio, Córdoba y de las quebradas Matogiro, Concha, La Lisa, Tamaca, La Tigrera, Don Jaca, Del Guayabo, Marinca La Sierrita, Gayraca, Cinto y Santa Rosa. Actualmente, 1 Hidrométrica automática (HA), 6 Limnimétricas (LM) y 14 Limnigráficas (LG), todas pertenecientes a la red de monitoreo del IDEAM; de las cuales sólo 6 se encuentran dentro del área objeto de ordenación.

En el análisis de amenaza por inundaciones, se requiere generar información detallada de batimetrías por lo menos para los drenajes principales de cada una de las subcuencas (Río Córdoba, Quebrada don Jaca, Río Toribio, Río Gaira, Quebrada Concha, Río Manzanares, Río Piedras, Quebrada El Quindío, Quebrada La Sierrita, Quebrada El guayabo, Quebrada Marinca, Quebrada Matogiro, Quebrada Gayraca); con el propósito, de realizar un análisis más complejo al presentado en el presente volumen. Esta información se complementa con datos de caudales, precipitación máxima mensual, curvas IDF y cobertura y uso del suelo de las áreas aledañas a los cauces para generar un modelo hidráulico que permita el análisis de inundaciones.

Identificar las obras de protección contra inundaciones que se han realizado en los municipios de Ciénaga y Santa Marta, analizando su relación con la dinámica hidrológica de las cuencas y el impacto en las comunidades asentadas aguas abajo.

Analizar la ubicación de las vías de comunicación como caminos, vías férreas y estructuras de cruce (puentes o alcantarillas, terraplenes longitudinales o transversales) con el fin de determinar su efecto en el escurrimiento ya que en muchas ocasiones influyen en la generación de inundaciones.

Con relación al componente geomorfológico, no se presentan necesidades de información, dado que fue desarrollado conforme a las metodologías descritas por las entidades encargadas del avance en el conocimiento de los suelos (IGAC -Metodología Zinck-, 2012) y la evaluación de amenazas naturales (SGC -Metodología Carvajal-,2011), obteniendo un producto a escala 1:25.000, que cumple con los criterios establecidos para el análisis de susceptibilidad a inundaciones en la cuenca hidrográfica río Piedras, río Manzanares y Otros Directos al Caribe..

4.3.2.4. *Recomendaciones Finales*

Tomando en consideración que el casco urbano del municipio de Santa Marta, se encuentra dentro de la zona de amenaza alta por inundaciones, a causa del río Manzanares, se requiere elaborar un estudio detallado que considere el aumento de la población y el consecuente desarrollo urbano, para determinar con exactitud los elementos expuestos y niveles de riesgo; de manera que se establezca un modelo de ocupación seguro y sostenible para sus habitantes.

Incluir en los instrumentos de planificación municipal de los municipios de Santa Marta y Ciénaga, políticas y/o estrategias que impidan la ocupación de las áreas con categoría de amenaza alta por inundaciones; reduciendo así, los niveles de vulnerabilidad y riesgo de las comunidades de la cuenca.

Implementar programas de protección y reforestación de las rondas hídricas de los ríos Manzanares, Piedras, Gaira, Toribio, Córdoba y de las quebradas Matogiro, Concha, La Lisa, Tamaca, La Tigrera, Don Jaca, Del Guayabo, Marinca La Sierrita, Gayraca, Cinto y Santa Rosa, con el propósito de construir barreras naturales ante la ocurrencia de un evento amenazante de este tipo. Estas acciones, deben estar acompañadas por campañas de concientización orientadas a la evitar la disposición de residuos sólidos en los cauces, ocupación de las rondas hídricas y deforestación.

Incluir en el componente programático del Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca hidrográfica del río Piedras, Manzanares y Otros Directos al Caribe, estudios detallados que evidencien el comportamiento y afectaciones de las inundaciones de tipo pluvial (encharcamientos).

4.3.3. Amenaza por Incendios Forestales

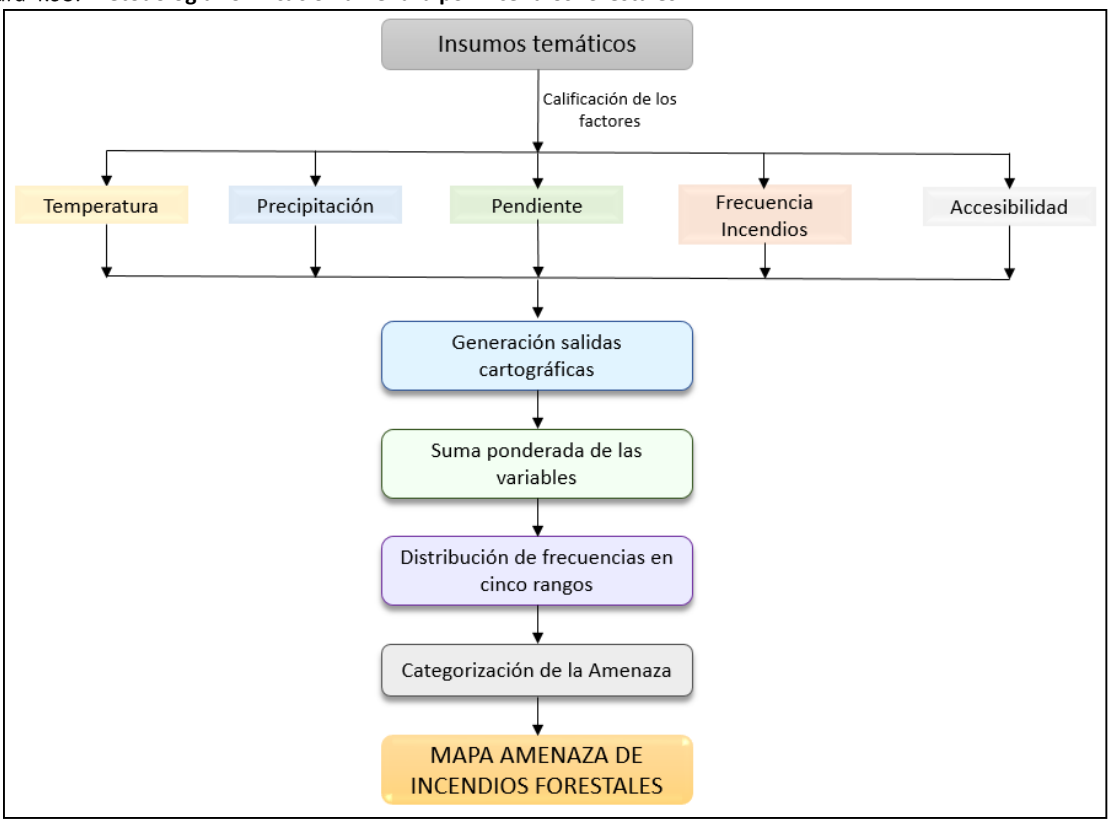
Una amenaza natural puede definirse como un proceso geológico o climatológico potencialmente dañino para las comunidades (UNSL, 2007). Su ocurrencia, de acuerdo a su intensidad, puede provocar “desastres”, que involucran pérdida de vidas humanas, daños en la infraestructura y/o detrimentos económicos; siendo imperativo el conocimiento de las áreas con mayor probabilidad de ser afectadas, a fin de definir medidas de prevención que permitan disminuir el riesgo.

En este aparte se presenta los insumos, metodología y resultados obtenidos del desarrollo de cada uno de los factores de la amenaza con fines de zonificación de riesgos por incendios de la cobertura vegetal.

4.3.3.1. *Metodología para la Evaluación y zonificación de la amenaza por Incendios forestales*

La evaluación de la amenaza de incendios de la cobertura vegetal, se realiza a partir de la calificación y categorización de los factores propios del territorio, tales como: precipitación, temperatura, pendiente, accesibilidad y frecuencia de los eventos amenazantes; los cuales, le confieren al territorio una menor o mayor probabilidad de ser afectado por incendios forestales. En la Figura 4.93, se presenta un esquema general de la ruta metodológica que se debe seguir para la zonificación de la amenaza.

Figura 4.93. **Metodología zonificación amenaza por incendios forestales**



Fuente: Adaptado IDEAM, 2011

- *Amenaza por temperatura:* Para esta variable, se utiliza el mapa de isotermas, escala 1:25.000; el cual, es categorizado de acuerdo con los siguientes rangos:

Tabla 4.55. Categoría de amenaza – Temperatura

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: IDEAM, 2011

Posteriormente, se realiza la generalización de los polígonos, de manera que se unan los polígonos adyacentes con el mismo nivel de amenaza, generando así, la capa final, que será empleada como factor en la generación de la amenaza total a incendios de la cobertura vegetal.

- *Amenaza por precipitación:* Para esta variable, se utiliza el mapa de precipitación, escala 1:25.000; el cual, es categorizado de acuerdo con los siguientes rangos:

Tabla 4.56. Categoría de amenaza – Precipitación

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: IDEAM, 2011

Posteriormente, se realiza la generalización de los polígonos, de manera que se unan los polígonos adyacentes con el mismo nivel de amenaza, generando así, la capa final, que será empleada como factor en la generación de la amenaza total a incendios de la cobertura vegetal.

- *Amenaza por pendiente:* El ángulo de inclinación de la pendiente del terreno inciden en la velocidad y facilidad con que se propaga un incendio forestal; razón por la cual, el modelo de zonificación propuesto por el IDEAM, considera esta variable dentro de la evaluación de la amenaza. Para este factor, se emplea el mapa de pendientes en porcentaje, categorizándolo de acuerdo con los valores de la Tabla 4.57.

Tabla 4.57. Categoría de amenaza – Pendiente

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: IDEAM, 2011

Como resultado se genera una salida cartográfica, la cual será empleada como variable en la generación de la amenaza total a incendios de la cobertura vegetal.

- *Amenaza por factor histórico:* A partir del catálogo histórico de eventos amenazantes, se calcula el índice de frecuencia de incendios forestales, de acuerdo con la siguiente ecuación (IDEAM, 2011):

$$f_{(i)} = \frac{1}{a}\sum_{1}^{a}(ni)$$

Donde,

$f_{(i)}$: Frecuencia de incendio de la cobertura vegetal
a: Número de años
ni: Número de incendios cada año

Una vez, calculado el índice se procede a realizar la normalización de los datos y su posterior calificación en cinco (5) rangos, mediante una distribución de frecuencias (cuartiles), generando de esta manera, una salida cartográfica en formato vector.

Sin embargo, tomando en consideración la información disponible de la cuenca hidrográfica objeto de ordenación, fue necesario realizar un análisis de proximidad, dónde se identifiquen áreas con mayor concentración de eventos amenazantes. Lo anterior, debido a que no se no se han registrado dos o más incendios forestales en un mismo punto, lo cual dificulta el análisis de frecuencia, por el método expuesto en el numeral 4.3.4 del protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal publicado por el IDEAM en el año 2011.

- *Amenaza por accesibilidad:* A partir de la cartografía base y con ayuda de las herramientas SIG, se genera un buffer sobre las vías (Buffer 500m vías tipo 1 y 2, 200m vías tipo 3 y 4); obteniendo como resultado, un mapa que representa las distintas densidades viales presentes en el territorio, las cuales se deben reclasificar de acuerdo con los siguientes criterios:

Tabla 4.58. Categoría de amenaza – Accesibilidad

Distancia a la vía (m)		Categoría de Amenaza	Calificación
Vías tipo 1 y 2	**Vías tipo 3 y 4**		
Más de 2000	Más de 2000	Muy Baja	1
1500-2000	1500-2000	Baja	2
1000-1500	1000-1500	Moderada	3
500-1000	500-1000	Alta	4
0-500	0-200	Muy Alta	5

Fuente: IDEAM, 2011

Como resultado se genera una salida cartográfica, formato raster, la cual será empleada como variable en la generación de la amenaza total a incendios de la cobertura vegetal.

- *Zonificación amenaza por incendios forestales:* Con base en las capas temáticas de: susceptibilidad de la vegetación, precipitación, temperatura, pendientes, accesibilidad y frecuencia de los eventos históricos, se genera el mapa de amenaza total de incendios forestales, mediante la suma ponderada de los valores asignados a cada una de las categorías de amenaza de las diferentes variables, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$At = Sv * (0.17) + P * (0.25) + T(0.25) + PD * (0.03) + F * (0.05) + A * (0.03)$$

Dónde,

At: Amenaza total
Sv: Susceptibilidad de la vegetación
P: Precipitación
T: Temperatura
PD: Pendiente
F: Frecuencia de ocurrencia de incendios
A: Accesibilidad

Posteriormente se establece una distribución de frecuencia en tres rangos, para así llegar a categorizar el nivel de amenaza entre baja (rango menor con calificación 3) a alta (rango mayor con calificación 1).

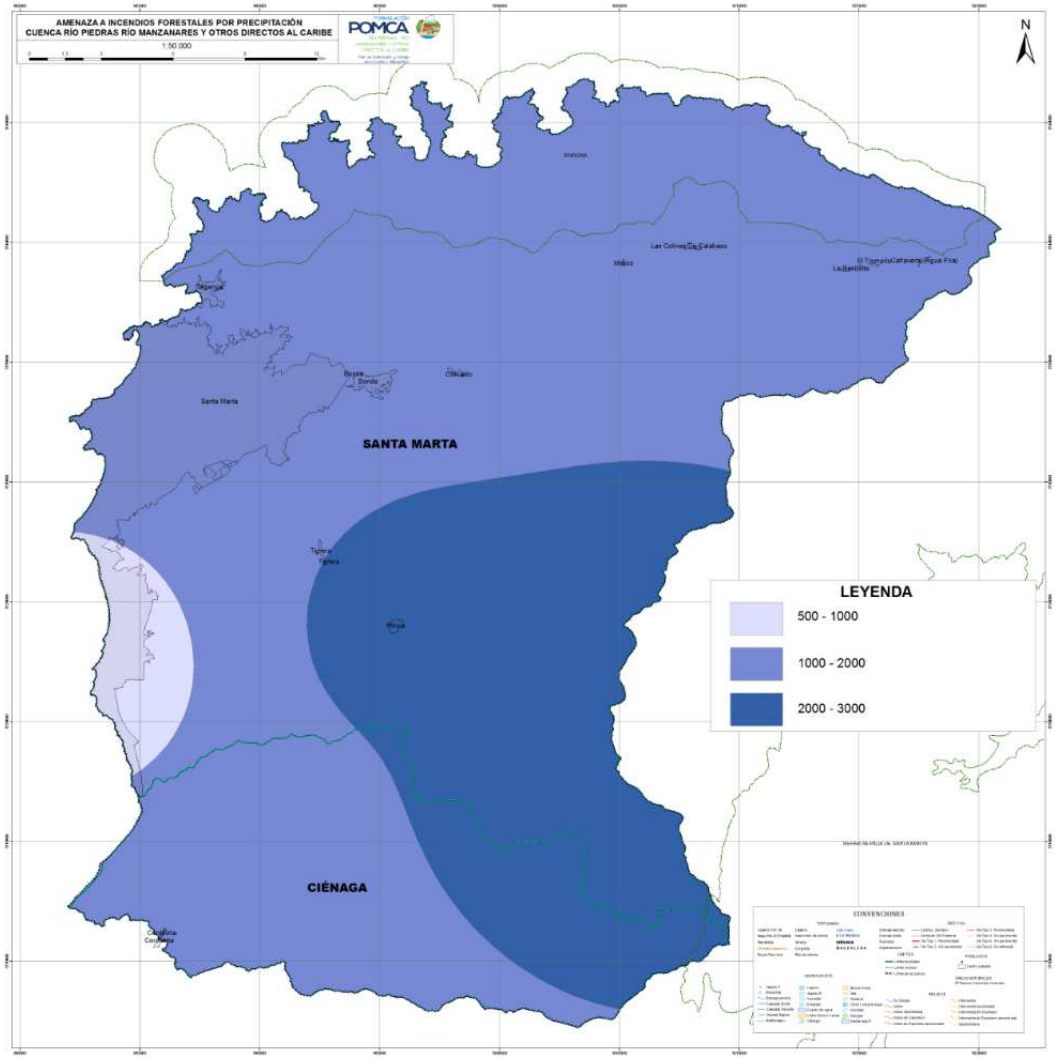
4.3.3.2. *Resultados obtenidos*

Los incendios de la cobertura vegetal de la Cuenca Hidrográfica del río Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe están relacionados, en la mayor parte de los casos con la intervención del hombre en actividades como las fogatas, eliminación de basura y preparación de la tierra para actividades agropecuarias. Empero, los factores climáticos e intrínsecos del territorio también juegan un papel preponderante en la generación y propagación del fuego.

En este sentido, para la zonificación de amenaza se generaron cinco mapas, más el mapa de susceptibilidad de la vegetación a incendios, los cuales muestran los diferentes niveles de amenaza por los factores físicos y ambientales del área en ordenación. Estos factores corresponden a temperatura, precipitación, pendiente, accesibilidad y frecuencia de los eventos amenazantes.

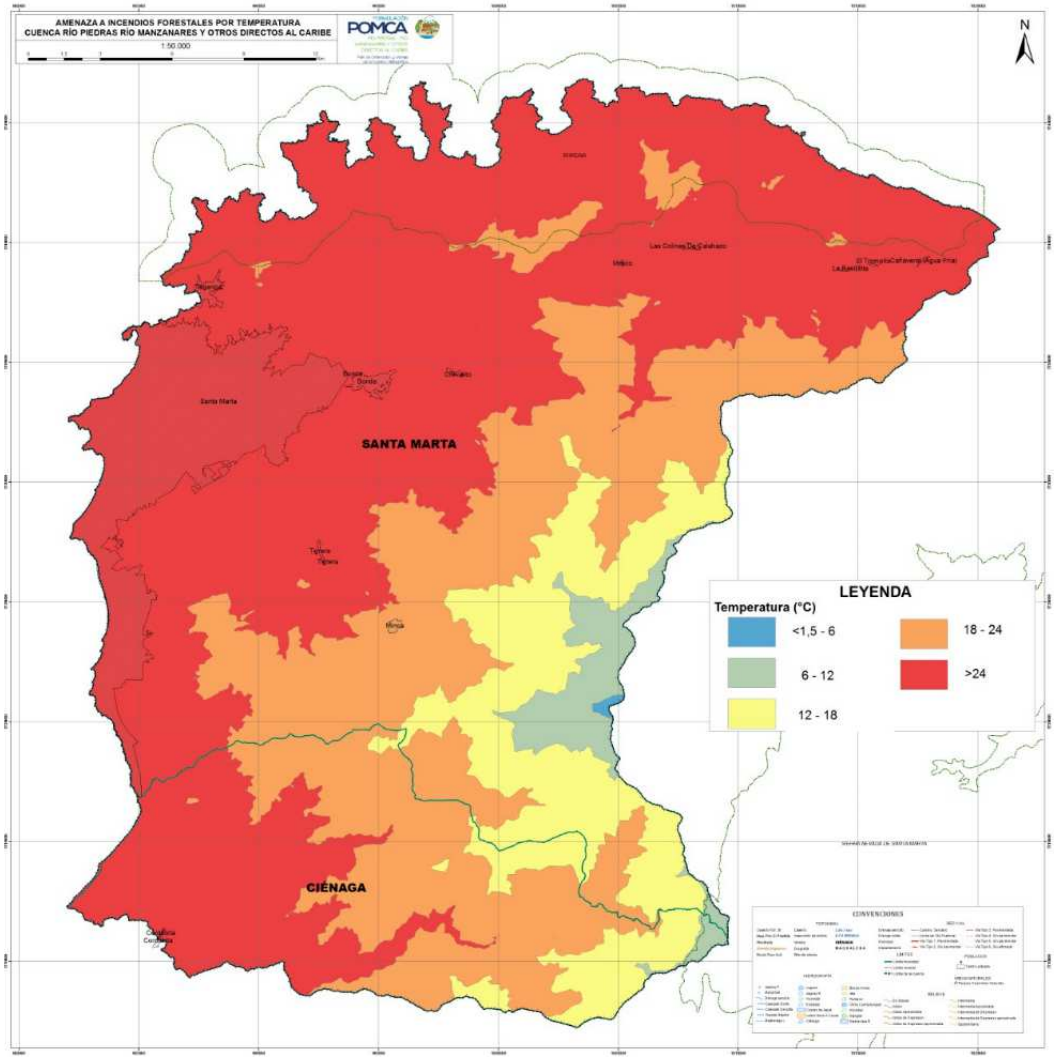
La amenaza por precipitación, se convierte en un factor determinante en la generación de incendios forestales, ya que en combinación con la temperatura aumenta la humedad relativa del aire, disminuyendo la capacidad de combustión (Boulandier, 2001). La Cuenca Hidrográfica del río Piedras - río Manzanares y otros directos al Caribe, cuenta con valores de precipitación que oscilan entre 550 y 2650 mm, presentando un nivel de amenaza entre moderado y muy alto, con mayor incidencia sobre el sector de Gaira.

Figura 4.94. **Amenaza por precipitación**



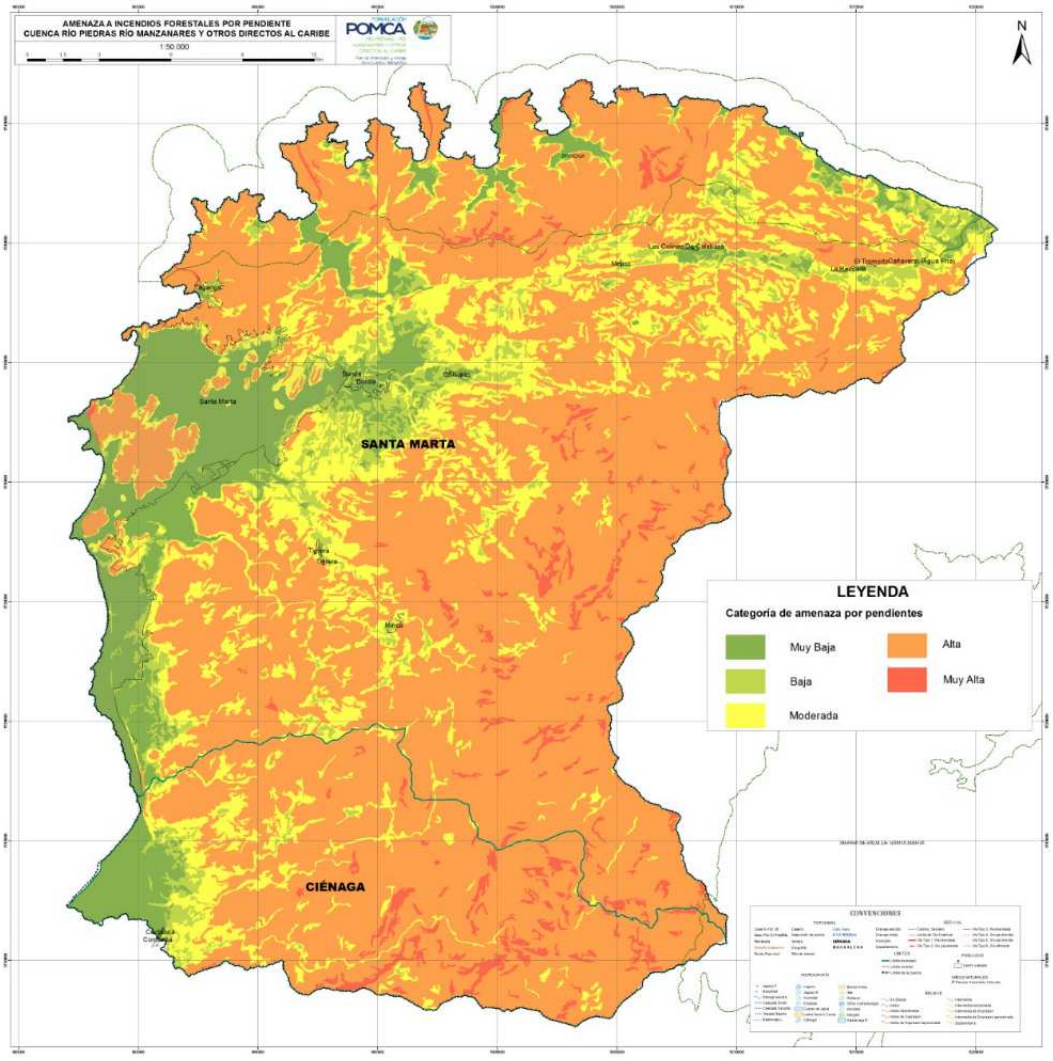
Por su parte, la temperatura influye en el contenido de humedad de la vegetación y la aparición de corrientes de aire que se elevan desde los suelos calientes. Estos eventos se potencializan en los meses de verano, especialmente al mediodía y primeras horas de la tarde (Boulandier, 2001). En el caso de la cuenca en ordenación, el 57,78% del área presenta una categoría de amenaza Muy Alta debido a que la temperatura promedio de la cuenca supera los 24°C; este nivel, se localiza a lo largo del límite Oeste de la cuenca, abarcando las veredas de La Revuelta, El Trompito, Mejico, Curvalito, Las Colinas de Calabazo, Tigrera, Bonda, Taganga, Cordobita y la cabecera municipal del Distrito de Santa Marta. En la Figura 4.95 se puede notar que el nivel de amenaza va disminuyendo de Oeste a Este, existiendo menor amenaza por temperatura en los sectores aledaños a la Sierra Nevada de Santa Marta.

Figura 4.95. **Amenaza por temperatura**



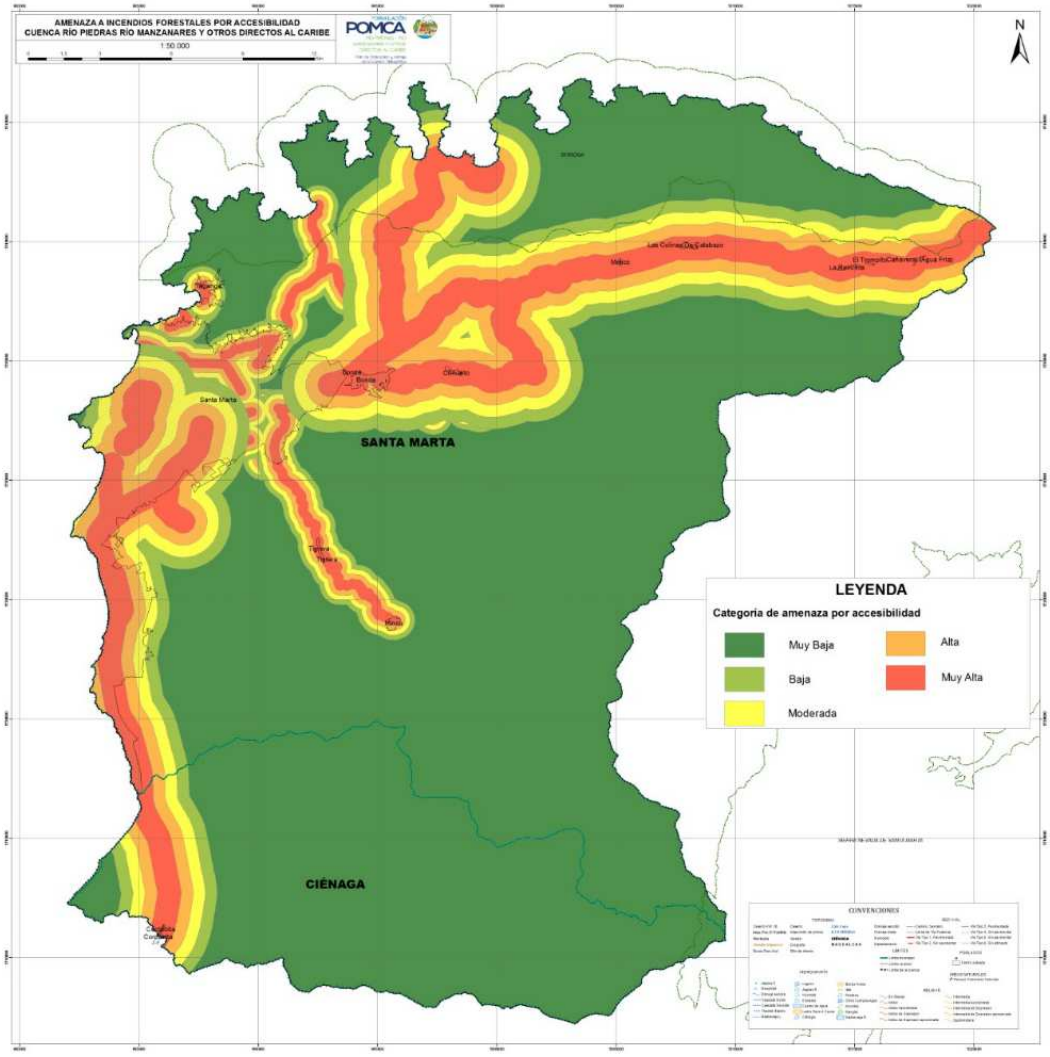
La pendiente se considera un factor importante dentro de la amenaza, pues favorece la propagación del calor, debido a que la velocidad del viento aumenta, los combustibles están más cerca de las llamas y se genera un precalentamiento rápido del combustible (Boulandier, 2001). Para la Cuenca Hidrográfica del Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe, los mayores niveles de amenaza por pendiente se presentan desde el centro hasta el extremo Suroriental del territorio y en la jurisdicción del Parque Nacional Natural Tayrona, ocupando una superficie de 60.008,09 hectáreas, equivalente al 64,76 % de la cuenca como se muestra en la Figura 4.96.

Figura 4.96. **Amenaza por pendientes**



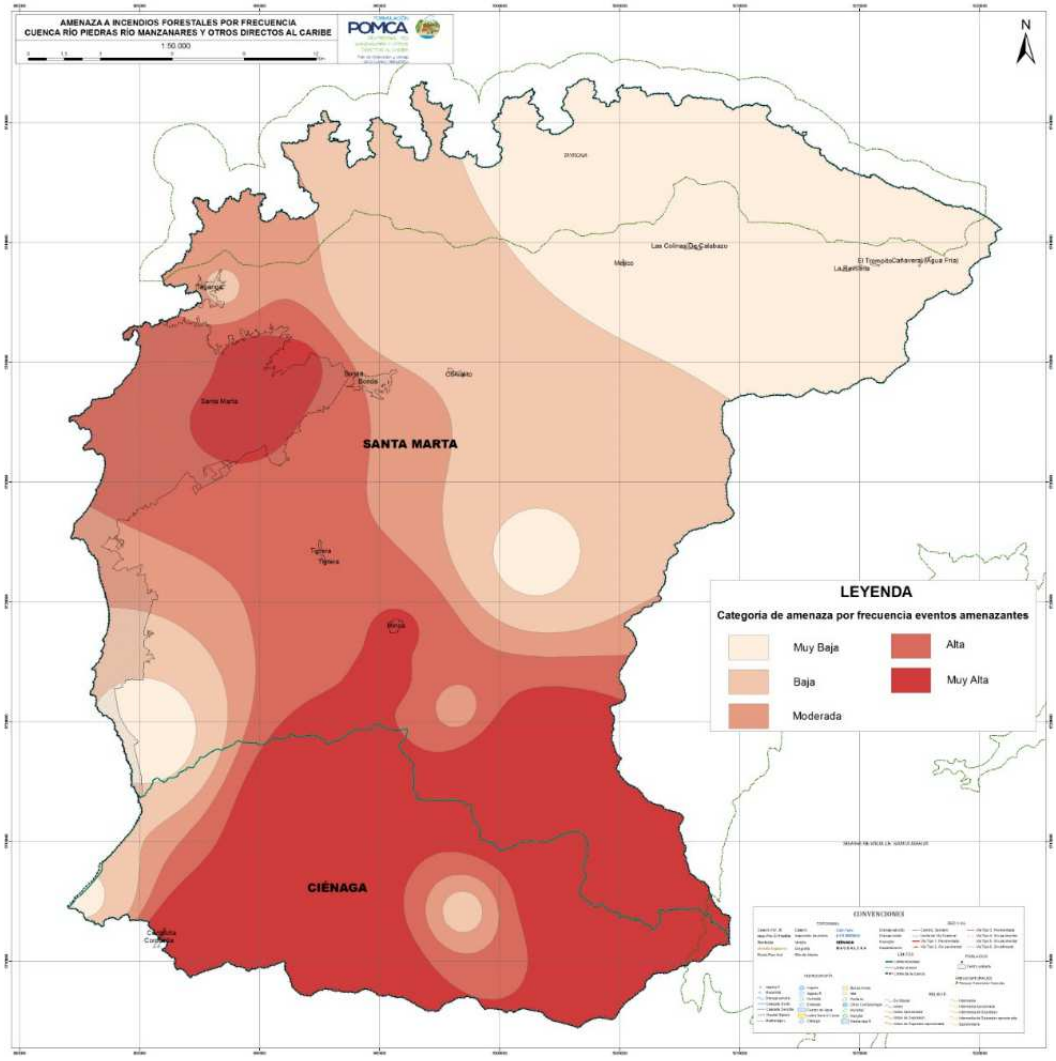
En lo relativo a la accesibilidad, el 64,58% del área de la cuenca se encuentra en amenaza muy baja; seguida por la categoría muy alta, con el 10,52% de la superficie total de la cuenca. Cabe resaltar que los otros niveles de amenaza tienen valores similares, representando el 9,23%, 8,19% y 7,48% para las categorías alta, moderada y baja respectivamente. Los mayores niveles de amenaza por accesibilidad se encuentran en el borde Oeste de la cuenca, debido a la existencia de la vía de orden nacional que conduce al departamento de la Guajira (Figura 4.97).

Figura 4.97. **Amenaza por accesibilidad**



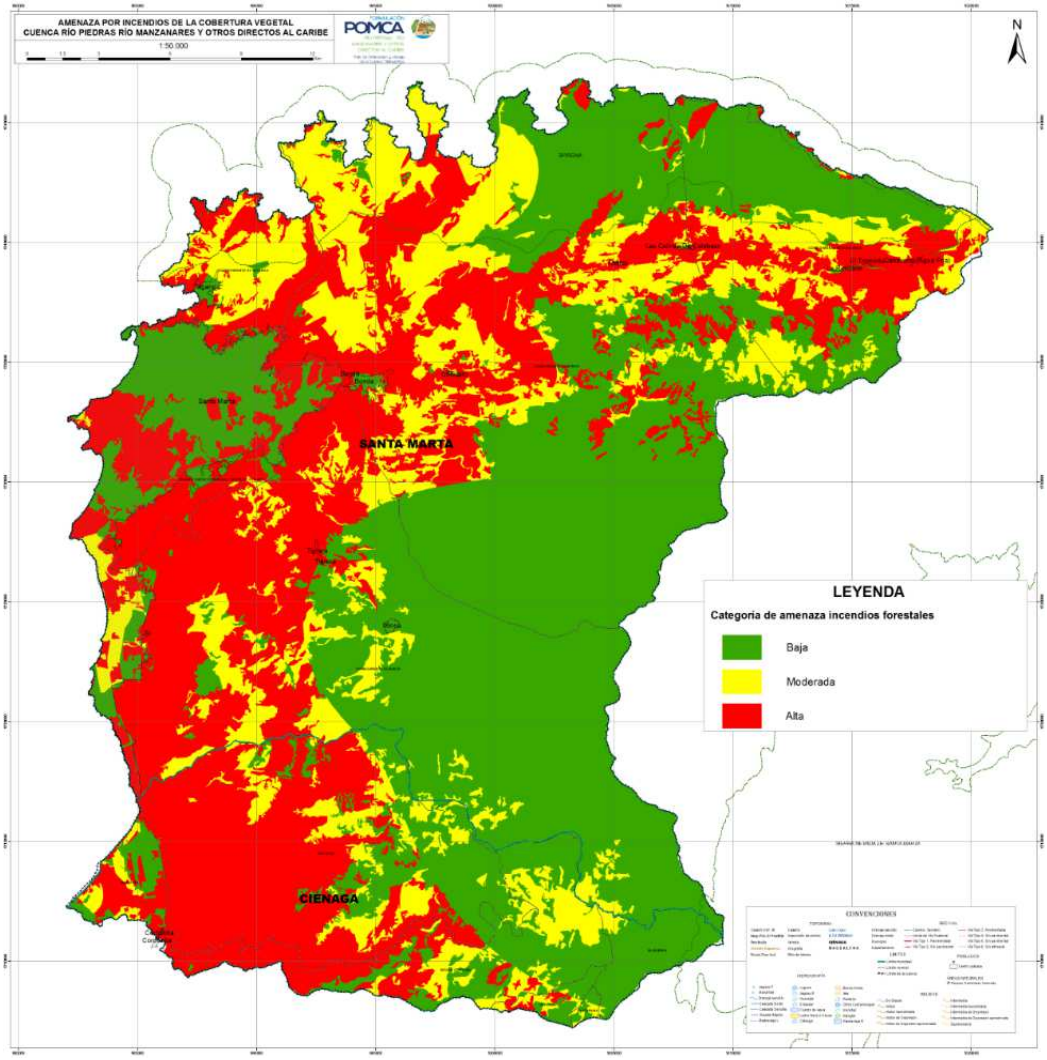
El análisis de la frecuencia de los incendios forestales en la cuenca objeto de ordenación, permite identificar áreas con mayor susceptibilidad a la generación y propagación del fuego; ya que en los sitios donde se han registrado eventos amenazantes, pueden presentarse nuevamente con mayor facilidad. Para el caso de la Cuenca Hidrográfica del río Piedras - río Manzanares y otros directos al Caribe, el mayor nivel de amenaza por este factor se presenta en el municipio de Ciénaga en las veredas de Jolonura, Córdoba, Lourdes, Cantarrana, La Reserva y en el Corregimiento de Minca y cabecera municipal del Distrito de Santa Marta; ocupando el 25,44% de la superficie de la cuenca.

Figura 4.98. **Amenaza por frecuencia eventos históricos**



Luego de analizados todos los factores que generan amenaza de incendios forestales en la cuenca, se procedió a realizar el Mapa de zonificación de amenaza por incendios forestales para la cuenca hidrográfica (Ver Figura 4.99 y adjunto en el Anexo 14), observando que la mayor superficie de la cuenca, presenta categoría de baja amenaza 45,57%; mientras que el 34,56% corresponde a la categoría alta y el 19,87% restante a categoría intermedia. También se identificó que el territorio con mayor afectación, se localiza en los corregimientos de Bonda, Guachaca, Taganga, La Tigrera y Gaira y en zonas aledañas a la cabecera municipal de Santa Marta; por su parte, en el municipio de Ciénaga, la categoría de amenaza alta se extiende a lo largo de las veredas Jolonura y Mamonal.

Figura 4.99. **Mapa de Amenaza por Incendios Forestales para la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe.**



4.3.3.3. *Necesidades de información e investigación*

Considerando la importancia del inventario de eventos dentro del análisis, es indispensable contar registros detallados de los eventos donde se incluya coordenadas, fecha de ocurrencia, factor detonante y afectaciones, con el objetivo de realizar un análisis de mayor exactitud que permita precisar las áreas en las cuales dichos eventos son más recurrentes, obteniendo un resultado más consistente con las condiciones de la zona.

De acuerdo con la zonificación de amenaza, es importante analizar detalladamente las presiones y afectaciones sobre el Parque Nacional Natural Tayrona, debido a la ocurrencia de incendios forestales en la zona de influencia de este ecosistema estratégico.

En los corregimientos de Bonda, Taganga, Minca y Guachaca del Distrito de Santa Marta y en las Veredas de Jolonura, Región Córdoba y Mamonal del municipio de Ciénaga, los cuales presentan los mayores niveles de susceptibilidad ante incendios forestales, es importante determinar las causas y/o detonantes de los eventos, con el propósito de establecer las medidas de mitigación más acorde con la dinámica territorial.

Con relación al componente de cobertura y uso de la tierra, no se presentan necesidades de información, dado que fue desarrollado conforme a la metodología Corine Land Cover, obteniendo un producto a escala 1:25.000, que cumple con los criterios establecidos para el análisis de susceptibilidad a incendios forestales.

4.3.3.4. *Recomendaciones Finales*

En los corregimientos de Bonda, Taganga, Minca y Guachaca del Distrito de Santa Marta y en las Veredas de Jolonura, Región Córdoba y Mamonal del municipio de Ciénaga; en los cuales, se presenta mayor superficie con categoría de amenaza alta y media, se requiere implementar planes de contingencia para la atención de incendios forestales, especialmente durante las temporadas secas.

Incorporación de la zonificación de amenaza por incendios forestales en la revisión y ajuste de los planes o esquemas de ordenamiento territorial de los municipios de Santa Marta y Ciénaga con su respectiva reglamentación de uso.

Incluir los escenarios de cambio climático en el análisis de susceptibilidad y amenaza por incendios forestales, con el propósito de que los planificadores con jurisdicción en la cuenca río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe, priorice las acciones o medidas de adaptación.

Construir franjas de aislamiento y mantenimiento de camino en áreas de los corregimientos de Bonda, Taganga, Minca y Guachaca del Distrito de Santa Marta y en las Veredas de Jolonura, Región Córdoba y Mamonal del municipio de Ciénaga, categorizadas como amenaza alta por incendios forestales.

Para la prevención de los incendios forestales, se requiere que las entidades agropecuarias y ambientales del orden departamental y municipal, realicen acompañamientos y/o asistencias técnicas a los agricultores y turistas, con el objetivo de modificar las prácticas inadecuadas de renovación de cultivos (Quema) y/o fogatas; ya que, son los detonantes principales de este tipo de eventos, según los reportes de los habitantes de la cuenca.

Para el manejo y atención de este tipo de eventos, es indispensable el fortalecimiento de los sistemas de alerta temprana, para controlar oportunamente la propagación del fuego. De igual manera, se requiere que los organismos de socorro, cuenten con el recurso humano, técnico y físico necesario para la atención de emergencias.

4.3.4. Amenaza por Avenidas Torrenciales

Para las áreas críticas definidas en la evaluación de la susceptibilidad por avenidas torrenciales, la caracterización se realiza a partir del trabajo de campo donde se asignaron categorías de amenaza integrándolas con el análisis de eventos históricos y los parámetros morfométricos para la Cuenca Hidrográfica del Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe siguiendo lo establecido en la Figura 4.100.

Figura 4.100. Diagrama de flujo para la evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales en áreas críticas.



Fuente: Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas.

A partir del análisis de áreas críticas se priorizaron las zonas con categoría media y alta de susceptibilidad de amenaza por avenidas torrenciales teniendo en cuenta las 4 categorías establecidas (Tabla 4.59), integrando los índices morfométricos de torrencialidad ya establecidos para la susceptibilidad.

Tabla 4.59. Categorización de amenaza por avenidas torrenciales

Grado de Amenaza	Descripción
Amenaza Alta	Zonas identificadas con actividad reciente y con evidencias históricas claras (más de un evento histórico identificado).
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 metros); 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).
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).
Amenaza Nula	No presenta ningún tipo de afectación a partir de los rasgos geomorfológicos, geológicos y áreas reportadas por la comunidad

Fuente: Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas

Para el trabajo en campo, se tuvo en cuenta cuatro indicadores y aspectos fundamentales (multitemporalidad propuesta por Parra, 1995) establecidos en la Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas (Figura 4.101) donde se integra la caracterización de los materiales, la geomorfología, multitemporalidad de las geoformas identificadas y la información de las comunidades presentes en el área:

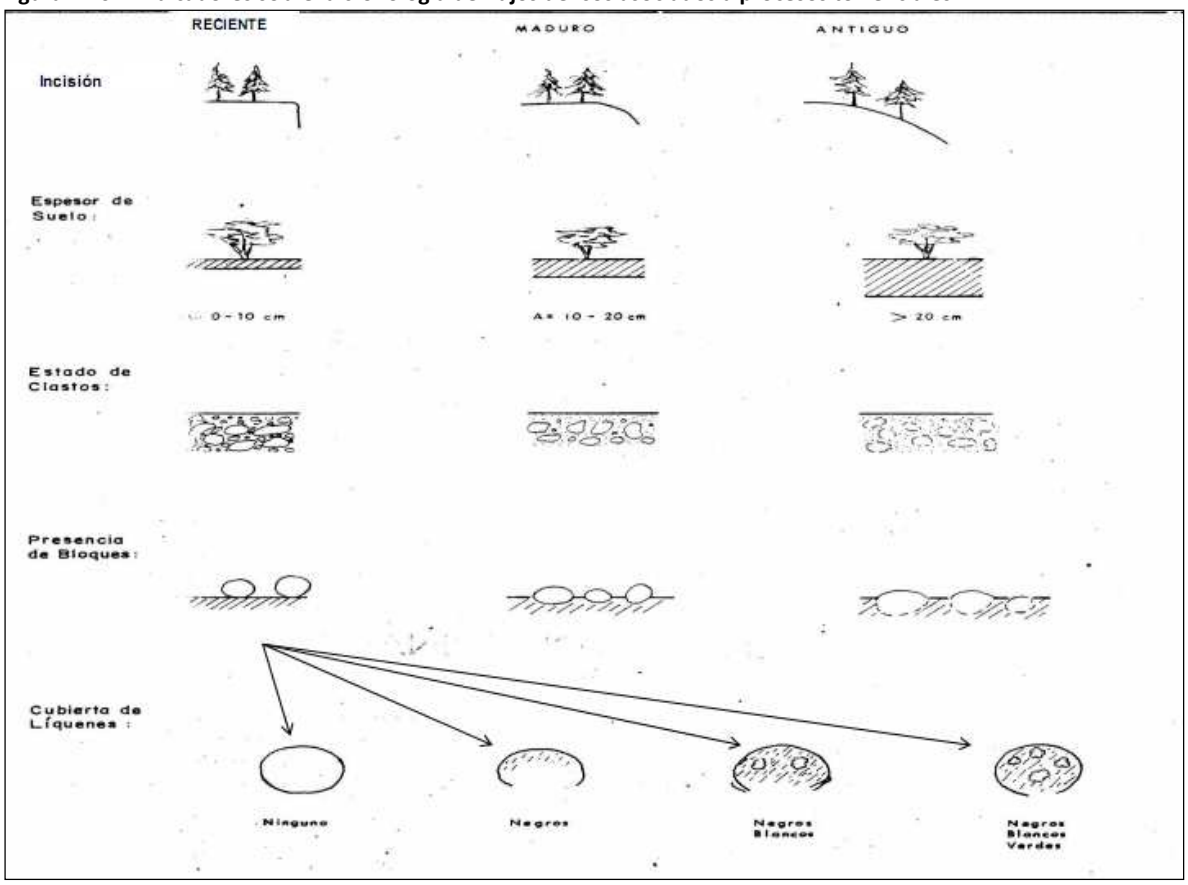
❖ Textura de los depósitos torrenciales formados por diferentes mecanismos de transporte (depósitos formados por flujos de detritos, flujos de lodo, flujos de tierra o depósitos de origen fluvio-torrencial).

❖ Morfologías superficiales: presencia de diques o muros naturales de material de arrastre (“levees”), lóbulos frontales, bloques de más de 1m de diámetro, daños a la vegetación, canal trapezoidal. Este análisis debe tener como soporte la información de la cartografía geomorfológica y geológica del área en evaluación.

❖ 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.

❖ 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.

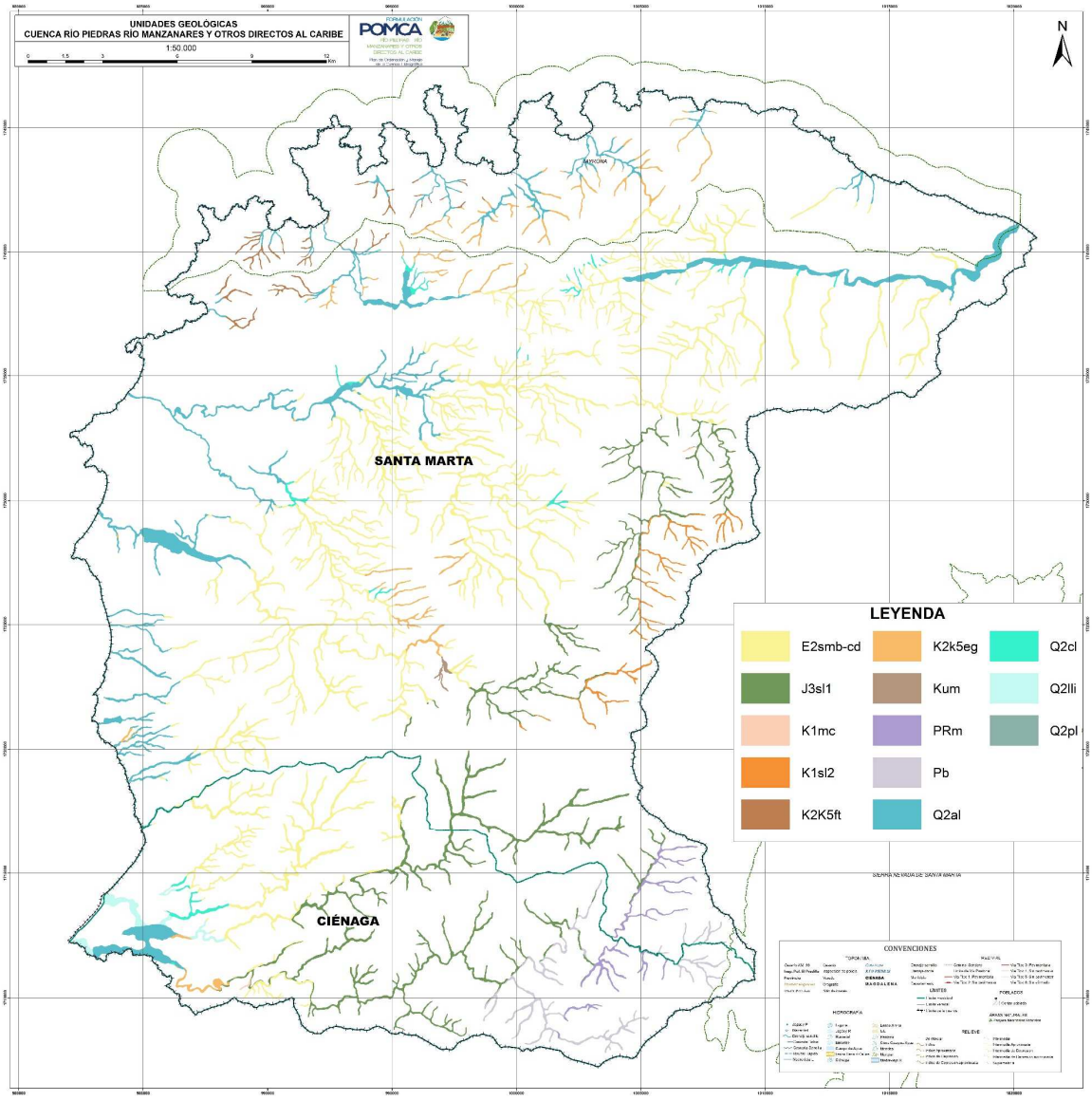
Figura 4.101. Indicadores sobre la cronología de flujos densos asociados a procesos torrenciales.



Fuente: Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas (Adaptado de Parra, 1995)

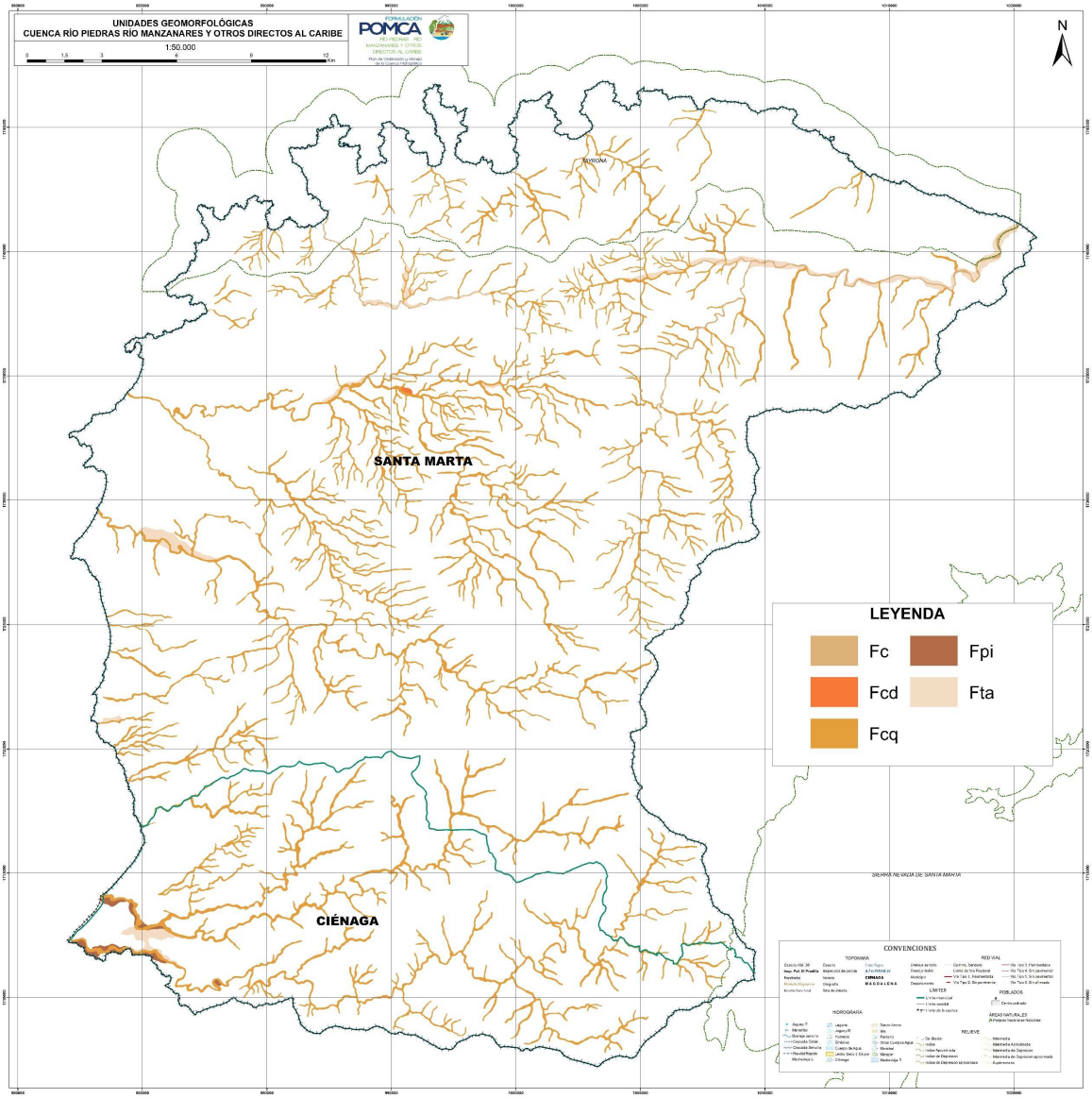
Teniendo en cuenta los parámetros para identificar los procesos en campo, se tomó desde la variable geología los tipos de depósitos presentes en las áreas críticas registradas como se observa en la Figura 4.102, donde se identifican depósitos cuaternarios de terraza, aluviales, fluviolacustres y llanuras de inundación, en los cuales se priorizaron los materiales de terraza y aluviales que presentan conglomerados embebidos en matríz arenosa con bloques subredondeados – redondeados que permite identificar los procesos de transporte a los cuales han sido sometidos estos materiales.

Figura 4.102. **Geología en el área correspondiente a las áreas críticas de la cuenca Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe para la evaluación de amenaza por avenidas torrenciales.**



Las subunidades geomorfológicas presentes en las áreas críticas registradas corresponden a geoformas de origen fluvial como plano de abanicos, meandros abandonados, vallecitos coluviales, terrazas, entre otros, como se observa en la Figura 4.103 y se describen a continuación.

Figura 4.103. Geomorfología caracterizada en las áreas críticas registradas para la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe.



A partir de esto, se correlacionan teniendo en cuenta las áreas críticas y los procesos morfodinámicos que se puede presentar en cada geoforma como se muestra en la Tabla 4.60

Tabla 4.60. Correlación de subunidades geomorfológicas, litología y procesos morfodinámicos.

Región geomorfológica	Código	Unidad y subunidad geomorfológica	Litología	Pendiente	Relieve	Procesos morfodinámicos
Ambiente Fluvial	Fta	Plano de terraza aluvial	Depósitos sin consolidar de cantos, gravas, gravilla y arenas	Plana	Muy bajo	Inundaciones y avenidas torrenciales
	Fcd	Cuencas de decantación	Depósitos sin consolidar de arenas y limos	Suavemente inclinada	Muy bajo	Encharcamientos
	Fc	Cauce de río	Cantos, gravas, arenas y limos	Plana	Muy bajo	Inundaciones y avenidas torrenciales
	Fcq	Cauce de quebradas	Depósitos sin consolidar de gravas, arenas y limos	Plana	Muy bajo	Inundaciones y avenidas torrenciales
	Fpi	Planicie de inundación	Depósitos sin consolidar de arenas finas, limos y arcillas	Plana	Muy bajo	Encharcamientos e inundaciones

En el control de campo realizado en las áreas críticas, se evidenciaron rasgos de ocurrencia torrencial reciente desde el aspecto geomorfológico y geológico como se muestra en la Figura 4.104

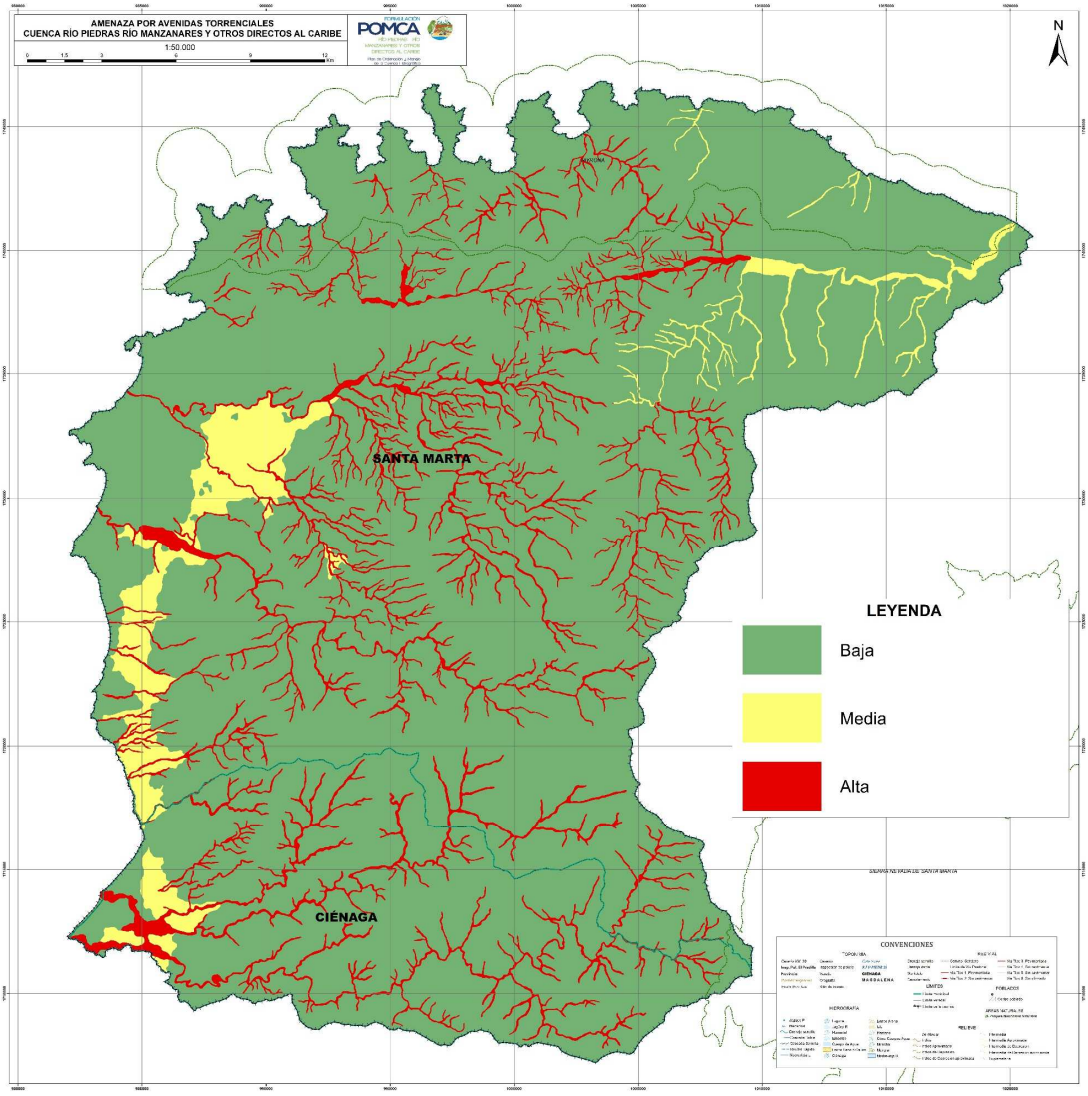
Figura 4.104. Reconocimiento de campo en el área de estudio



Ocurrida hace 8 años afectando el Bocatoma en el Acueducto del Magdalena (Metroaguas), arrastrando material lodoso, vegetal, causando daños de gran magnitud en equipos del acueducto dejando sin servicio de agua un tiempo prudente en este sector

Teniendo la integración temática entre las subunidades geomorfológicas y las unidades geológicas en las áreas críticas reportadas, con el control de campo enfocado en las áreas de posible ocurrencia a procesos de avenidas torrenciales y con el catalogo histórico analizado junto a los eventos reportados por la comunidad, se determina la zonificación de amenaza por avenidas torrenciales para el área de la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe como se muestra en la Figura 4.105 y se adjunta en el Anexo 15.

Figura 4.105. Zonificación de amenaza por avenidas torrenciales para la Cuenca Hidrográfica del Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe.



4.3.4.1. *Amenaza Alta por Avenidas Torrenciales*

La amenaza por avenidas torrenciales en el área de la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe presenta categoría alta con un porcentaje de 7,77% del área total de la cuenca, en los sectores donde se identificaron los cauces de quebradas, planicies de inundación y geoformas que muestran procesos morfodinámicos activos, distribuida sobre los cauces con mayor pendiente en toda el área de la cuenca, principalmente en las veredas mamonal, Jolonura, La reserva, Cantarana, Lourdes y región Córdoba en el municipio de Ciénaga al sur de la cuenca, y en los corregimientos de Minca, Bonda, Taganga, Guacháca y Conurbación rural en el municipio de Santa Marta.

4.3.4.2. *Amenaza Media por Avenidas Torrenciales*

Se presenta categoría media con un porcentaje de 4,61% del área total de la cuenca, localizada en las veredas Mamonal y Jolonura del municipio de Ciénaga y en los corregimientos de Minca, Bonda y Guacháca en el municipio de Santa Marta.

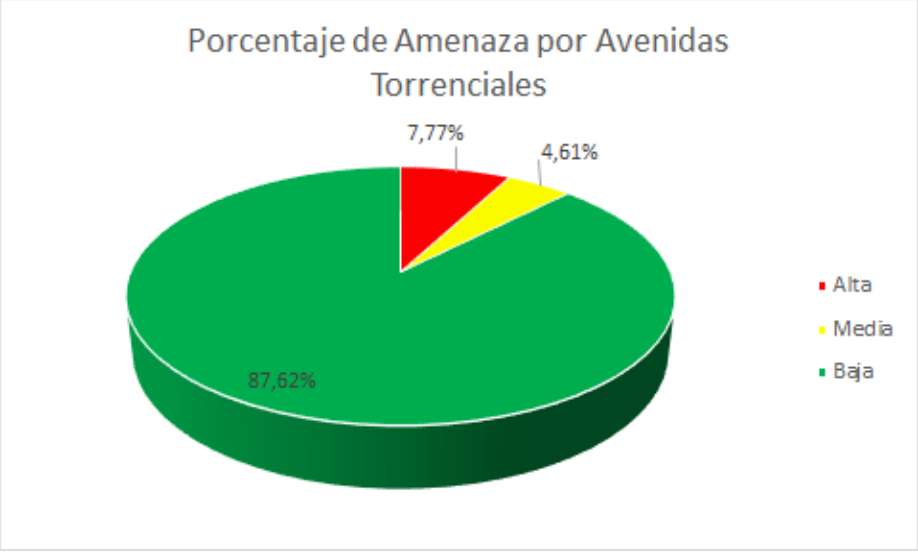
4.3.4.3. *Amenaza Baja por Avenidas Torrenciales*

Presenta amenaza baja con un porcentaje de 87,62% del área total de la cuenca, localizada de forma distribuida en toda el área de la cuenca.

Tabla 4.61. Porcentajes de amenaza en el área total de la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe.

Categoría de Amenaza	Porcentaje (%)
Alta	7,77
Media	4,61
Baja	87,62
Total	100

Figura 4.106. Porcentajes de amenaza en el área total por Avenidas torrenciales de la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe.



4.3.4.4. *Necesidades de Información*

Es de gran importancia contar con una base de datos clara y especifica con la mayor información detallada reportada (fecha de ocurrencia, fuente, detonante, causas, afectaciones) y georreferenciada que aporte un conocimiento claro en las zonas donde se presentan recurrentemente este tipo de procesos con el fin de nutrir y especificar las áreas críticas con mayor afectación en el área de la cuenca, y así, lograr una modelación acorde a la realidad, obteniendo una zonificación de susceptibilidad y amenaza por avenidas torrenciales que refleje la posible ocurrencia de estos eventos, y realizar una determinación clara de la mitigación y formas de disminuir la vulnerabilidad y riesgo en las áreas con mayor afectación por estos eventos.

Contar con estudios geomorfológicos a escalas más detalladas en las áreas determinadas en amenaza media y alta, que permita precisar con mayor exactitud el área de ocurrencia de estos eventos, disminuyendo de esta manera las afectaciones y aumentando el conocimiento para la mitigación de este tipo de amenaza.

Verificar los procesos morfodinámicos (Avenidas Torrenciales, Derrumbes) que se generan al interior del Parque Nacional Natural Sierra Nevada, con el propósito de integrar en su plan de manejo, medidas de reducción y/o mitigación de este tipo de eventos.

En los corregimientos de Bonda, Minca, y Guachaca en el municipio de Santa Marta, y veredas Jolonura, Mamonal, Región Córdoba, Lourdes, Cantarana y La Reserva del municipio de Ciénaga, revisar y analizar con mayor precisión las evidencias cronológicas asociadas a procesos torrenciales, a fin de determinar los sectores que requieren una intervención prioritaria por parte de las entidades municipales.

4.3.4.5. *Recomendaciones Finales*

Con base a los resultados obtenidos, se recomienda realizar énfasis en las áreas categorizadas en amenaza media y alta, priorizando proyectos de mitigación en los cauces principales del río Piedras, Guachaca, Gaira, Bonda, Manzanares, Toribio y Córdoba reubicando poblaciones asentadas en las riberas de estos cauces.

Desarrollar planes de reforestación en las riberas de los cauces y afluentes principales de la cuenca donde no se tiene control natural de taludes, con el fin de mantener estables las laderas con pendientes abruptas y no ocasionar bloqueos en los ríos y quebradas, evitando la ocurrencia de eventos por avenidas torrenciales en zonas caracterizadas como de amenaza media y alta, debido a las condiciones de torrencialidad identificadas en el área de la cuenca.

Alimentar las bases de datos con la ocurrencia de estos eventos, georreferenciando la información y caracterizándola en detalle, capacitando los líderes comunales y municipales para aumentar el conocimiento de estos tipos de fenómenos, con el fin de mitigar y disminuir las afectaciones que se ocasionan.

4.3.5. Amenaza por otros eventos

En la Cuenca Hidrográfica río Piedras, Manzanares y Otros Directos al Caribe se han identificado como Otros Eventos Amenazantes, los fenómenos de Sequias, Erosión costera, Sismos, Marejadas Tempestades y Vendavales. A estos eventos no se les dio un tratamiento detallado dentro en los ítems de Análisis de susceptibilidad ni en la definición de Áreas críticas, debido a que su análisis no hace parte del objeto de este estudio; sin embargo, se incluye una breve reseña para cada uno, construida a partir de información secundaria principalmente, y con los apartes recibidos de las comunidades durante las fases de campo y en los talleres realizados en la Fase de diagnóstico.

4.3.5.1. *Amenaza por Sequía.*

La sequía supone una anomalía transitoria, más o menos prolongada, caracterizada por un periodo de tiempo con valores de las precipitaciones inferiores a los normales en el área. La causa inicial de toda sequía es la escasez de precipitaciones (sequía meteorológica) lo que deriva en una insuficiencia de recursos hídricos (sequía hidrológica) necesarios para abastecer la demanda existente (MAPAMA, s.f.). Este fenómeno debería considerarse como una característica repetitiva del clima y es una condición, más relativa que absoluta, que debería ser definida para cada región y para cada grupo de organismos vivos. Todas las sequías difieren entre sí en intensidad, duración y extensión en el espacio geográfico (PAN, 1995).

La sequía se reconoce como un problema social que genera una cadena de sub-problemas tales como, reducción de la producción, falta de seguridad alimentaria, migración, problemas de salud e incremento de la pobreza; reduciendo significativamente las condiciones de vida de las poblaciones. El territorio colombiano no es ajeno a esta realidad, se han registrado eventos de sequía con diferentes intensidades y escalas espacio temporales, afectando la disponibilidad de agua de las regiones; siendo el evento del año 1992, el que presenta mayor recordación en la población, debido a que la escasez del recurso hídrico generó una crisis energética, la cual se extendió por varios meses.

Un estudio realizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), revela que dentro del área de la Cuenca Hidrográfica río Piedras, Manzanares y Otros Directos al Caribe, se han presentado dos periodos de sequía de intensidad significativa (marzo/76-febrero/78 y agosto/82-junio/84) clasificada entre ligera y moderada, con mayores afectaciones sobre el distrito de Santa Marta.

Figura 4.107. **Sequía en la Sierra Nevada, se observa la disminución de los cauces de las fuentes hídricas. agosto de 2014.**



Fuente: http://www.elheraldo.co/local/la-imparable-agonia-de-la-sierra-nevada-162531

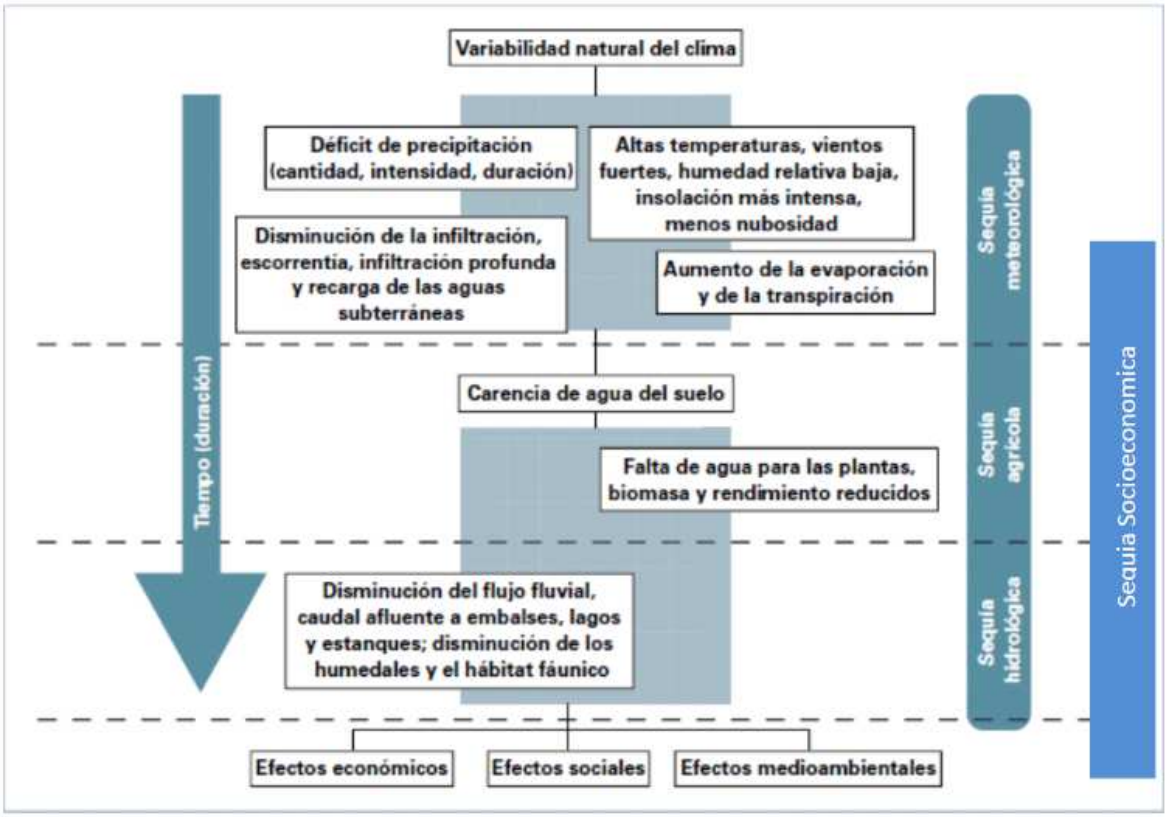
El desarrollo del este ítem, busca contribuir con la evaluación de la sequía meteorológica de la cuenca hidrográfica objeto de ordenación, aplicando el método del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), el cual considera que las condiciones de sequía se presentan, al disminuir la cantidad de lluvia acumulada por debajo del valor promedio.

4.3.5.1.1. *Generalidades*

La sequía es una manifestación de la variabilidad del ciclo hidrológico y es uno de los fenómenos climáticos más complejos que afectan las estructuras socioeconómicas y ambientales de un territorio (Wilhite, 1993). Su complejidad radica, en parte, en la inexistencia de una variable física que se pueda medir para cuantificarla (Vicente-Serrano, 2012), conllevando a la generación de diversas conceptualizaciones del fenómeno, en función de los efectos o impactos que tenga sobre los tipos de sistemas (Agricultura, recursos hídricos, ecosistemas, economía).

En la Figura 4.108**,** se puede observar la secuencia de sucesos de sequía y sus efectos para tipos de sequía comúnmente aceptados:

Figura 4.108. **Comportamiento de la sequía**



Fuente: Centro Nacional de Mitigación de Sequías, Universidad de Nebraska-Lincoln, Estados Unidos de América.

Todas las sequías son consecuencia de un déficit de precipitación provocando diferentes tipos de sequía y de efectos. Los principales tipos de sequías que existen son: Meteorológica, Agrícola, e hidrológica.

- Sequía Meteorológica: La sequía meteorológica es definida usualmente comparando la precipitación del momento (días, meses e incluso años) de una zona específica con el registro histórico de la precipitación media para esa zona o región. Esta sequía está basada en un solo parámetro, la cantidad de precipitación que se registra debido a unas condiciones atmosféricas dadas; si hay reducción de la precipitación existió sequía meteorológica (IDEAM, 2006). Este tipo de sequía es la que se desea evaluar para la cuenca hidrográfica objeto de ordenación, debido a que permite evidenciar la dinámica del fenómeno de acuerdo con el comportamiento climático de la zona.

- Sequía Hidrológica: Esta sequía es producida cuando los suministros de agua de la superficie terrestre y del subsuelo son deficientes e inferiores a los normales. La frecuencia y severidad de esta sequía es a menudo definida por el nivel de los ríos u otras escalas. Aunque todas las sequías se originan de un déficit de precipitación, en la sequía hidrológica se profundiza en cómo ésta forma parte del sistema hídrico. Además, esta sequía está usualmente

desfasada de la ocurrencia de sequías meteorológicas o agrícolas; lo anterior, debido a que toma más tiempo que se evidencien las deficiencias de precipitación en los componentes del sistema hídrico como son humedad del suelo, niveles de los ríos, lagos, embalses y aguas freáticas (IDEAM, 2006).

- Sequía Agrícola: La sequía agrícola se presenta cuando el agua con la que se cuenta, ya sea por precipitación o por almacenamiento en el suelo o en los diferentes cuerpos de agua, no es suficiente para que los cultivos puedan crecer y desarrollarse de manera adecuada. La sequía agrícola tiene lugar cuando hay periodos de baja precipitación, evapotranspiración actual y potencial altas, déficit de agua en el suelo, reducción del nivel de agua en los ríos y acuíferos, entre otros. La sequía agrícola y su severidad dependen en buena proporción de las actividades humanas. Este tipo de sequía se manifiesta justo después o en el transcurso de una sequía meteorológica y es previa a la sequía hidrológica. Sus impactos se limitan al estado de los cultivos y no tienen en cuenta ninguna otra consecuencia que pueda originar una sequía (IDEAM, 2006).

Por otro lado, el comportamiento temporal, geográfico o espacial y la variedad de factores y escalas que involucran la sequía, la hacen difícil de definir y medir. Muchas mediciones cuantitativas han sido desarrolladas dependiendo de la región, disciplina o propósito; dentro de las que se destacan: índices de déciles de precipitación, índice normalizado de precipitación (SPI), Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI) e Índice de Disponibilidad Hídrica (IDH). Para el caso particular de la Cuenca Hidrográfica del Río Piedras – Río Manzanares y Otros directos al Caribe, se ha seleccionado el índice estandarizado de precipitación, debido a su sencillez y a su practicidad en la identificación y seguimiento del fenómeno.

El índice normalizado de precipitación (SPI), es un método utilizado por el Centro de Mitigación de la Sequía de Estados Unidos (NDMC); el cual se fundamenta en el ajuste de una serie de lluvia mensual a una distribución probabilística tipo Gamma, que posteriormente se trasforma en una distribución normal. De esta manera, el SPI representa el número de desviaciones estándar que cada registro se aparta de su valor normal para el periodo analizado; deduciendo que registros de precipitación superiores al promedio histórico, darán valores positivos, representando condiciones de humedad; por el contrario, registros de precipitación inferiores al promedio histórico, arrojarán valores negativos, indicando un déficit de humedad.

El SPI puede calcularse para distintas escalas temporales (3, 6, 9, 12, 24 y 48 meses), lo cual permite evaluar la severidad de la sequía en el corto y largo plazo, de acuerdo con la intensidad del fenómeno, la cual se clasifica en los siguientes rangos:

Tabla 4.62. Categorización de eventos de sequía de acuerdo con el Índice SPI

Rango	Clasificación	Identificación
Desde -2 y menos	Extremadamente seco	
Desde -1,5 a -1,99	Severamente seco	
Desde -1,0 a -1,49	Moderadamente seco	
Desde -0,99 a 0,99	Normal o aproximadamente normal	
Desde 1,0 a 1,49	Moderadamente húmedo	
Desde 1,5 a 1,99	Muy húmedo	
Desde 2,0 y >	Extremadamente húmedo	

Fuente: OMM, 2012

Es importante reconocer que el cambio climático está alterando el perfil de los riesgos de desastres, no solo con el incremento de los riesgos relacionados con el clima (inundaciones, sequías) sino también con el aumento de los efectos o vulnerabilidades en la sociedad, convirtiéndose en tarea imprescindible la generación de acciones en torno a la reducción del riesgo y adaptación al cambio climático, a fin de minimizar el número e intensidad de los efectos generados, especialmente en las épocas de sequía.

4.3.5.1.2. *Metodología*

El procedimiento metodológico utilizado para el análisis de las condiciones de sequía de la Cuenca Hidrográfica del río Piedras - río Manzanares y otros directos al Caribe, consideró los siguientes pasos:

- Selección de la Información

Los registros de precipitación se tomaron de la base de datos del IDEAM, seleccionando aquellas estaciones que cumplieran con algunos parámetros, tales como: extensión de la serie histórica, localización, representatividad y calidad de los datos. Escogiendo finalmente 32 estaciones, a fin de regionalizar el comportamiento de la precipitación de la cuenca hidrográfica.

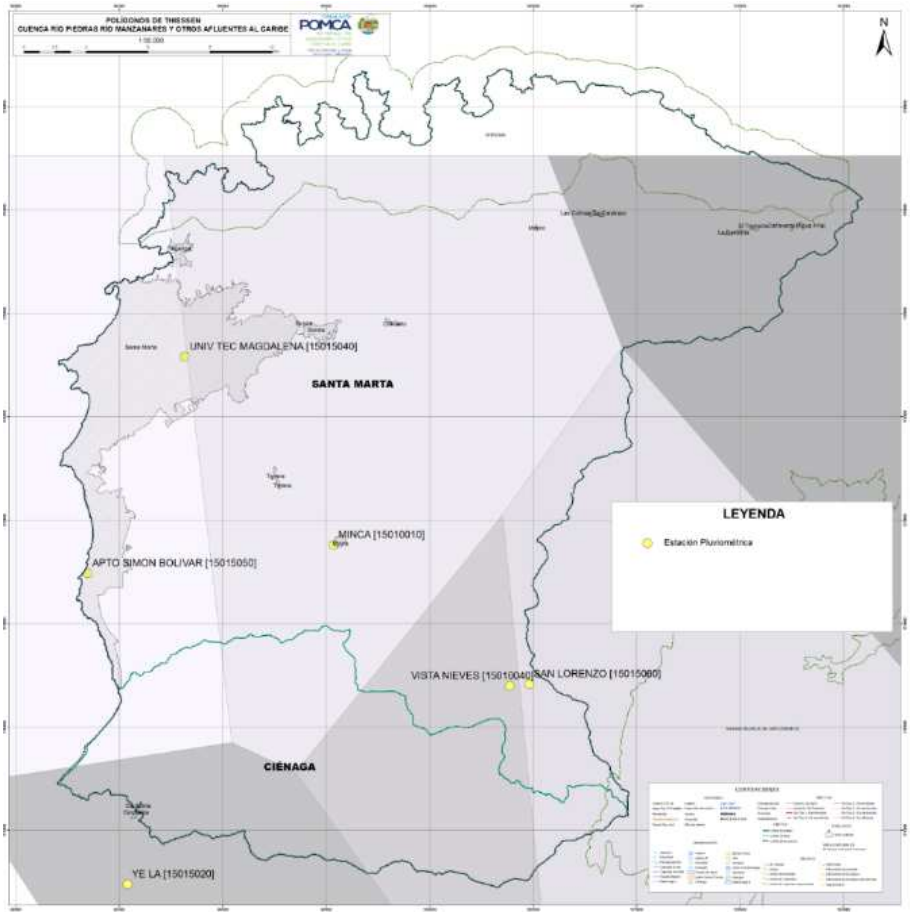
Tabla 4.63. Categorización de eventos de sequía de acuerdo con el Índice SPI.

N°	CÓDIGO	ESTACIÓN	CATEGORÍA	COORD_ESTE	COORD_NORTE
1	29045020	APTO E CORTISSOZ	SP	923.219	1.695.420
2	15015050	APTO SIMON BOLIVAR	SP	983.463	1.722.433
3	29060030	BONGO EL	PM	967.395	1.669.399
4	15010020	BURITACA	PM	1.034.397	1.735.844
5	29060140	CARMEN EL	PM	987.425	1.670.950
6	29060060	CENIZO EL	PM	1.000.469	1.669.697
7	29060150	DESTINO EL	PM	983.956	1.661.079
8	15030010	DIBULLA	PM	1.084.198	1.738.333
9	29060160	ENANO EL	PM	987.875	1.696.167
10	29060180	ESPERANZA LA	PM	974.977	1.679.763
11	29060040	FUNDACION	PM	988.538	1.655.624
12	29060170	GAVILAN EL	PM	976.433	1.667.392
13	15010300	GUACHACA	PG	1.026.026	1.735.621
14	29060380	LOMA LA	PM	970.195	1.680.593
15	29060200	MARIA LA	PM	988.019	1.657.427
16	15010010	MINCA	PM	995.358	1.723.812
17	29065020	PADELMA	CO	986.631	1.677.387
18	29060210	PALMA LA	PM	986.235	1.704.371
19	29060270	PALO ALTO	PM	978.734	1.677.545
20	28010370	PARIS DE FRANCIA	PM	1.081.990	1.652.180
21	29065030	PRADO SEVILLA	CO	991.555	1.682.148
22	29060250	PROYECTOS LOS	PM	984.514	1.678.261
23	29040300	PTO GIRALDO	PM	918.472	1.653.896
24	29060280	SAN ISIDRO	PM	985.235	1.695.369
25	15015060	SAN LORENZO	CP	1.004.796	1.717.083
26	29060070	SAN PABLO	PM	1.005.545	1.687.018
27	29060540	SAN RAFAEL	PM	935.852	1.663.010
28	29060090	SAN SEBASTIANDER	PM	1.052.261	1.660.341
29	29060310	SEVILLANO	PM	980.871	1.700.871
30	29060120	TASAJERA	PM	968.933	1.705.618
31	29060240	UNION LA	PM	983.926	1.675.090
32	15010040	VISTA NIEVES	PM	1.003.855	1.716.991

Fuente: Adaptado del IDEAM, 2015

Sin embargo, cabe anotar que, en la cuenca en ordenación, el comportamiento del régimen de precipitación está influenciado directamente por siete estaciones (Apto Simón Bolívar, Guachaca, Minca, La Palma, San Lorenzo y Vista Nieves), tal como se representa en la siguiente figura.

Figura 4.109. **Influencia de las estaciones meteorológicas en la Cuenca Hidrográfica del Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe**



Cada una de las estaciones meteorológicas seleccionadas, cuentan con series de precipitación completas de más de 30 años, evitando que los datos faltantes generen conclusiones erróneas y cumpliendo con los lineamientos de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), quién no recomienda estaciones con menos tiempo de información.

- ❖ Procesamiento de la Información

El cálculo del SPI, se realizó de acuerdo con los lineamientos de la Organización Meteorológica Mundial en el documento "Índice normalizado de precipitación. Guía del Usuario". Este procedimiento se fundamenta, en el ajuste de los registros a una distribución de probabilidades, transformándolos posteriormente en una distribución normal, de modo que el SPI medio para el área y el período deseado sea cero (OMM,2012).

- ❖ Calculo de las intensidades de sequía

Se eligió trabajar con períodos acumulados de 3 meses (SPI 3), doce meses (SPI 12) Y veinticuatro meses (SPI 24), ya que estos periodos permiten reconocer y analizar los tres tipos de sequía más frecuentes: Meteorológica, Agrológica e Hidrológica. Para cada uno de estos periodos, se realizó el

análisis de intensidad, la cual corresponde al valor del SPI, es decir, la desviación de la precipitación acumulada; evidenciando que algunas estaciones alcanzan valores <-2, correspondiente a condiciones extremadamente secas.

- Determinación de la Magnitud y Duración de los eventos de sequía

La duración de un evento de sequía, se determinó según la longitud del periodo en el que se presente una secuencia continua de valores iguales o inferiores a -1, es decir, comienza cuando el SPI está por debajo de –1, y termina cuando el SPI se hace mayor de –1. Una vez identificados los periodos de sequía, se realizó una sumatoria de los índices SPI de cada estación para esos periodos. Estas series de sumas comprenden la magnitud de sequía en los sitios de estudio, los cuales resultaron con valores comprendidos en el intervalo entre –20 a 20 aproximadamente.

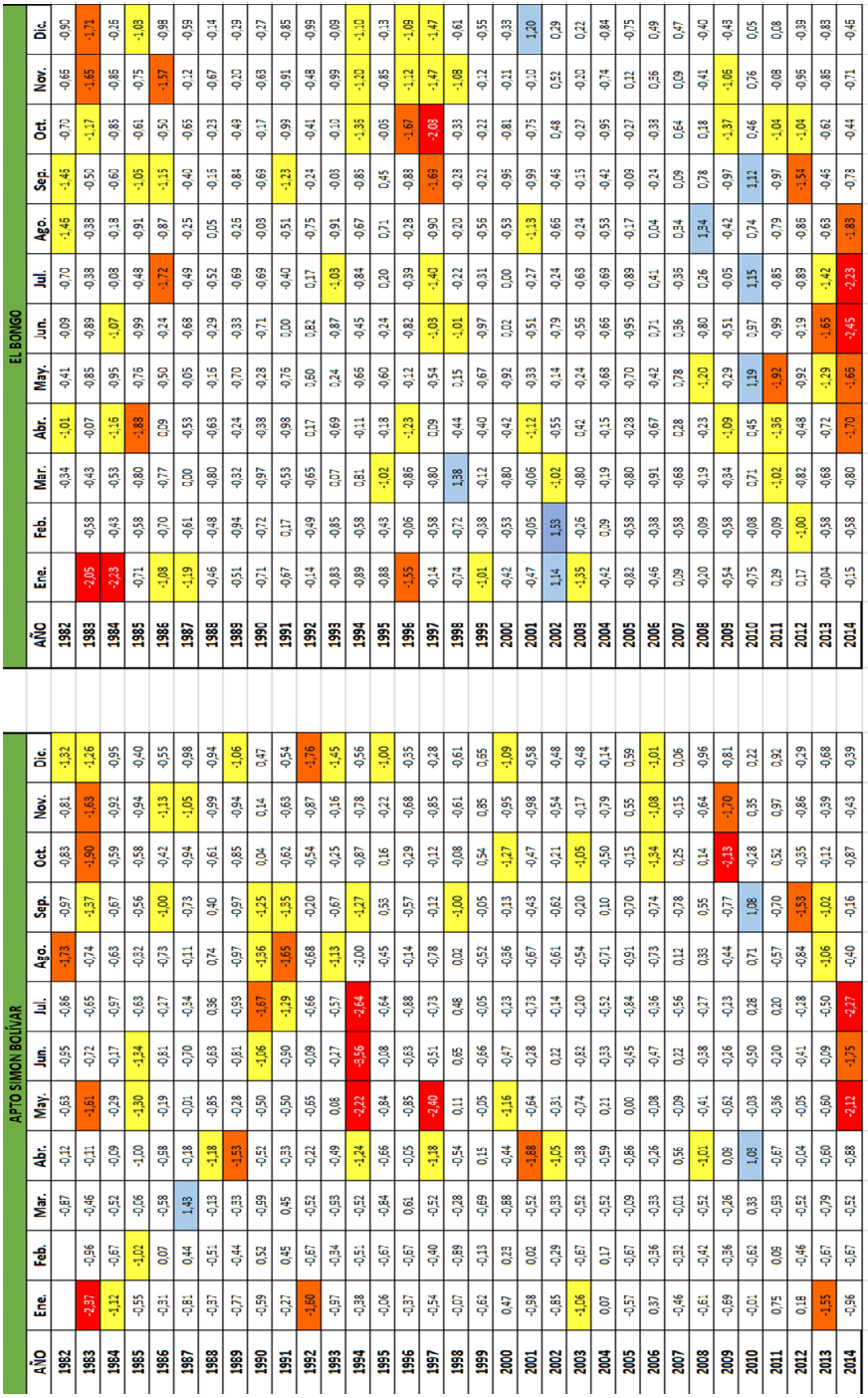
- Zonificación de la amenaza por sequía

Para la zonificación de la amenaza por sequía de la cuenca hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y Otros directos al Caribe, se eligió trabajar con períodos acumulados de 3 meses (SPI 3), ya que los períodos mensuales mostraban gran variabilidad, y los acumulados de 12 meses o más, muestran tendencias asociadas a una sequía hidrológica y no meteorológica (la cual es el objeto del presente análisis). Adicionalmente, el SPI 3, permite analizar la dinámica del fenómeno de sequía, de acuerdo con el comportamiento climático de la cuenca hidrográfica, diferenciando con mayor claridad, las temporadas lluviosas y secas.

El procedimiento metodológico para la zonificación de la amenaza por sequía, se obtuvo a través de la combinación de los criterios de intensidad y probabilidad de ocurrencia, siguiendo los pasos descritos a continuación:

Una vez calculados los SPI para cada estación, se procedió a señalar la intensidad de los eventos de sequía, de acuerdo con las categorías establecidas por la Organización Meteorológica Mundial, haciendo énfasis en aquellos registros que presentan una desviación +/- 1 (Ver Anexo 16)

Figura 4.110. **Intensidad de los eventos de Sequía**



EL BONGO													
AÑO	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
1982			-0,34	-1,01	-0,41	-0,09	-0,70	-1,46	-1,45	-0,70	-0,65	-0,90
1983	-2,05	-0,58	-0,43	-0,07	-0,85	-0,89	-0,38	-0,38	-0,50	-1,17	-1,65	-1,71
1984	-2,23	-0,43	-0,53	-1,16	-0,95	-1,07	-0,08	-0,18	-0,60	-0,85	-0,86	-0,26
1985	-0,71	-0,58	-0,80	-1,88	-0,76	-0,99	-0,48	-0,91	-1,05	-0,61	-0,75	-1,08
1986	-1,08	-0,70	-0,77	0,29	-0,50	-0,24	-1,72	-0,87	-1,15	-0,50	-1,57	-0,98
1987	-1,19	-0,61	0,00	-0,53	-0,05	-0,68	-0,49	-0,25	-0,40	-0,65	-0,12	-0,59
1988	-0,46	-0,48	-0,80	-0,63	-0,16	-0,29	-0,52	0,05	-0,15	-0,23	-0,67	-0,14
1989	-0,51	-0,94	-0,32	-0,24	-0,70	-0,33	-0,69	-0,26	-0,84	-0,49	-0,10	-0,19
1990	-0,71	-0,72	-0,97	-0,38	-0,28	-0,71	-0,69	-0,03	-0,69	-0,17	-0,63	-0,27
1991	-0,67	0,17	-0,53	-0,98	-0,76	0,00	-0,40	-0,51	-1,23	-0,99	-0,91	-0,85
1992	-0,14	-0,49	-0,65	0,17	0,60	0,82	0,17	-0,75	-0,24	-0,41	-0,48	-0,99
1993	-0,83	-0,85	0,07	-0,69	0,24	-0,87	-1,03	-0,91	-0,03	-0,10	-0,99	-0,09
1994	-0,89	-0,58	0,81	-0,11	0,65	-0,45	-0,84	-0,67	-0,85	-1,35	-1,20	-1,10
1995	-0,88	-0,43	-1,02	-0,18	-0,60	-0,24	0,20	0,71	0,45	-0,05	-0,85	-0,13
1996	-1,55	-0,06	-0,86	-1,23	-0,12	-0,82	-0,39	-0,28	-0,88	-1,67	-1,12	-1,09
1997	-0,14	-0,58	-0,80	0,09	-0,54	-1,03	-1,40	-0,90	-1,69	-2,08	-1,47	-1,47
1998	-0,74	-0,72	1,38	-0,44	0,15	-1,01	-0,22	-0,20	-0,23	-0,33	-1,08	-0,61
1999	-1,01	-0,38	-0,12	-0,40	-0,67	-0,97	-0,31	-0,56	-0,22	-0,22	-0,12	-0,55
2000	-0,42	-0,53	-0,80	-0,42	-0,92	0,02	0,00	-0,53	-0,95	-0,81	-0,11	-0,33
2001	-0,47	-0,05	-0,06	-1,12	-0,33	-0,51	-0,27	-1,13	-0,93	-0,75	-0,10	1,20
2002	1,14	1,53	-1,02	-0,55	-0,14	-0,79	-0,24	-0,66	-0,45	-0,48	0,52	0,29
2003	-1,35	-0,26	-0,80	0,42	-0,24	-0,56	-0,63	-0,24	-0,15	-0,27	-0,20	0,22
2004	-0,42	0,29	-0,19	-0,15	-0,68	-0,66	-0,69	-0,53	-0,42	-0,95	-0,74	-0,84
2005	-0,82	-0,58	-0,80	-0,28	-0,70	-0,95	-0,89	-0,17	-0,09	-0,27	0,12	-0,75
2006	-0,46	-0,38	-0,91	-0,67	-0,42	0,71	0,41	0,04	-0,24	-0,38	0,36	0,49
2007	0,29	-0,58	-0,68	0,28	0,78	0,36	-0,35	0,34	0,09	0,64	0,09	0,47
2008	-0,20	-0,09	-0,19	-0,23	-1,20	-0,80	0,26	1,34	0,78	0,18	-0,41	-0,40
2009	-0,54	-0,58	-0,34	-1,09	-0,29	-0,51	-0,05	-0,42	-0,97	-1,37	-1,06	-0,43
2010	-0,75	-0,08	0,71	0,45	1,19	0,97	1,15	0,74	1,12	0,46	0,76	0,65
2011	0,29	-0,09	-1,02	-1,36	-1,92	-0,99	-0,85	-0,79	-0,97	-1,04	-0,08	0,08
2012	0,17	-1,00	-0,82	-0,48	-0,92	-0,19	-0,89	-0,86	-1,54	-1,04	-0,96	-0,39
2013	-0,04	-0,58	-0,68	-0,72	-1,29	-1,65	-1,42	-0,63	-0,45	-0,62	-0,86	-0,83
2014	-0,15	-0,58	-0,80	-1,70	-1,66	-2,45	-2,23	-1,83	-0,73	-0,44	-0,71	-0,46

APTO SIMON BOLÍVAR												
AÑO	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
1982			-0,87	-0,12	-0,83	-0,55	-0,86	-1,73	-0,97	-0,83	-0,81	-1,32
1983	-2,37	-0,56	-0,46	-0,11	-1,61	-0,72	-0,65	-0,74	-1,37	-1,90	-1,63	-1,26
1984	-1,11	-0,67	-0,52	-0,09	-0,29	-0,17	-0,97	-0,63	-0,67	-0,59	-0,92	-0,95
1985	-0,55	-1,02	-0,06	-1,00	-1,30	-1,34	-0,63	-0,32	-0,56	-0,58	-0,94	-0,40
1986	-0,31	0,07	-0,58	-0,58	-0,19	-0,81	-0,27	-0,73	-1,00	-0,42	-1,13	-0,55
1987	-0,81	0,44	1,48	-0,18	-0,01	-0,70	-0,34	-0,11	-0,73	-0,94	-1,05	-0,98
1988	-0,37	-0,51	-0,13	-1,18	-0,85	-0,63	0,36	0,74	0,40	-0,61	-0,99	-0,94
1989	-0,77	-0,44	-0,33	-1,53	-0,28	-0,61	-0,93	-0,97	-0,97	-0,85	-0,94	-1,06
1990	-0,59	0,52	-0,99	-0,52	-0,50	-1,06	-1,67	-1,36	-1,25	0,04	0,14	0,47
1991	-0,27	0,45	0,45	-0,33	-0,50	-0,50	-1,29	-1,65	-1,35	-0,62	-0,63	-0,54
1992	-1,60	-0,67	-0,52	-0,21	-0,55	-0,09	-0,66	-0,68	-0,20	-0,54	-0,87	-1,76
1993	-0,97	-0,34	-0,93	-0,49	0,08	-0,27	-0,57	-1,13	-0,67	-0,25	-0,16	-1,45
1994	-0,38	-0,51	-0,52	-1,24	-2,22	-3,56	-2,64	-2,00	-1,27	-0,87	-0,78	-0,56
1995	-0,06	-0,67	-0,84	-0,66	-0,84	-0,08	-0,64	-0,45	0,53	0,16	-0,22	-1,00
1996	-0,37	-0,67	0,61	-0,05	-0,85	-0,63	-0,88	-0,14	-0,57	-0,29	-0,68	-0,55
1997	-0,54	-0,40	-0,52	-1,18	-2,40	-0,51	-0,73	-0,78	-0,12	-0,12	-0,65	-0,28
1998	-0,07	-0,89	-0,28	-0,54	0,11	0,65	0,48	0,02	-1,00	-0,08	-0,61	-0,61
1999	-0,62	-0,13	-0,69	0,15	-0,05	-0,66	-0,05	-0,52	-0,05	0,54	0,85	0,65
2000	0,47	0,23	-0,88	-0,44	-1,16	-0,47	-0,23	-0,36	-0,13	-1,27	-0,95	-1,09
2001	-0,98	0,02	-0,52	-1,88	-0,64	-0,28	-0,73	-0,67	-0,43	-0,47	-0,98	-0,58
2002	-0,85	-0,29	-0,33	-1,05	-0,31	0,22	-0,14	-0,61	-0,62	-0,21	-0,54	-0,48
2003	-1,06	-0,67	-0,52	-0,38	-0,74	-0,82	-0,20	-0,54	-0,20	-1,05	-0,17	-0,48
2004	0,07	0,17	-0,52	0,59	0,21	-0,33	-0,52	-0,71	0,10	-0,50	-0,79	-0,14
2005	-0,57	-0,67	-0,09	-0,66	0,00	-0,45	-0,84	-0,91	-0,70	-0,15	0,55	0,59
2006	0,37	-0,36	-0,33	-0,26	-0,08	-0,47	-0,36	-0,73	-0,74	-1,34	-1,08	-1,01
2007	-0,46	-0,32	-0,01	0,56	-0,09	0,12	-0,56	0,12	-0,78	0,25	-0,15	0,06
2008	-0,61	-0,42	-0,52	-1,01	-0,41	-0,38	-0,27	0,33	0,55	0,14	-0,64	-0,96
2009	-0,69	-0,36	-0,26	0,08	-0,62	-0,26	-0,23	-0,44	-0,77	-2,13	-1,70	-0,81
2010	-0,01	-0,61	0,33	1,08	-0,03	-0,50	0,28	0,71	1,08	-0,28	0,35	0,22
2011	0,75	0,09	-0,93	-0,67	-0,36	-0,20	0,20	-0,57	-0,70	0,52	0,97	0,92
2012	0,18	-0,46	-0,52	-0,04	-0,05	-0,41	-0,28	-0,84	-1,53	-0,35	-0,86	-0,29
2013	-1,55	-0,67	-0,79	-0,60	-0,80	-0,09	-0,50	-1,06	-1,02	-0,12	-0,39	-0,68
2014	-0,96	-0,67	-0,52	-0,88	-2,12	-1,75	-2,27	-0,40	-0,16	-0,87	-0,43	-0,39

Posteriormente se realizó el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de cada nivel de intensidad, la cual se obtuvo en forma separada para cada una de las estaciones meteorológicas, empleando la siguiente ecuación:

$$p = \frac{m}{n+1}$$

Donde,
m: número de registros de un determinado nivel de intensidad
n: periodo de retorno del m-esimo evento de los n registrados

El nivel de amenaza del fenómeno de sequía en la Cuenca Hidrográfica del río Piedras - río Manzanares y otros directos al Caribe, se determinó en función de la intensidad y probabilidad de ocurrencia de los eventos, de acuerdo con los criterios de la siguiente tabla:

Tabla 4.64. Amenaza por sequía meteorológica

			Intensidad			
			Muy alta	**Alta**	**Media**	**Baja**
			SPI <= -2,0	-2,0 < SPI <= -1,5	-1,5 < SPI <= -1,0	-1,0 < SPI <= -0,5
Probabilidad	**Muy alta**	> 40%	Muy alta	Muy alta	Alta	Media
	Alta	30 - 40%	Alta	Alta	Media	Media
	Media	20 - 30%	Alta	Media	Media	Baja
	Baja	10 - 20%	Media	Baja	Baja	Baja
	Muy baja	< 10%	Baja	Baja	Muy baja	Muy baja

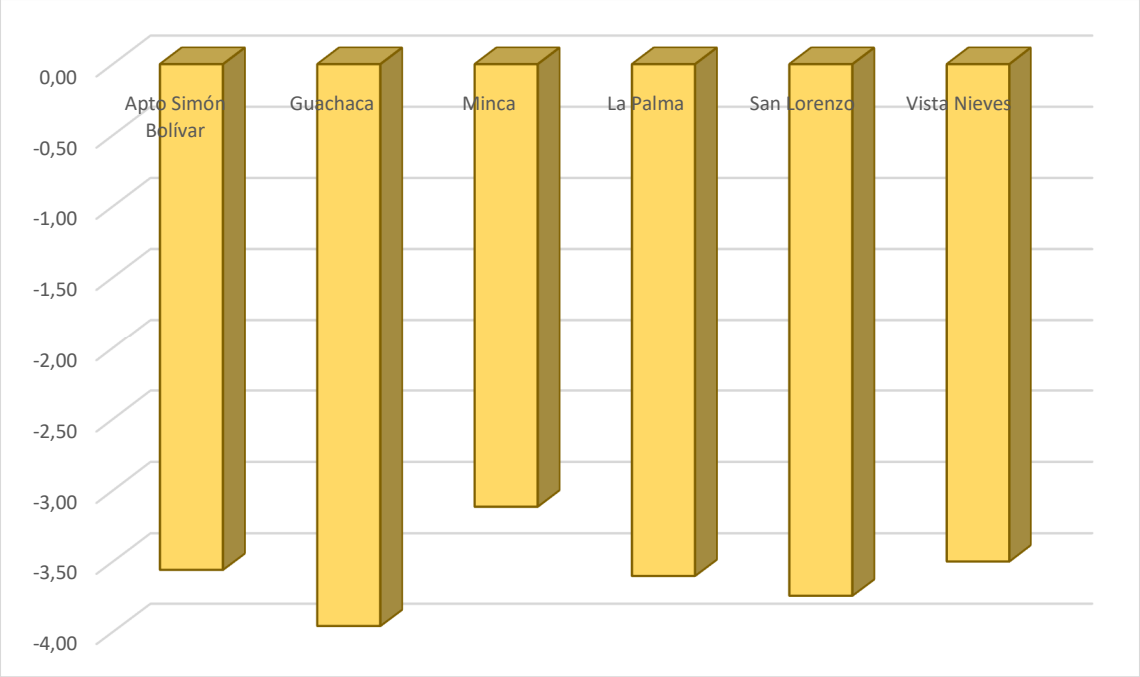
Se determinó el nivel de amenaza máximo mensual para cada estación meteorológica, y con apoyo del Surfer se elaboró una salida cartográfica de la probabilidad de ocurrencia de eventos de sequía para cada mes. De igual manera, se interpolaron los valores promedios de cada estación, obteniendo como resultado final la zonificación de amenaza por sequía de la cuenca hidrográfica objeto de ordenación.

4.3.5.1.3. *Análisis de intensidad de los eventos de sequía*

El valor del SPI representa la Intensidad de la sequía, es decir, que tan grande es el déficit de precipitación, según la escala establecida por la OMM. Se calcula sistemáticamente, para cada agrupación temporal y no representa la gravedad de la totalidad del evento seco; esto último lo cuantifica la Magnitud, que es la suma de los SPI de todas las agrupaciones temporales consecutivas con SPI ≤–1.

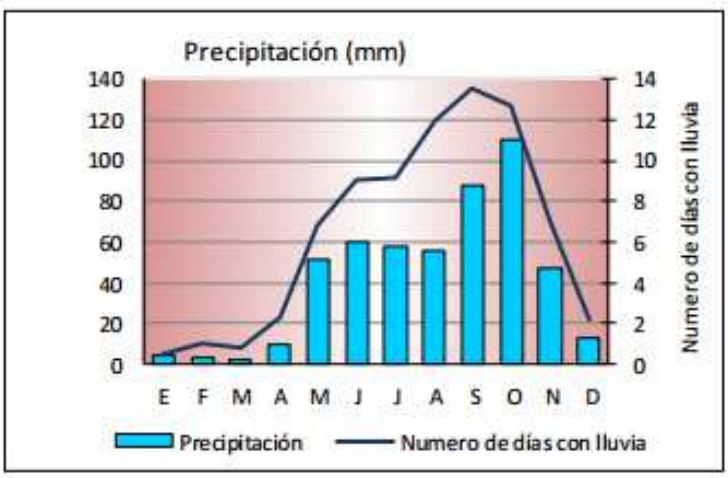
En todas las series de precipitación empleadas para el análisis del SPI en la Cuenca Hidrográfica del río Piedras - río Manzanares y otros directos al Caribe, se identificó al menos un evento de sequía, con intensidades máximas que oscilan entre -3,11 y -3,96; siendo la estación Guachaca, la que presenta el nivel de sequía más crítico en todo el territorio (ver Figura 4.111), afectando principalmente el corregimiento de Guachaca

Figura 4.111. **Intensidad máxima de los eventos de sequía**



De acuerdo con los valores de SPI, los eventos de sequía extrema y severa, se presentan en el trascurso del año, con mayor incidencia en el periodo comprendido entre diciembre y abril; lo cual, es coincidente con el comportamiento climático de la zona; ya que, en estos meses llueve menos de 2 días al mes, de acuerdo con reportes del IDEAM. Esta situación, genera efectos adversos en el territorio, tales como, disminución de la disponibilidad del recurso hídrico, reducción de la productividad agropecuaria y amenaza a la supervivencia de algunas especies.

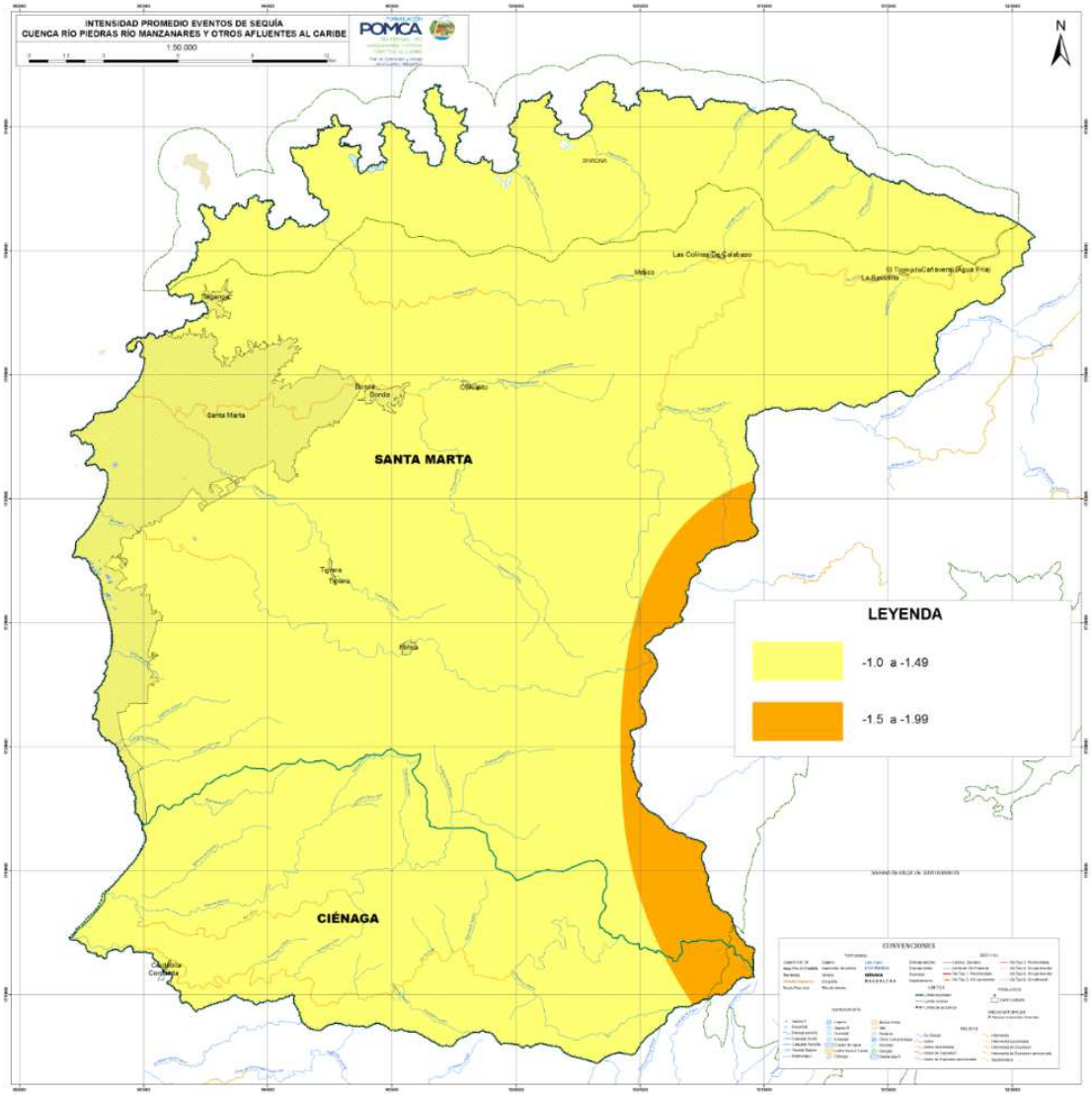
Figura 4.112. **Número de días con lluvia**



Fuente: IDEAM, s.f.

En la Figura 4.113, se muestra la distribución espacial de la intensidad promedio de la sequía, calculada como el promedio de las intensidades <=-1 de todo el periodo de registro en cada estación. En ninguna estación se presentó como valor promedio de intensidad el de sequía extrema (SPI <=-2), pero si se presentó una zona con intensidad promedio severa (SPI entre -1.5 a -1.99) hacia el sector de la estación San Lorenzo. A su vez, la intensidad promedio predominante es la moderada (SPI entre -1 a -1.49), representando el 83% de las estaciones con incidencia en la cuenca en ordenación.

Figura 4.113. **Intensidad promedio de la sequía (SPI trimestral) en la Cuenca Hidrográfica del río Piedras - río Manzanares y otros directos al Caribe**

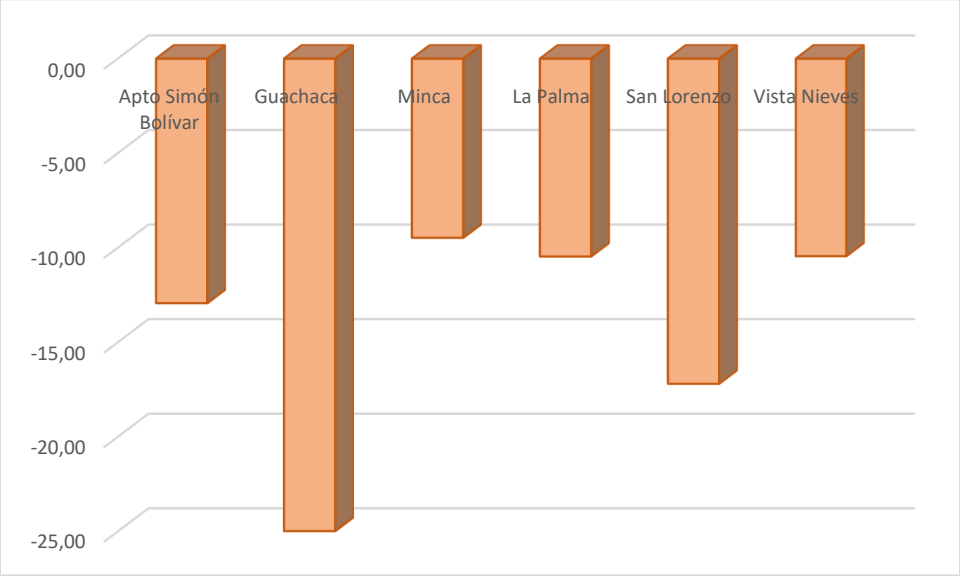


4.3.5.1.4. *Análisis de magnitud y duración de los eventos de sequía*

En la Cuenca Hidrográfica río Piedras, Manzanares y Otros Directos al Caribe, se han presentado periodos de sequía con duraciones que oscilan entre 2 y 13 meses; alcanzando magnitudes de hasta -24,98 (Ver Figura 4.114). Las estaciones meteorológicas que registraron épocas prolongadas de sequía fueron: Guachaca y San Lorenzo, con tiempos de 13 y 9 meses respectivamente.

El comportamiento de la estación Guachaca revela la ocurrencia de 23 eventos de sequía en el periodo comprendido entre 1982 y 2014, presentando la mayor magnitud de -24,98 desde agosto de 2013 hasta agosto de 2014, con un pico de intensidad de -2,85 en junio de 2014. Por su parte, en la estación San Lorenzo, se han registrado 27 eventos, reportando una magnitud máxima de -17,19 en el periodo comprendido entre junio y noviembre de 1990, alcanzando una intensidad pico de -3,74 durante el mes de Julio.

Figura 4.114. **Magnitud máxima de la sequía (SPI trimestral)**



Adicionalmente, las épocas en las cuales se han presentado eventos de sequía muy prolongados son en su mayoría coincidentes con los procesos de variabilidad climática derivados del fenómeno del Niño (Ver Tabla 4.65); periodos en los que existe una clara tendencia hacia la disminución generalizada de los volúmenes de precipitación, ocasionando efectos negativos sobre el medio físico natural y sobre las estructuras socioeconómicas de la región.

Tabla 4.65. Relación intensidad y magnitud máxima de los eventos de sequía por estación

Estación	Intensidad	Intensidad Máxima	Año Intensidad máxima	Magnitud Máxima	Año Magnitud Máxima
Apto Simón Bolívar	-1,48	-3,56	1994	-12,93	1994
Guachaca	-1,47	-3,96	1982	-24,98	2013-2014
Minca	-1,46	-3,11	1997	-9,47	1997

Estación	Intensidad	Intensidad Máxima	Año Intensidad máxima	Magnitud Máxima	Año Magnitud Máxima
La Palma	-1,42	-3,60	2014	-10,46	2014
La Ye	-1,31	-2,69	1997	-11,26	2014
San Lorenzo	-1,57	-3,74	1990	-17,19	1990
Vista Nieves	-1,43	-3,50	1989	-10,44	1989

4.3.5.1.5. *Zonificación amenaza por sequía*

Para analizar el impacto de la sequía meteorológica en la Cuenca Hidrográfica río Piedras - Manzanares y Otros Directos al Caribe, se espacializó el nivel de amenaza mensual de acuerdo con el análisis de probabilidad e intensidad de los eventos ocurridos. Tal como se muestra en la Figura 4.115, el comportamiento de la sequía presenta una tendencia moderada en el trascurso del año, con menores impactos durante los meses de mayo y diciembre.

Para el mes de enero, el 73,15% del área de la cuenca en ordenación presenta sequía moderada, excluyendo sectores de los corregimientos de Guachaca, Bonda y Minca (Distrito de Santa Marta) y de la vereda La reserva (Ciénaga), los cuales registran bajos niveles de sequía.

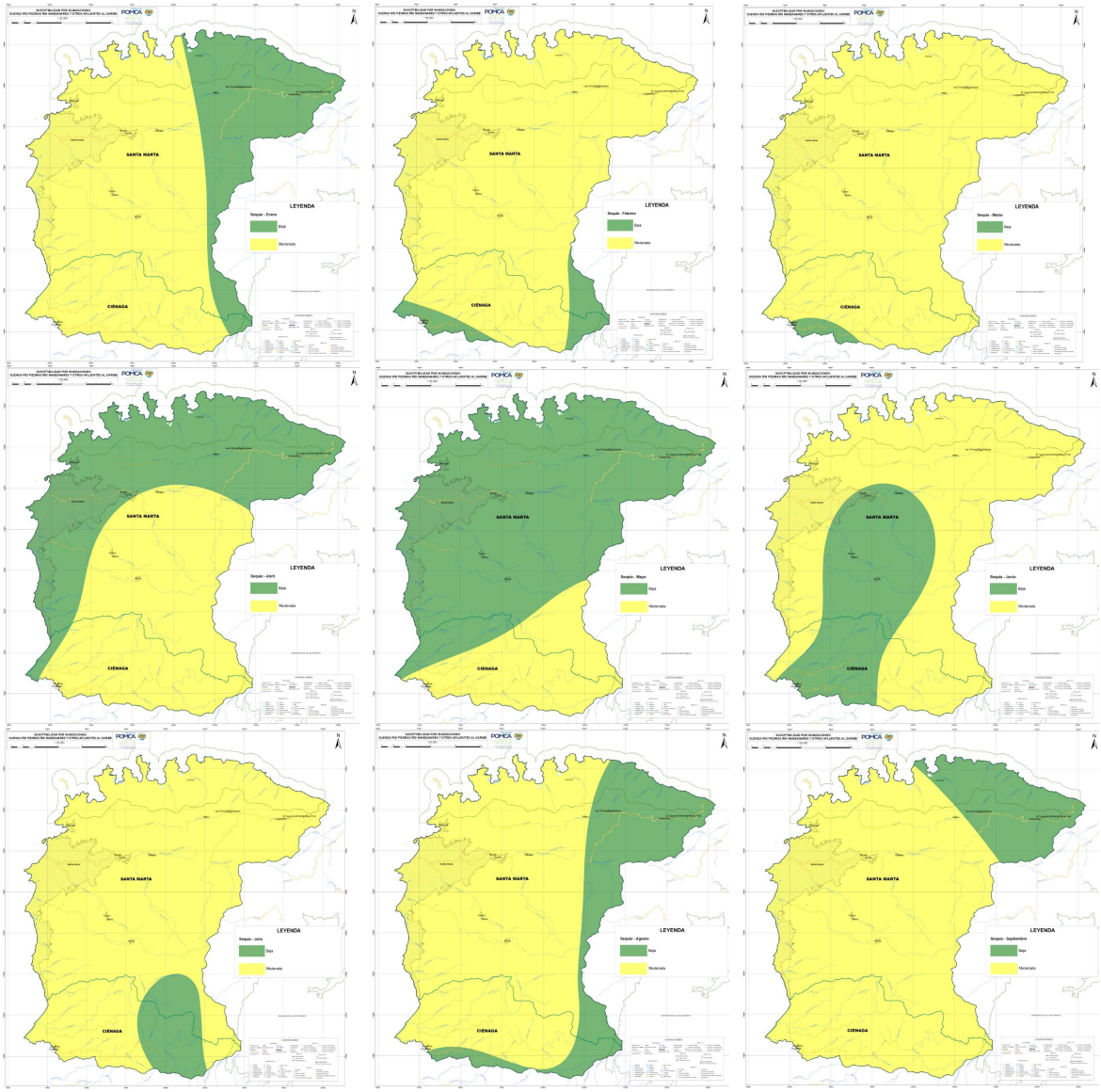
En los meses de febrero y marzo, las estaciones meteorológicas La Palma y La Ye, influyen en el comportamiento de la sequía de las veredas Mamonal, Jolonura y región Córdoba, en dónde se encuentra categorizada como baja. Por otro lado, el mes de abril, indica que el 52,37% del territorio en ordenación, presenta sequía moderada, en las veredas Jolonura, Región Córdoba, Lourdes, Cantarrana, La Reserva; y, en los Corregimientos de Bonda y Minca.

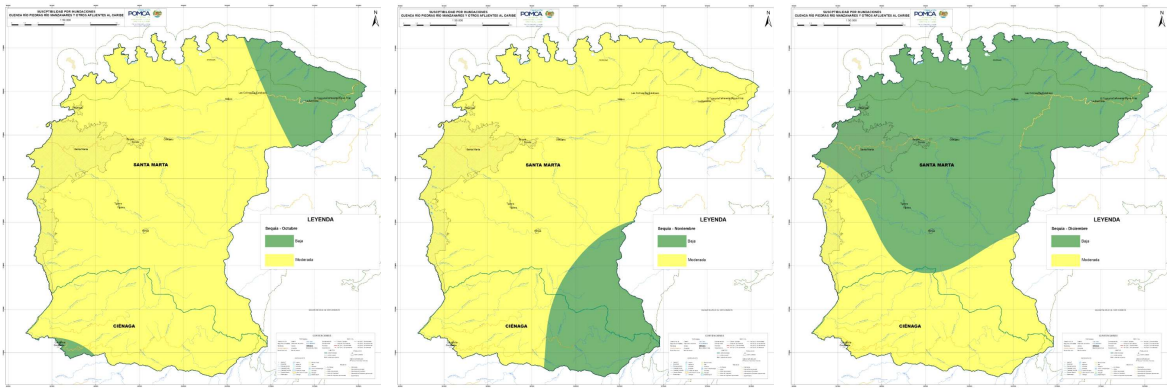
Durante el mes de mayo, se observa una extensión significativa de la sequía categorizada como baja, como consecuencia del inicio de la época lluviosa en la zona, siendo los sectores más afectados los que se encuentran en las veredas Jolonura, Región Córdoba, Lourdes, Cantarrana, La Reserva en el municipio de Ciénaga y el corregimiento e Minca en el distrito de Santa Marta.

El mes de Junio posee un comportamiento particular, observando la existencia de condiciones bajas de sequía desde el Centro hacia el Suroeste de la cuenca, en jurisdicción de los corregimientos de Minca y Bonda y de la vereda Jolonura. De otra parte, en Julio se presenta un pequeño sector con sequía categorizada como baja en las veredas región Córdoba, Lourdes, Cantarana y La Reserva, ocupando el 9,31% del área total en ordenación.

En el mes de agosto, las condiciones de sequía moderada abarcan el 75,66% de la cuenca en ordenación, evidenciando una franja continua paralela al costado Este con sequía categorizada como baja. A su vez, los meses de septiembre y octubre presentan un comportamiento similar; en donde, alrededor del 85% de la superficie del territorio, presenta condiciones moderadas de sequía, exceptuando un sector del corregimiento de Guachaca, el cual reporta sequía baja.

Figura 4.115. **Comportamiento mensual del fenómeno de sequía en la Cuenca Hidrográfica río Piedras - Manzanares y Otros Directos al Caribe.**

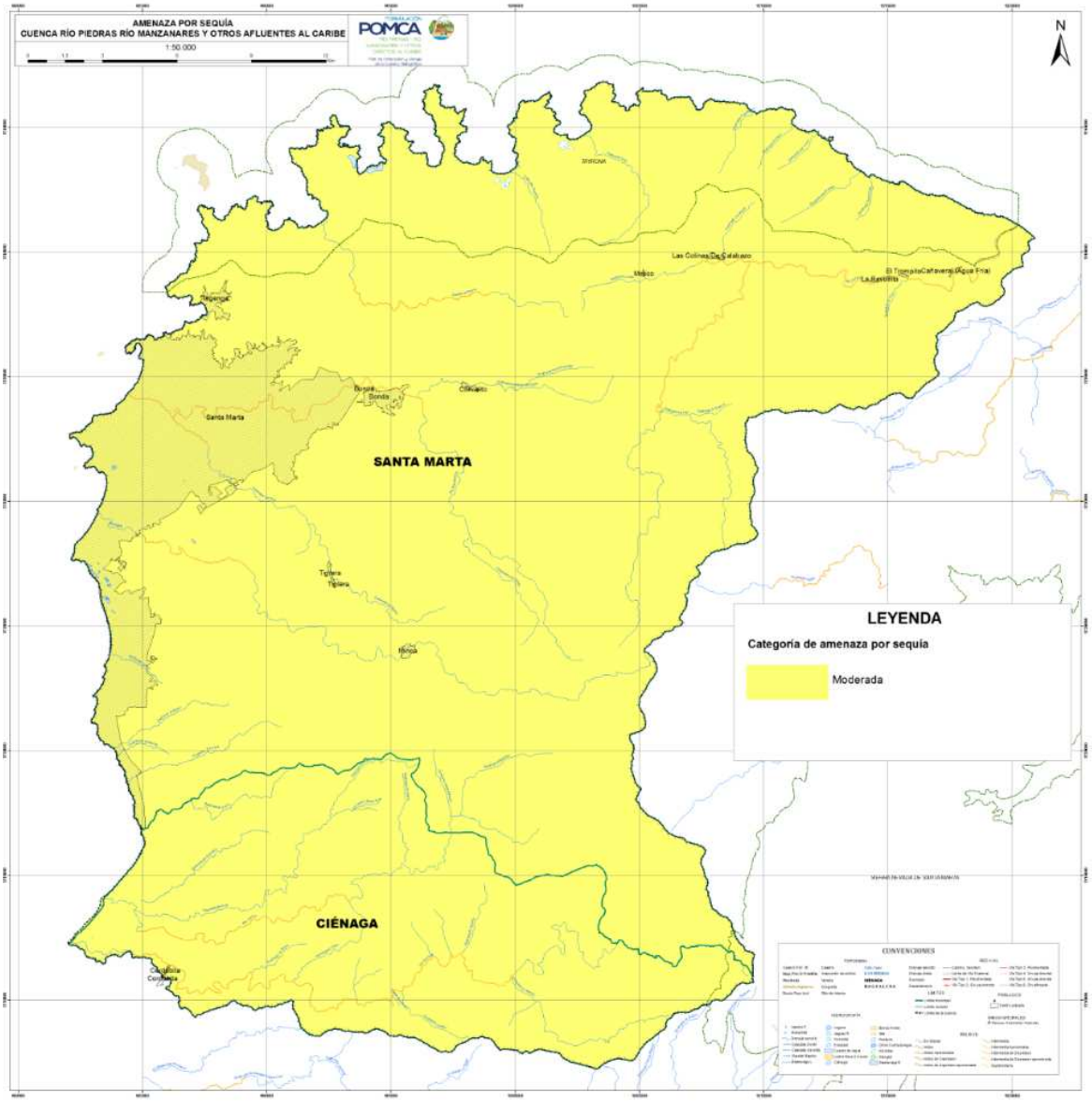




Noviembre presenta condiciones moderadas de sequía en el 85,42% del total del área en ordenación, con un sector en el Suroeste de la cuenca categorizado como de sequía baja, el cual está influenciado por el comportamiento de la precipitación en las estaciones San Lorenzo y Vista Nieves. Por último, en el mes de diciembre, el impacto de la sequía no es significativo, debido a que el 64,69% de la cuenca se encuentra categorizada como baja.

En conclusión, la Cuenca Hidrográfica río Piedras - Manzanares y Otros Directos al Caribe, presenta condiciones de sequía de tipo moderado (Ver Figura 4.116), las cuales pueden aumentar su intensidad y/o duración, a causa de fenómenos de variabilidad climática como el “Fenómeno del Niño”.

Figura 4.116. **Zonificación amenaza por sequía en la Cuenca Hidrográfica río Piedras - Manzanares y Otros Directos al Caribe.**



4.3.5.2. *Amenaza por Erosión Costera*

La erosión costera ha pasado evolutivamente de ser un proceso por la acción de agentes eólicos (vientos) e hídricos (agua), perfectamente equilibrado por fenómenos de acreción y erosión que mantenían estables los bordes costeros alrededor del mundo, a ser un problema totalmente desequilibrado acentuado por efectos colinérgicos del cambio climático global que pone en riesgo la mayoría de los ecosistemas costeros, aquellos que sustentan más del 60% de la población mundial. (PNUMA, 1996).

4.3.5.2.1. *Factores naturales que causan la erosión costera*

Dentro de los factores naturales que causan la erosión costera en este segmento de la costa colombiana, se encuentran:

- El fácil desgaste de las rocas por las aguas de escorrentía y de infiltración durante los periodos de lluvia, principalmente en las coronas de los acantilados, límites de las terrazas frente al mar. El golpeteo incesante de las olas sobre la base de las rocas ocasiona la formación de hendiduras y colapso de bloques (Sanamura, 1992). Los bordes costeros con sustratos duros, como los encontrados en el litoral rocoso frente a la SNSM están condicionados por el fuerte diaclasamiento y fracturamiento al desgaste y al colapso causando un retroceso importante de la línea de costa (Rangel, 2008).
- El predominio de materiales frágiles (esquistos, granitos) y costas rocosas expuestas al interperismo, explica el retroceso de los acantilados.
- Fenómenos de tormentas tropicales o coletazos de huracanes del Caribe, comunes en el segundo semestre del año, las depresiones tropicales, marejadas, vendavales y el fenómeno del "mar de leva" producen un oleaje mucho más alto y frecuente que llega a las zonas costeras con gran fuerza y alcanza un área mucho mayor, donde produce remoción de los materiales que se pierden sobre la plataforma.
- El aumento relativo del nivel medio del mar, se relaciona con el cambio climático a nivel mundial, con el fenómeno de El Niño y con los procesos de levantamiento y hundimiento de los terrenos. Los estudios de aumento del nivel del mar muestran un incremento para el Caribe colombiano de 22 cm en los últimos 50 años[12].
- El fenómeno de El Niño produce al menos temporales del nivel del mar del orden de 30 cm.
- La ocurrencia de sismos es otro factor a tener en cuenta, ya que puede generar tsunamis y subsidencia del terreno lo que incrementa las áreas intermareales; aunque en la costa caribe colombiana no es frecuente, tampoco se descarta su ocurrencia.

4.3.5.2.2. *Factores antrópicos que causan la erosión costera*

En las últimas décadas, la erosión de costas ha ido en crecimiento por los impactos de las intervenciones antrópicas y los fenómenos naturales en las zonas litorales. Colombia cuenta actualmente con 406 municipios costeros, 30 de ellos en el Caribe y 16 en el Pacifico. De acuerdo con los resultados del Censo General en el 2005, la población de estos municipios asciende a 4.2 millones, equivalente a 10.1% del total nacional, siendo la costa caribe la que concentra el mayor número de porcentaje de población en el territorio costero con un 83% (DPN, 2007).

Tabla 4.66. Municipios costeros del Departamento del Magdalena

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	POBLACION	%
Magdalena	Santa Marta Ciénaga Pueblo Viejo Sitio Nuevo	566.937	13,4

Fuente: DANE, Censo General 2005.

[12] Guzmán W., Posada B., Guzmán G., Programa Nacional de Investigación para la Prevención, Mitigación y Control de la Erosión Costera en Colombia – PNIEC. Invemar, Santa Marta. 2009.

Entre las principales acciones antrópicas que incrementan el problema erosivo se encuentran:

- Extracción de materiales para la construcción como gravas y arenas de las playas o el lecho de los ríos, y de las rocas de las zonas de las puntas rocosas y acantilados, lo que genera de un lado perdidas de material necesario para nutrir de sedimentos las playas, desestabiliza la línea de costa y produce cambios en el régimen hidráulico de los ríos.
- La tala de mangle, que es un ecosistema que brinda protección natural importante contra la erosión y sirve de lugar de anidación e intercambio biológico. El oleaje y las corrientes litorales que actúan en terrenos bajos y/o cenagosos donde ha sido talado el mangle, no encuentran la resistencia que brindan las raíces de los mangles contra la fuerza de las olas, ni las trampas de sedimentación que ellas mismas constituyen, dejando el terreno a merced de los procesos de erosión.
- La deforestación de zonas de dunas, contribuye a la desestabilización de estas barreras de arena protectoras y dispone el suelo a la erosión (Posada y Henao 2008).
- La construcción de represas en la parte alta de los ríos que alteran el régimen sedimentario e hidráulico (Posada y Henao 2008).
- Contaminación que puede dañar los corales y pastos marinos, protectores de la costa y proveedores de arena.
- Desarrollo de infraestructura como obras fijas en las zonas intermareales, en playas y dunas (viviendas, vías, puertos, obras de protección) perturban los procesos de transporte litoral arenoso que se dan naturalmente en estas zonas creando un desbalance de sedimentos que lleva a la erosión costera
- Las construcciones al borde de alcantarillados, principalmente en las zonas con sustrato de rocas frágiles, no ha involucrado estudios geotécnicos que indiquen la carga que puede soportar el talud sin deslizarse, ni tampoco la adecuación de los terrenos para controlar aguas de escorrentía y aguas negras provenientes de las viviendas. Por consiguiente, las basuras y los escombros son vertidos sobre los taludes incrementando así su peso y propiciando la concentración de humedad que favorece los movimientos en masa cuyos materiales finalmente van a los bordes de playa, alterando los procesos naturales de sedimentación. (Posada y Henao, 2008)[13].

[13] http://www.limcol.org/TimoneraMagazinePdf/13/timonera13Erosion%20costera.pdf

Figura 4.117. **Estación 67. Cauce del Río Manzanares invadido en el barrio Las Malvinas- Santa Marta.**



- La contaminación que proviene de las actividades humanas tanto en tierra como en el mar, puede dañar los corales y los pastos marinos, que son ecosistemas biológicos que protegen la costa y además proveen arena para las playas (Cambers, 1998).
- Sobreexplotación de las playas por exceso de capacidad de carga, dada la invasión de personas que durante fines de semana, festivos y épocas de vacaciones suelen estar en estos sitios, ello trae consigo serios problemas ambientales, como la falta de agua, y la saturación de los sistemas de alcantarillado, Impactando negativamente el paisaje y generando un decaimiento en la calidad de vida y belleza del sector.

4.3.5.2.3. *Erosión costera en la Cuenca*

Las playas y acantilados son geoformas propensas a la erosión; para que se forme una playa primero debe existir un área baja, de poca pendiente que permita la acumulación de sedimentos; segundo, deben ser mayores los procesos de acumulación o acreción que de erosión para que exista la acumulación permanente; sin embargo, si se dan otros factores que afecten esta relación, se puede sobrepasar el límite morfológico y se puede perder la playa. Las playas por ser depósitos de sedimentos no consolidados cuyos tamaños de material varían entre arena y grava, excluyendo el fango son altamente susceptibles a la erosión.

Distintas fuentes de materiales aportan en la constitución de una playa: unos sedimentos son transportados por los ríos desde tierra adentro hasta la costa y otros provienen del océano o mar. Los estudios de riesgos sobre la erosión señalan que en las zonas litorales son muchos los factores que provocan cambios en las costas y que conllevan a la destrucción de las playas, como ya se mencionó, entre ellos se cuentan las olas, las mareas, las corrientes, algunos de carácter muy

excepcional como reajustes isostáticos, vulcanismo, sismos y en la mayoría de los casos los provocados por la acción del hombre.

Entre los cambios del nivel del mar inducidos por el hombre se cuentan los vertimientos provenientes de ríos contaminados, los vertimientos de desechos urbanos y los vertimientos de aguas residuales procedentes del alcantarillado, llamadas también "Fangos Cloacales". De hecho, aunque estos vertimientos se hagan a través de tuberías a varios kilómetros de la costa (Emisarios submarinos) las corrientes y las mareas terminan por devolverlos a las zonas de playas para favorecer su erosión.

- *Erosión Costera En La Bahía De Santa Marta*

La bahía de Santa Marta, Los Cocos, Playas del Batallón, Playa Salguero y Taganga son las mayores receptoras de aguas residuales de la ciudad. En estudios desde 2009, la REDCAM indica que estas playas presentan niveles de contaminación por microorganismos fecales por encima de los mínimos índices admitidos por la Organización Mundial de la Salud y coinciden en ser éstas las que mayor erosión han registrado en los últimos 10 años.

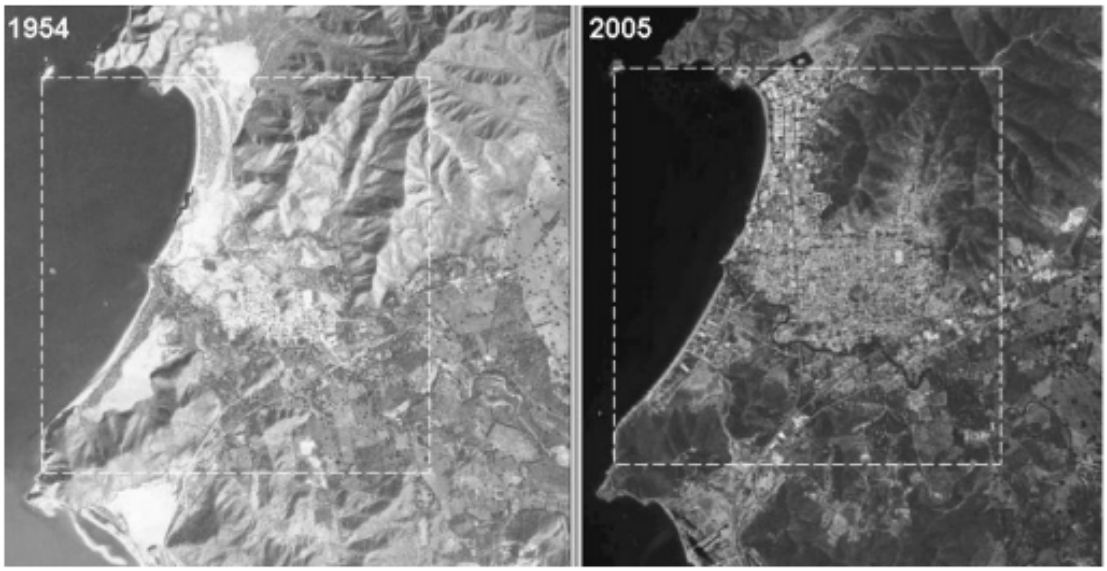
De acuerdo con el "Diagnóstico de la Erosión en la Zona Costera del Caribe Colombiano" publicado por Invemar en el 2007, estudio realizado por los científicos Blanca Olivia Posada y William Henao, los espolones construidos en la bahía de Santa Marta aceleraron los procesos de erosión hacia el sureste que afectaron las playas hasta el sector de Los Cocos inclusive. Es evidente el retroceso que sufren estas playas al comparar los cambios geomorfológicos entre fotografías aéreas e imágenes satelitales de diferentes épocas.

- *Erosión Costera En El Sector Del Rodadero*

El Rodadero es otro sector actualmente afectado por el retroceso de la costa. A pesar que en 1985 la empresa china Harbors Ingeniering Company realizó un dragado en este sector, que permitió la movilización de alrededor de 600 mil metros cúbicos para la alimentación artificial de relleno que se realizó de norte a sur y de afuera hacia adentro en toda la bahía formando una playa de 1.100 m de largo y 60 m de ancho, doblando casi las dimensiones de la existente (Garavito, 1988); no obstante, ya hoy prácticamente no existe.

De acuerdo con el estudio Contribución antropogénica a los cambios geomorfológicos, publicado en el 2009 y escrito por el doctor Nelson Rangel-Buitrago, en El Rodadero "El impacto paisajístico es grave y se está presentando un decaimiento en la calidad y belleza del sector. Los cambios geomorfológicos registran la destrucción de dunas, cordones litorales y zonas de playa" deterioro, que, según el mismo estudio, obedecen al fenómeno de expansión del sector.

Figura 4.118. **Comparación de fotografías áreas que muestran el fenómeno de expansión en el sector de El Rodadero**



Fuente: Rangel N., Contribución Antropogénica a los cambios geomorfológicos y evolución reciente de la costa Caribe Colombina. Revista Gestión y Ambiente Vol.12- No.2. Medellín, Mayo a agosto de 2009.

4.3.5.2.4. *Áreas reportadas como críticas por Erosión Costera dentro de la cuenca*

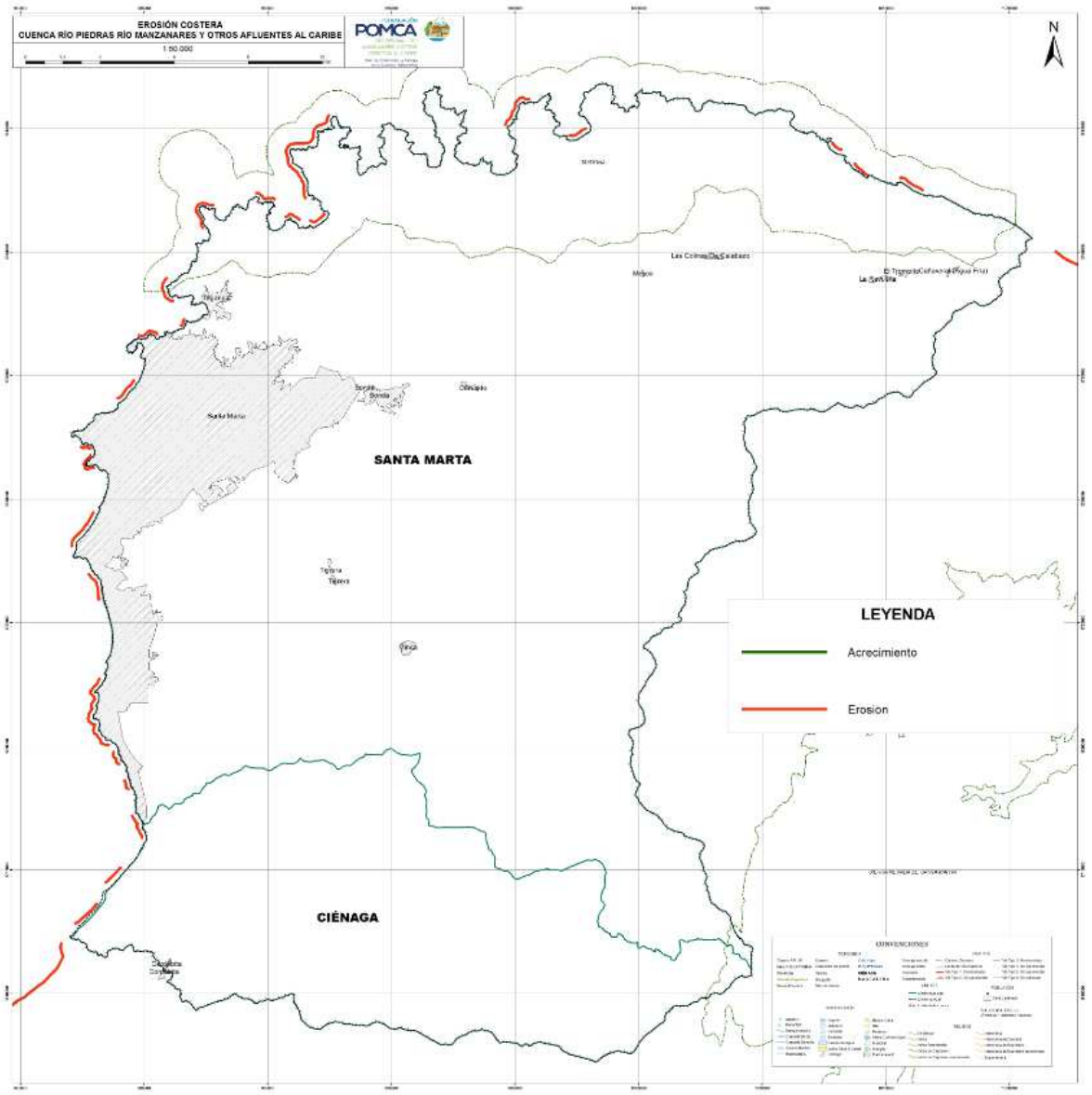
Sectores poblados de Santa marta y Ciénaga sufren procesos de erosión que afectan las playas y zonas habitadas (Ver adjunto en el Anexo 17)

Tabla 4.67. Áreas reportadas como críticas dentro de la cuenca

MUNICIPIO	ÁREA CRÍTICA
Santa Marta	Aeropuerto Bahía Santa Marta Sector W Prodeco (Costa Azul) Decamerón Ojo de agua, Alcatraces (fincas), Muelles carboneros. Brisa del mar (Casa Loma, poblado) Palomino Don Diego Cabo San Agustín Buritaca Piedras
Ciénaga	Casa Loma, Limite con Ciénaga

Fuente: Programa Nacional de Investigación para la Prevención, Mitigación y Control de la Erosión Costera en Colombia – PNIEC. Invemar, Santa Marta. 2009.

Figura 4.119. **Zonas que presentan erosión costera en la Cuenca Hidrográfica río Piedras - río Manzanares y Otros Directos al Caribe.**



4.3.5.3. *Amenaza Sísmica*

Se denominan sismos, a los movimientos vibratorios, rápidos y violentos de la superficie terrestre, provocados por perturbaciones en el interior de la Tierra (choque de placas tectónicas, erupciones volcánicas, liberación de energía a través de fallas geológicas). La diferencia entre temblores y terremotos está dada por la intensidad del movimiento sísmico, siendo el más peligroso este último pues su efecto destructivo puede ser fatal.

Los sismos son uno de los fenómenos naturales que no están relacionados con las condiciones climáticas; su magnitud destructora puede ser capaz de provocar un gran daño en un breve lapso. La mayoría de los sismos se explican por la ocurrencia de ondas sísmicas u ondas de choque, generadas por disturbios en la corteza terrestre. En el caso de sismos muy severos, la mayoría de las víctimas mueren o quedan heridas por la caída de escombros, mientras que otras perecen por incendios o inundaciones que a menudo acompañan los terremotos.

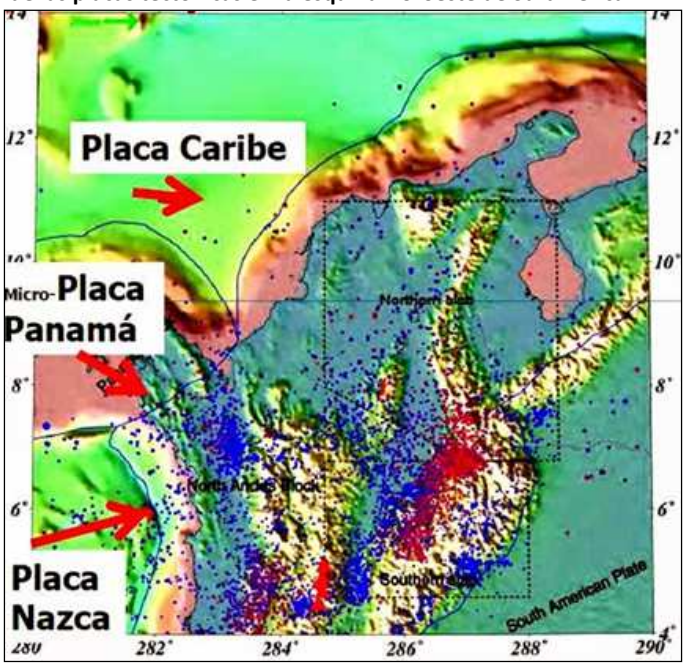
Actualmente, sismólogos (especialistas que estudian los sismos) han logrado predecir la localización de áreas sísmicas, pero aun no pueden predecir cuándo ocurrirá un movimiento. Animales como caballos, vacas, perros y gatos pueden sentir pequeñas vibraciones (imperceptibles para los seres humanos), y su comportamiento puede indicar un terremoto inminente, quienes tienen la habilidad para diferenciar estos comportamientos animales podrían determinar la ocurrencia del fenómeno con algunos minutos de anticipación, pero esto es algo poco común, y aun así no se pueden evitar las consecuencias que ocasione.

Comúnmente se entiende por Amenaza Sísmica los peligros que presentan los terremotos de una u otra forma para la población. En sismología amenaza sísmica es un término técnico que caracteriza numéricamente la probabilidad estadística de la ocurrencia (o excedencia) de cierta intensidad sísmica (o aceleración del suelo) en un determinado sitio, durante un período de tiempo (normalmente un año). En esta definición la amenaza sísmica no depende de la existencia de poblaciones humanas.

Para calcular la amenaza sísmica en cualquier lugar, se tiene que aproximar a la probabilidad de la ocurrencia de los sismos de diferentes magnitudes en las principales zonas que se pueden afectar, como por ejemplo en zonas de subducción, cadenas volcánicas y sectores de fallas geológicas activas identificadas. Además, se debe conocer sobre la forma como las ondas sísmicas se atenúan con respecto a la distancia donde ocurre el fenómeno.

Los factores que determinan esta zonificación comprenden cálculos basados principalmente en los catálogos de sismos históricos es decir sismos fuertes. En Colombia muchos de los sismos pequeños y moderados están asociados a la cadena volcánica de la Cordillera Central, y otros, en su mayoría a la actividad de las fallas profundas en la Cordillera Oriental; según análisis de la Red Sismológica de Colombia, se trata, de una sismicidad profunda de entre 70 y 200 km, asociada a la actividad tectónica. La actividad sísmica en Colombia ha sido observada constantemente en el tiempo, tanto en los relatos históricos de terremotos importantes como, como en la sismicidad instrumental reportada en diferentes redes sismológicas. Así la recurrencia de estos eventos refleja el comportamiento dinámico del territorio colombiano y su potencialidad para generar sismos de gran magnitud. El norte de Colombia está afectado por el movimiento de las placas Caribe, de Panamá y Nazca. El borde entre la Placa Caribe y la Placa Suramericana se ha localizado en el mar Caribe Colombino, pero no hay evidencia de sismicidad importante, se trata de una zona de subducción.

Figura 4.120. **Confluencia de las placas tectónicas en la esquina Noroeste de Suramérica.**

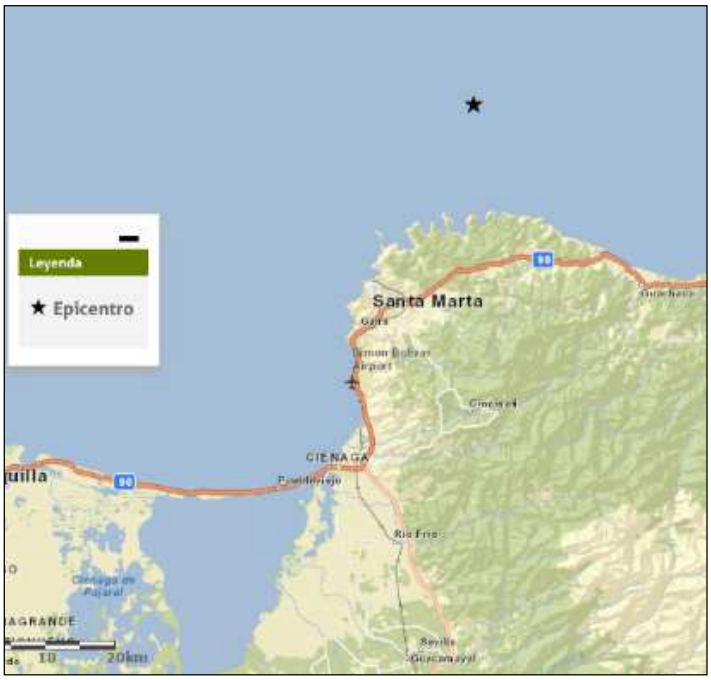


Fuente: Suarez J. Amenaza sísmica en la Costa caribe Colombiana.

El resultado de la existencia de esta zona de subducción es una compresión tectónica en la mayoría de los departamentos de la costa colombiana, el esfuerzo de compresión es la resultante de las tensiones o presiones que existen dentro de un sólido deformable o medio continuo, caracterizada porque tiende a una reducción de volumen o un acortamiento en determinada dirección, estos esfuerzos de compresión pueden generar sismos. Los registros informan que en 1834 Santa Marta sufrió su último terremoto, el cual dejo a la ciudad en aspecto ruinoso durante varias décadas.

Suarez J., 2010, en su estudio de la Amenaza sísmica en la Costa Caribe Colombiana, publicado en erosion.com.co, concluye que la sismicidad en la región que contiene la Cuenca Hidrográfica Río Piedras- Río Manzanares y Otros Directos al Caribe, muestra un gap o silencio al sur de la placa Caribe, se conoce como gaps o silencio sísmico a las zonas donde se observa actividad sísmica anómalamente menor a la de las zonas que la rodean. En este gap, las placas tectónicas pueden estar generando un aumento muy alto de esfuerzos en la zona de Santa Marta, donde a la fecha han transcurrido poco más de 176 años desde el terremoto que la destruyó; la situación es relativamente similar a la de en Haití donde ocurrió un sismo en enero de 2010.

Figura 4.121. **Ubicación del epicentro del sismo del 22 de mayo de 1834, que destruyó a Santa Marta, con magnitud de 6,6 a una profundidad de 35 Km.**



Fuente: Mapa de Sismicidad historica de Colombia, http://sish.sgc.gov.co/visor/visor.html?oper=EPICENTROS

Otros puntos de vista de estudiosos de la amenaza sísmica en el Caribe, indican que la Falla de Oca, que limita el costado noreste de la SNSM se encuentra activa y aunque su trazo se encuentra por fuera del área de este estudio, si tiene injerencia en el complejo rocosos de la Sierra Nevada de Santa Marta, la cual se define en la revista Carta Petrolera, edición 118 de febrero de 2008 como una "mole de roca cristalina que se encuentra rodeada por las llanuras del Caribe y sus cuencas sedimentarias asociadas. Desde el espacio su forma representa un triángulo casi perfecto, limitada por las fallas de Oca y Santa Marta - Bucaramanga que converge en su vértice occidental. Archivos históricos del siglo XIX, así como registros sismológicos recientes atestiguan que esta montaña se sigue moviendo"; lo anterior corrobora que existen vectores de movimiento que muestran desplazamiento de 2 centímetros por año en la Falla de Oca cerca de Santa Marta y al igual que el desplazamiento en la Isla de San Andrés, los cuales son muy similares a los vectores de movimientos medidos con GPS en Haití.

Afirmaciones como las anteriores, permiten concluir que existe una amenaza sísmica latente, la cual se debe investigar y sobre la que es necesario desarrollar medidas de prevención a fin de mitigar los posibles daños que pudieran darse en caso de ocurrir un evento sísmico, para que las comunidades puedan estar preparadas a diferencia de lo que sucedió hace algunos años en esta Isla del caribe.

Como se mencionó en el capítulo de Geología, ítem 2.4.2. La entidad encargada del estudio y vigilancia de la sismicidad y la actividad volcánica en el país es el Servicio Geológico Colombiano SGC, junto con el Instituto Geofísico de los Andes en Bogotá y el Observatorio Vulcanológico de

Manizales. Entidades como la Universidad Nacional, también han adelantado estudios al respecto, y trabajos conjuntos han producido el Mapa de Nacional de Amenaza Sísmica[14]. Este mapa representa un modelo probabilístico para el movimiento del terreno que podría esperarse por la ocurrencia de sismos en Colombia.

En el Mapa Nacional de Amenaza Sísmica, tomado del Servicio Geológico Colombiano, presenta la zonificación definida por los valores de aceleración pico efectiva (Aa) la cual corresponde a las aceleraciones horizontales del sismo de diseño contempladas en las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-98), como porcentaje de la aceleración de la gravedad terrestre (g = 980 cm/s). Estas aceleraciones tienen una probabilidad de ser excedidas del 10% en un lapso de 50 años, correspondiente a la vida útil de una edificación. El valor del parámetro Aa se utiliza para definir las cargas sísmicas de diseño que exige el reglamento de Construcciones Sismo Resistentes

La zonificación que presenta el Mapa Nacional de Amenaza Sísmica, se da en tres categorías así:

- Zona de Amenaza Sísmica Baja: definida para aquellas regiones cuyo sismo de diseño no excede una aceleración pico efectiva (Aa) de 0.10g. Aproximadamente el 55% del territorio colombiano se encuentra incluido en esta zona de amenaza. Se representa por color verde.

- Zona de Amenaza Sísmica Intermedia: definida para regiones donde existe la probabilidad de alcanzar valores de aceleración pico efectiva mayor de 0.10g y menores o iguales de 0.20g. Alrededor del 22% del territorio se encuentra incluido en esta zona. Se representa por color naranja y amarillo.

- Zona de Amenaza Sísmica Alta: definida para aquellas regiones donde se esperan temblores muy fuertes con valores de aceleración pico efectiva mayor de 0.20g. Aproximadamente el 23% del territorio colombiano queda incluido en la zona de amenaza sísmica alta. Se representa por color naranja intenso y rojo.

La aceleración sísmica es la medida de un terremoto más utilizada en ingeniería, y es el valor utilizado para establecer normativas sísmicas y zonas de riesgo sísmico. La aceleración sísmica es una medida utilizada en terremotos que consiste en una medición directa de las aceleraciones que sufre la superficie del suelo; es una medida muy importante en ingeniería sísmica. Normalmente la unidad de aceleración utilizada es la intensidad del campo gravitatorio*(g = 9,81 m/s2)*.

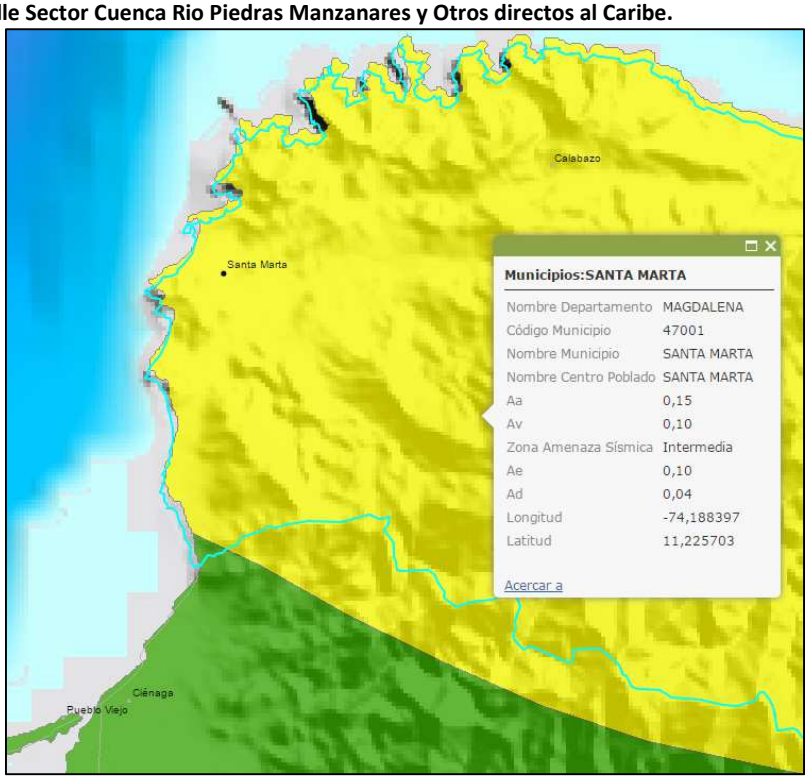
Los Municipios de Santa Marta y Ciénaga, cuyos territorios conforman la Cuenca Hidrográfica de del Río Piedras, Río Manzanares y Otros directos al Caribe, se ubican dentro de la Zona de Amenaza Sísmica Intermedia, con los valores de aceleración sísmica de 0.10- 0.20 g.

[14] INGEOMINAS, Universidad Nacional De Colombia, Mapa Nacional de Amenaza Sísmica. Periodo de retorno 475 años, escala 1: 1.500.000, 2010. https://www.arcgis.com/home/item.html?id=2836c44b6e8d429d9379276660e0eeae

Figura 4.122. **Mapa Nacional de Amenaza Sísmica.**



Figura 4.123. **Detalle Sector Cuenca Rio Piedras Manzanares y Otros directos al Caribe.**



Fuente: Servicio Geológico Colombiano. http://srvags.sgc.gov.co/JSViewer/Amenaza_Sismica/

Aunque no es un parámetro específico para el análisis de la amenaza por sismos, es importante mencionar que el sismo corresponde a un proceso de generación de ondas y su posterior propagación por el interior de la Tierra. Al llegar a la superficie de la Tierra, estas ondas se dejan sentir tanto por la población como por estructuras, y dependiendo de la amplitud del movimiento (desplazamiento, velocidad y aceleración del suelo) y de su duración, el sismo producirá mayor o menor intensidad. Siendo la Intensidad la medida de los efectos producidos por un sismo en personas, animales, estructuras y terreno en un lugar particular.

Los valores de Intensidad se denotan con números romanos en la Escala de Intensidades de Mercalli Modificada (Wood y Neumann, 1931) que clasifica los efectos sísmicos con doce niveles ascendentes en severidad. La intensidad no sólo depende de la fuerza del sismo (magnitud) sino que también de la distancia epicentral, la geología local, la naturaleza del terreno y el tipo de construcciones del lugar.

Intensidad en Escala de Mercalli Modificada en 1931 por Harry O. Wood y Frank Neuman) Se expresa en números romanos, fue creada en 1902 por el sismólogo italiano Giusseppe Mercalli, no se basa en los registros sismográficos sino en el efecto o daño producido en las estructuras y en la sensación percibida por la gente. Para establecer la Intensidad se recurre a la revisión de registros históricos, entrevistas a la gente, noticias de los diarios públicos y personales, etc. La Intensidad puede ser diferente en los diferentes sitios reportados para un mismo y dependerá de:

1. La energía del terremoto.
2. La distancia de la falla donde se produjo el terremoto
3. La forma como las ondas llegan al sitio en que se registra (oblicua, perpendicular, etc.)
4. Las características geológicas del material subyacente del sitio donde se registra la Intensidad
5. Cómo la población sintió o dejó registros del terremoto.

Tabla 4.68. Intensidad sísmica en escala Mercalli

	PERCEPCION
Grado I	Sacudida sentida por muy pocas personas en condiciones especialmente favorables.
Grado II	Sacudida sentida sólo por pocas personas en reposo, especialmente en los pisos altos de los edificios. Los objetos suspendidos pueden oscilar.
Grado III	Sacudida sentida claramente en los interiores, especialmente en los pisos altos de los edificios, muchas personas no lo asocian con un temblor. Los vehículos de motor estacionados pueden moverse ligeramente. Vibración como la originada por el paso de un carro pesado. Duración estimable
Grado IV	Sacudida sentida durante el día por muchas personas en los interiores, por pocas en el exterior. Por la noche algunas despiertan. Vibración de vajillas, vidrios de ventanas y puertas; los muros crujen. Sensación como de un carro pesado chocando contra un edificio, los vehículos de motor estacionados se balancean claramente.
Grado V	Sacudida sentida casi por todo el mundo; muchos despiertan. Algunas piezas de vajilla, vidrios de ventanas, etcétera, se rompen; pocos casos de agrietamiento de aplanados; caen objetos inestables. Se observan perturbaciones en los árboles, postes y otros objetos altos. Se detienen de relojes de péndulo.
Grado VI	Sacudida sentida por todo mundo; muchas personas atemorizadas huyen hacia afuera. Algunos muebles pesados cambian de sitio; pocos ejemplos de caída de aplanados o daño en chimeneas. Daños ligeros.
Grado VII	Advertido por todos. La gente huye al exterior. Daños sin importancia en edificios de buen diseño y construcción. Daños ligeros en estructuras ordinarias bien construidas; daños considerables en las débiles o

	PERCEPCION
	mal planeadas; rotura de algunas chimeneas. Estimado por las personas conduciendo vehículos en movimiento.
Grado VIII	Daños ligeros en estructuras de diseño especialmente bueno; considerable en edificios ordinarios con derrumbe parcial; grande en estructuras débilmente construidas. Los muros salen de sus armaduras. Caída de chimeneas, pilas de productos en los almacenes de las fábricas, columnas, monumentos y muros. Los muebles pesados se vuelcan. Arena y lodo proyectados en pequeñas cantidades. Cambio en el nivel del agua de los pozos. Pérdida de control en las personas que guían vehículos motorizados.
Grado IX	Daño considerable en las estructuras de diseño bueno; las armaduras de las estructuras bien planeadas se desploman; grandes daños en los edificios sólidos, con derrumbe parcial. Los edificios salen de sus cimientos. El terreno se agrieta notablemente. Las tuberías subterráneas se rompen.
Grado X	Destrucción de algunas estructuras de madera bien construidas; la mayor parte de las estructuras de mampostería y armaduras se destruyen con todo y cimientos; agrietamiento considerable del terreno. Las vías del ferrocarril se tuercen. Considerables deslizamientos en las márgenes de los ríos y pendientes fuertes. Invasión del agua de los ríos sobre sus márgenes.
Grado XI	Casi ninguna estructura de mampostería queda en pie. Puentes destruidos. Anchas grietas en el terreno. Las tuberías subterráneas quedan fuera de servicio. Hundimientos y derrumbes en terreno suave. Gran torsión de vías férreas.
Grado XII	Destrucción total. Ondas visibles sobre el terreno. Perturbaciones de las cotas de nivel (ríos, lagos y mares). Objetos lanzados en el aire hacia arriba.

Fuente: https://sismoclub2011-1.wikispaces.com/Red+Sismol%C3%B3gica+Nacional#Red Sismológica Nacional

La magnitud es un parámetro que indica el tamaño relativo de los temblores, y está, por lo tanto, relacionada con la cantidad de energía liberada en la fuente del temblor. Es un parámetro único que no depende de la distancia a la que se encuentre el observador. Se determina calculando el logaritmo de la amplitud máxima de ondas registradas en un sismógrafo. La escala de magnitud es logarítmica, significando esto que un temblor de magnitud 7.0, por ejemplo, produce un movimiento que es 10 veces más fuerte que el producido por uno de magnitud 6.0. Aunque existen varias escalas de magnitud, por razones prácticas la escala más utilizada ha sido la Magnitud Local o de Richter. Sin embargo, en los últimos años se ha estado dando preferencia a la Magnitud Momento, una escala de magnitud que a diferencia de las otras escalas puede ser aplicada a temblores de cualquier tamaño. La escala sísmica de Magnitud, también llamada Escala de Ritcher se expresa en números árabes.

Tabla 4.69. Escala de Magnitud Sísmica de Ritcher

Magnitud en Escala Richter	Efectos del terremoto
Menos de 3.5	Generalmente no se siente, pero es registrado
3.5 - 5.4	A menudo se siente, pero sólo causa daños menores
5.5 - 6.0	Ocasiona daños ligeros a edificios
6.1 - 6.9	Puede ocasionar daños severos en áreas muy pobladas.
7.0 - 7.9	Terremoto mayor. Causa graves daños
8 o mayor	Gran terremoto. Destrucción total a comunidades cercanas.

Fuente: https://sismoclub2011-1.wikispaces.com/Red+Sismol%C3%B3gica+Nacional#Red Sismológica. Nacional

4.3.5.4. *Amenaza por Marejada*

A nivel mundial, la marejada ciclónica es el peligro directo de los ciclones tropicales que provoca más pérdidas de vidas, pero también puede ser producto de tormentas menos potentes. La marejada ciclónica es la acumulación de un gran domo o cúpula de agua de 75 a 150 km de anchura que invade la costa cerca del lugar donde el huracán llega a tierra. Es producida principalmente por

los vientos en altura, empujando la superficie oceánica. En su punto de máxima profundidad puede medir hasta 5 metros.

La marejada ciclónica es producto de las olas impulsadas por el viento combinadas con un leve componente producto de la baja presión del centro del ciclón. Si bien las olas pueden ser relativamente bajas en alta mar, su altura aumenta a medida que se aproximan al litoral. La marejada ciclónica es capaz de mover estructuras y el suelo de la costa varios kilómetros tierra adentro. La pleamar intensifica el efecto de la marejada ciclónica.

El área costera más peligrosa durante una marejada ciclónica es a lo largo de costas con elevación baja, las cuales permiten que el agua penetre tierra adentro o a través de bahías, lagos y ríos. El área típica afectada por la marejada es de aproximadamente 50 a 100 millas.

La marejada ciclónica se mide restando la elevación de la marea astronómica “normal” de la elevación total observada. Suele tener una duración de pocas horas. Debido a que las olas generadas por el viento se desplazan arriba de la marejada, la elevación instantánea total puede exceder en gran medida la marejada ciclónica pronosticada más la marea astronómica. Tiene el potencial de ser catastrófica, especialmente en zonas costeras bajas con topografía levemente inclinada costa afuera.

Las Mareas, constituyen una fuente de sobreelevación del nivel del mar en el plano vertical, ya que, en su fase de flujo, favorecen la acumulación de agua hacia la costa.

La marea astronómica, hace referencia al ascenso y descenso periódico de todas las aguas oceánicas, incluyendo las de mar abierto, golfos y bahías mediante movimientos periódicos originados por la fuerza de atracción gravitatoria de la Luna y el Sol sobre el agua y la Tierra; fuerza que provoca una oscilación rítmica y/o cíclica debida a la órbita de la tierra alrededor del 23 Sol y de la Luna alrededor de la Tierra, lo que permite generar elevaciones máximas del agua del mar (pleamares) y descensos de la misma (bajamares).

La relación entre las mareas y las fases de la luna, se resume en la alineación de los tres astros; cuando esto ocurre, en intervalos de dos semanas, en luna nueva o luna llena, la atracción es mayor dando origen a las mareas vivas o de sicigias. A su vez hay un efecto adicional, dado por la órbita de la luna alrededor de la tierra, que al no ser circular, presenta menor distancia en la época del Perigeo produciendo mayor atracción y por consiguiente una elevación de la marea. Este fenómeno se presenta cada 27.5 días que es el periodo de tiempo entre perigeos.

El mayor riesgo de aumento crítico del nivel del mar, se presenta cuando se combina la marea alta, con la presencia de zonas de baja presión y vientos de gran intensidad.

El IDEAM es la entidad encargada de monitorear este fenómeno, cuenta con una red de mareógrafos a lo largo de las costas colombianas, con registros horarios y pronósticos de la marea astronómica, para emitir boletines de alerta por posible ocurrencia de marea alta, que, combinada con vientos intensos, producen inundaciones costeras. Adicionalmente hace una publicación anual de la cartilla

de pleamares y bajamares de las costas colombianas, con los respectivos valores de nivel del mar pronosticado y su hora de ocurrencia[15].

Figura 4.124. **Marejadas en Santa Marta**



Fuente: http://www.elinformador.com.co/index.php/el-magdalena/81-distrito/117932-dimar-extrema-medidas-por-fuerte-marejada-en-santa-marta

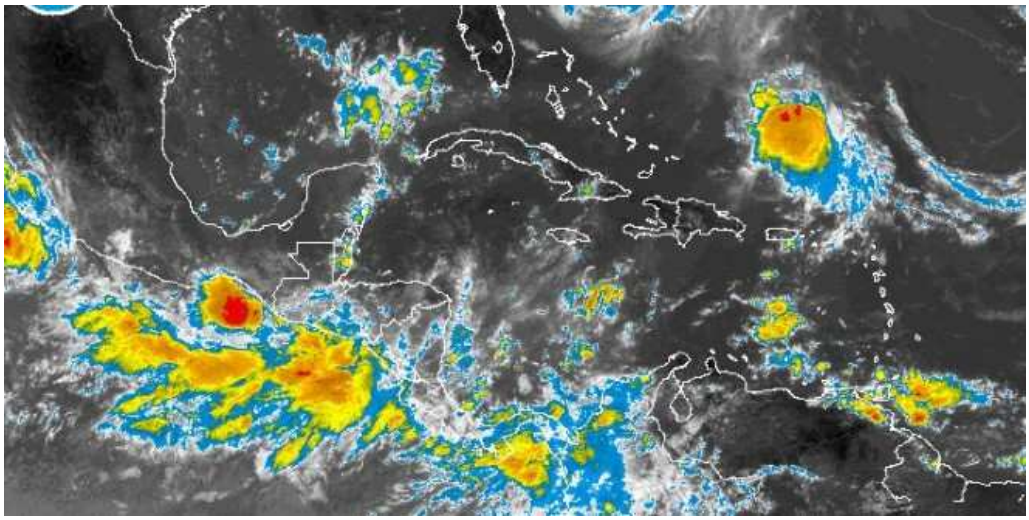
4.3.5.5. *Amenaza por Tempestad.*

Como se mencionó antes, este fenómeno meteorológico producido por desequilibrios térmicos en la atmósfera, está asociado a tormentas tropicales y huracanes. La palabra tempestad se utiliza para designar principalmente a aquellos fenómenos meteorológicos que se generan de manera relativamente abrupta y que se componen por fuertes lluvias, nubarrones, truenos y relámpagos, posibles caídas de granizos y otros elementos que contribuyan a generar una sensación de caos. Las tempestades son conocidas por suceder en altamar, mientras que a sus pares urbanos se los conoce más con el nombre de tormentas. De todas maneras, ambos fenómenos son parecidos y pueden ser considerados tempestades siempre y cuando impliquen algún grado de desorden o violencia.

Las tempestades son eventos meteorológicos que no suceden de manera permanente si no que se generan a partir de determinadas condiciones y luego desaparecen. Algunas de ellas pueden ser duraderas, pero una de las características principales de la tempestad es el hecho de que se desata de manera abrupta y por tanto tiende a suponer gran poder y energía que no dura más de unas horas o algunos días. Las tempestades no suelen ser tan duraderas como sí lo pueden ser las lluvias que en algunos casos pueden permanecer por mucho tiempo.

Figura 4.125. **Imagen satelital de formación y desplazamiento de tormentas con influencia en costas de Colombia.**

[15] Cadena M., Amenazas Costeras, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales- IDEAM, Bogotá, mayo 2010.



Fuente: IDEAM.

Para que se genere una tempestad se tiene que dar un desequilibrio entre la presión de dos zonas contiguas, siendo el centro de baja presión y los alrededores del espacio de alta presión. Este desbalance genera nubes y nubarrones, además de vientos muy potentes. Esas nubes se vuelven muy pesadas y contienen una importante concentración de agua que luego caerá en forma de lluvia (no como cualquier lluvia si no, debido al viento y a la baja de temperatura, en forma violenta). Las tempestades suelen generar problemas en zonas donde a pesar que se presentan con cierta frecuencia, las condiciones físicas de los asentamientos humanos no están preparadas para resistirlas, como en la mayor parte de la Costa Caribe Colombiana[16].

Normalmente se emplean de forma indistinta los términos tormenta y tempestad; sin embargo, la tormenta es un fenómeno sumamente regular que se produce en la atmósfera cuando sucede una presencia conjunta y próxima de dos o más masas de aire que presentan diferentes valores de temperaturas y que como resultado, son capaces de originar fuertes truenos acompañados de lluvias fuertes. Asimismo, algunas tormentas contienen lo que se llama vórtices de aire, que no es otra cosa que viento girando sobre su centro, similar a lo que sucede con los huracanes; este tipo de tormentas resultan ser tan intensas que es probable que desarrollen tornados y hasta trombas marinas.

Existen diversos tipos de tormentas, entre ellas las que normalmente ocurren en la zona de estudio son: las tormentas tropicales y las tormentas eléctricas. Las tormentas tropicales, se denominan así porque son características de zonas tropicales y se identifica por una circulación cerrada de vientos alrededor de un centro que ostenta bajísima presión y desencadena fuertes lluvias y fuertes vientos; se caracterizan por una circulación de aire cerrada alrededor de un centro de baja presión, que provoca fuertes vientos y abundantes lluvias, los cuales se nutren y extraen la energía de la condensación del aire húmedo, generándose así fuertes vientos que alcanzan una velocidad mínima,

[16]www.definicionabc.com/medio-ambiente/tempestad.php

durante el transcurso de un minuto, dentro del rango de los 63 a los 118 km/h. De acuerdo a la fuerza y a la localización que presente la tormenta tropical se la podrá llamar ciclón tropical, tifón, huracán, depresión tropical o ciclón. La denominación de tropical, básicamente, se debe al origen geográfico de este tipo de sistemas, que se originan casi con exclusividad en las regiones tropicales.

Entre los fenómenos que las mismas introducen se cuentan los siguientes: vientos, olas extremadamente grandes y fuertes, tornados, lluvias torrenciales y hasta incluso es probable que se generen marejadas de características ciclónicas. las tormentas tropicales se desarrollan sobre extensas superficies de agua cálida y perderán parte de sus fuerzas una vez que penetran en la tierra, aquí se encuentra la razón por la cual, generalmente, las zonas costeras resultan dañadas de manera significativa cuando tiene lugar una tormenta de este tipo, mientras que las regiones interiores se encuentran relativamente a salvo de recibir fuertes vientos.

Figura 4.126. **Caída de árboles en la vía Santa Marta – Minca, tras el paso de la tormenta Matthew, octubre 04 de 2016.**



Tomada de: http://www.elinformador.com.co/index.php/el-magdalena/

Si bien es un hecho comprobado que las tormentas tropicales provocan efectos catastróficos en las poblaciones en las cuales se suceden, también se reconoce que estas pueden reducir significativamente los efectos de una sequía, transportar el calor del trópico a zonas más templadas, convirtiéndose de esta manera en un importante mecanismo de circulación atmosférica global, equilibrando y estabilizando la temperatura terrestre.

Las tormentas eléctricas, es otro fenómeno que afecta el área de estudio, en ellas abundan los rayos y los truenos. Los habitantes de la cuenca han dado testimonio de numerosos accidentes causados por las descargas eléctricas de estas.

Figura 4.127. **Tormenta eléctrica.**



Fuente: www.definicionabc.com/general/tormenta.php

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales- IDEAM, es la entidad encargada de monitorear los fenómenos atmosféricos que puedan afectar el territorio nacional, específicamente para el caso de la Costa Caribe Colombiana, es el encargado de emitir las alertas por formación o aproximación de este tipo de eventos que afectan alteran los regímenes de lluvias y mareas. La predicción de tormentas se puede realizar tan solo con unos pocos días antes de su sucesión. Por lo tanto, los protocolos y dispositivos de seguridad deben ponerse activos con gran celeridad y más cuando hay población afectada a las zonas. Las inundaciones son sin dudas las principales consecuencias de este tipo de fenómenos que desencadenan daños muy severos como la muerte y accidente de personas, daños de infraestructuras, pérdidas de cosechas en las zonas de campos y destrucción total o parcial de viviendas, entre otros.

Dados los alcances de este documento, no es posible tener una zonificación de amenaza por este tipo de fenómenos, ya que como se ha presentado, su manifestación depende de numerosas condiciones meteorológicas, que cambian constantemente lo que requiere de un seguimiento continuo por largos periodos de tiempo y no permite tener una ubicación ni categorización espacial. Por esto resulta indispensable, para los habitantes de la Cuenca Hidrográfica Río Piedras - Río Manzanares y Oros directos al Caribe en donde este fenómeno meteorológico es relativamente frecuente, tomar precauciones tales como planes de emergencia en el que se indique qué hacer y donde refugiarse mientras dura una tormenta y contar con algunos elementos que ayudarán a sortear la situación, tales como linternas, pilas, radio portátil, fósforos, velas.

4.3.5.6. *Amenaza por Vendaval.*

Los vendavales son ráfagas de viento muy fuertes por encima de 60 km/h muy comunes durante fuertes aguaceros. Los tornados son violentos torbellinos, generalmente de corta duración (2 min a 15 min), que se originan en una nube de tormenta hasta el suelo, levantando todo a su paso. Los vientos de un tornado pueden alcanzar los 100 km/h y son llamados F0, hasta los devastadores F5 que alcanzan 450 km/h. Se puede decir que un tornado es un fuerte vendaval en forma de embudo, cuyos efectos son catastróficos.

Una de las características de este fenómeno es que suele presentarse en las horas del día de mayor temperatura (11:00 am y 3:00 pm) y cuando se avecina una nube de tormenta; se identifican porque primero se siente una temperatura muy alta (mucho calor) y después se siente una brisa fría, acompañado de un cielo muy oscuro.

El primer tornado reportado en Colombia se dio, en 2001, en Soledad (Atlántico). Desde entonces este municipio es el que mayor número de veces ha sufrido en el país estragos tanto por vendavales como por tornados. Barranquilla y Sabanalarga, entre otros territorios del departamento, la región y el país, también han experimentado estos eventos.

El Grupo de Investigación en Física Aplicada de la Universidad del Norte determinó que en el Atlántico y el Caribe hay una temporada de tornados, que va de mayo a septiembre, período en el que se registran los mayores niveles de temperatura, humedad y lluvias; por ello se infiere que se trata de amenazas ambientales reales y no de acontecimientos aislados. En ese sentido, las autoridades y la ciudadanía deben ser consciente de ello: es preciso conocer mejor estos eventos y tomar las medidas necesarias para prepararse y mitigar su impacto[17].

La ciudadanía, con el apoyo de los entes municipales encargados de la de gestión del riesgo y atención de desastres, deben observar las siguientes recomendaciones:

- Conocer el plan de contingencia del municipio.
- Reforzar los techos de las viviendas con amarres, pernos y tornillos.
- Reforzar los muros con vigas de amarres.
- Limpiar las canaletas de las casas.
- Conocer los sitios seguros de las viviendas para protegerse.
- Conocer cuál es el lugar más seguro del municipio para una eventual evacuación masiva.
- Mantener en la vivienda botiquín de primeros auxilios, radio con batería y linterna con batería.
- Seguir indicaciones de las autoridades.

[17] http://www.uninorte.edu.co/web/dip/vendavales-y-tornados

Figura 4.128. **Vientos fuertes en la bahía de Santa Marta producen oleaje que restringe las actividades marítimas. 25 de mayo de 2016.**



Al igual que las tormentas, los vendavales son fenómenos meteorológicos sobre los cuales no es posible realizar una zonificación de su amenaza dentro el alcance de este documento, por lo tanto no se presenta un mapa para este ítem, tan solo se relaciona teniendo en cuenta los reportes e inquietudes de los habitantes de la cuenca quienes indicaron en diferentes escenarios de socialización la preocupación que existe por la ocurrencia de estos eventos, y los daños y afectaciones que han causado en parte por falta de prevención y preparación de las comunidades para atender estos eventos.

4.3.5.7. *Necesidades de información*

Las estaciones meteorológicas a seleccionar para el análisis de sequía, deben contar con series de precipitación completas de más de 30 años, evitando que los datos faltantes generen conclusiones erróneas y cumpliendo con los lineamientos de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), quién no recomienda estaciones con menos tiempo de información.

Se requiere que los entes territoriales, entidades u organismos asociados al proceso de gestión del riesgo, integren continuamente los eventos relacionados con sequía en sus informes, inventarios y bases de datos, debido a que no se reporta de manera sistemática, impidiendo realizar un análisis de frecuencia acertado. De igual manera, se debe especificar detalladamente las afectaciones generadas en el territorio.

Respecto a la amenaza sísmica, la investigación de la amenaza sísmica en la Costa caribe colombiana ha sido muy limitada. No se ha investigado a detalle las tasas de movimiento ni la longitud de ruptura de las fallas que la afectan.

4.3.5.8. *Recomendaciones finales*

Incluir en el componente programático del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Piedras, río Manzanares y otros Directos al Caribe, actividades tendientes a identificar los daños y/o afectaciones generados a causa de los procesos erosivos costeros.

Integrar en el análisis de las condiciones de sequía para la cuenca en ordenación, un análisis diferenciado que refleje las variaciones presentadas debido a la ocurrencia de eventos climáticos extremos como el fenómeno del Niño. De igual manera, inventariar los daños y/o afectaciones generados por este evento amenazante.

4.4. Conclusiones

Respecto a la erosión costera, La aplicación del concepto de Manejo Integrado de Zonas Costeras (MIZC) acogido alrededor del mundo a partir de la Cumbre de la Tierra (Río de Janeiro 1992), como el proceso más apropiado para direccionar e integrar los esfuerzos de manejo costero, se constituye en una herramienta viable para abordar el problema complejo en que se ha convertido la erosión costera, contribuir al desarrollo sostenible de los recursos marinos y al mejoramiento de la calidad de vida de las poblaciones costeras.

Se debe incrementar la investigación de los factores de erosión y sedimentación costera y las plataformas continentales, con el fin de identificar los elementos requeridos para formular y desarrollar actividades y políticas de recuperación de los sectores erosionados y poder mitigar los impactos al medio y socioeconómicos de la erosión de las líneas de costa.

Existe una amenaza sísmica latente, la cual se debe investigar y sobre la que es necesario desarrollar medidas de prevención a fin de mitigar los posibles daños que pudieran darse en caso de ocurrir un evento sísmico de gran magnitud, para que las comunidades puedan estar preparadas. Es importante la instalación de más equipos de monitoreo en la región, para poder ampliar el conocimiento sobre el comportamiento de las placas sísmicas y las zonas de falla, y así poder diseñar medidas que conduzcan a preparar a las comunidades para afrontar este tipo de eventos.

Las características geomorfológicas, litológicas, climáticas y los procesos morfodinámicos que operan en la cuenca, la hacen inestable hacia la zona montañosa, haciendo que se presenten características aluvio-torrenciales en la parte baja de la cuenca, la sedimentación aluvial y marina determinan procesos agradacionales (inundaciones) que condicionan la ocupación de algunas áreas, muchas de ellas en zonas urbanas y turísticas.

El análisis de susceptibilidad a movimientos en masa, se analizó en base a la información recolectada de catálogo e inventario de eventos en las áreas más críticas de la cuenca, priorizando estos sectores a la hora de realizar el análisis de amenaza a partir de los componentes temáticos como geología, geomorfología y el aporte de los actores sociales, los cuales fueron de gran importancia a la hora de realizar la evaluación.

La determinación del factor de seguridad, muestra un margen importante para cada escenario de amenaza teniendo en cuenta los periodos de retorno establecidos por el protocolo para los POMCA,

por lo cual se debe mantener la validación de los eventos de movimientos en masa para categorizar acorde a la realidad la zonificación obtenida, ya que, por ser un análisis determinístico, requiere de la mayor información detallada posible.

Un parámetro de gran importancia a la hora de trabajar en la zonificación de amenaza por movimientos en masa, se manifestó en la pendiente del terreno y en el tipo de material superficial allí presente, parámetros que controlan en gran importancia la generación de estos eventos en el área de la cuenca hidrográfica Río Piedras - Río Manzanares y otros directos al Caribe.

Las áreas de amenaza alta por incendios forestales están asociadas a coberturas de rápida ignición como las pasturas y/o herbazales; debido a que sus características intrínsecas pueden extender el fuego en un periodo muy corto, alcanzado incluso otras coberturas o ecosistemas estratégicos para la región.

En la Cuenca del Río Piedras, Río Manzanares y Otros Directos al Caribe, por presentar vertientes de montaña con fuertes gradientes de pendiente, condiciones húmedas con lluvias intensas e inestabilidad en las laderas las avenidas torrenciales afectan principalmente las áreas bajas de la cuenca al Norte, Noroccidente y Suroccidente. Los cauces que presentan este fenómeno corresponden a los ríos Córdoba, Toribío, Gaira, Manzanares, Piedras y las quebradas Concha y Jordán.

5. VULNERABILIDAD

5.1. *RESUMEN*

El análisis de vulnerabilidad en los Planes de ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA), parte del uso de un modelo de índices e indicadores que abarcan la descripción del grado de exposición, las condiciones socio-económicas, predisposición de los elementos expuestos y falta de resiliencia, definiendo la vulnerabilidad total como el producto del índice de exposición, fragilidad y resiliencia.

En el presente capítulo, se presenta los insumos, variables, metodología y resultados obtenidos en la evaluación de vulnerabilidad para la cuenca hidrográfica del río Piedras, río Manzanares y Otros Directos al Caribe. Este análisis, denota que el 92,88% del territorio en ordenación se caracteriza por presentar condiciones moderadas de vulnerabilidad; donde, predomina el índice de exposición medio (98,69%), Fragilidad baja (81%) y resiliencia media (84,78%).

5.2. *INTRODUCCIÓN*

La vulnerabilidad se define como la capacidad y posibilidad de un sistema de responder o reaccionar a una amenaza o de recuperarse de un daño. La vulnerabilidad está en directa interrelación con las amenazas porque si no existe una amenaza, tampoco existe la vulnerabilidad o no tiene importancia, porque no se puede ocasionar un daño. De esta manera y acorde con los alcances técnicos, el análisis de vulnerabilidad para la cuenca hidrográfica río Piedras, río Manzanares y Otros directos amenazantes debe efectuarse para los fenómenos amenazantes con categorías de amenaza alta o media.

5.2.1. Alcance

Análisis de la vulnerabilidad de los elementos expuestos de la cuenca hidrográfica del río Piedras, río Manzanares y Otros Directos al Caribe ante los diferentes eventos amenazantes a evaluar: Inundaciones, Movimientos en masa, Avenidas torrenciales e Incendios Forestales.

5.2.2. Objetivos

- Efectuar una zonificación que permita obtener zonas homogéneas centros poblados (ZHCP), y zonas homogéneas rurales.
- Asignar a las zonas homogéneas una serie de indicadores e índices que permitan establecer el modelo de exposición de la cuenca en ordenación.
- Evaluar la fragilidad física, socio-cultural y ecosistémica de los elementos expuestos y coberturas vegetales presentes en la cuenca hidrográfica del río Piedras, río Manzanares y Otros Directos al Caribe.
- Determinar el indicador de falta de resiliencia económica para las zonas críticas evaluadas.
- Establecer el índice de vulnerabilidad, de acuerdo con la ponderación de los índices de exposición, fragilidad y resiliencia.

5.2.3. Marco Conceptual General

La vulnerabilidad constituye un sistema dinámico, que surge como consecuencia de la interacción de una serie de factores y características (externas e internas) que convergen en una comunidad o área particular. A esta interacción de factores se le conoce como vulnerabilidad global. Esta vulnerabilidad global puede dividirse en varias vulnerabilidades o factores de vulnerabilidad, todos ellos relacionados entre sí: vulnerabilidad física; factores de vulnerabilidad económicos, sociales y ambientales. (Wilches Chaux, 1993)

La vulnerabilidad física se refiere a la localización de asentamientos humanos en zonas de amenaza, como por ejemplo en las laderas de los volcanes, en las llanuras de inundación de los ríos, al borde de los cauces, en zonas de influencia de fallas geológicas, etc. La vulnerabilidad estructural se refiere a la falta de implementación de códigos de construcción y a las deficiencias estructurales de la mayor parte de las viviendas, lo que conlleva a no absorber los efectos de los fenómenos naturales; la vulnerabilidad natural se refiere a aquella que es inherente e intrínseca a todo ser vivo, tan solo por el hecho de serlo.

Los factores de vulnerabilidad económica y social se expresan en los altos niveles de desempleo, insuficiencia de ingresos, poco acceso a la salud, educación y recreación de la mayor parte de la población; además en la debilidad de las instituciones y en la falta organización y compromiso político, al interior de la comunidad o sociedad. Se ha demostrado que los sectores más pobres son los más vulnerables frente a las amenazas naturales. [18]

La Vulnerabilidad también se considera como la Característica propia de un elemento o grupo de elementos expuestos a una amenaza, relacionada con su incapacidad física, económica, política o social de anticipar, resistir y recuperarse de un daño sufrido cuando opera una amenaza[19.]

Otra definición para Vulnerabilidad es la incapacidad de resistencia al presentarse un fenómeno amenazante, o la incapacidad para reponerse después de que ha ocurrido un desastre. Por ejemplo, la personas que están asentadas en lugares bajo próximos a ríos son más vulnerables ante las inundaciones que quienes estas asentados en lugares más altos.

La Ley 1523 de 2012 define la vulnerabilidad como la: “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. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos” (artículo 4, numeral 27).

---

[18]Wilches G. La vulnerabilidad Global, 1993. http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/html/cap2.htm

[2] Metodologías de análisis de Riesgo. Resolución 004/09 del FOPAE. Alcaldía Mayor de Bogotá. 2014

Así las cosas, en el marco del POMCA, la vulnerabilidad comprende la susceptibilidad a que se presenten daños en las actividades productivas, la localización de asentamientos humanos y la infraestructura estratégica y de la sostenibilidad ambiental del territorio y de sus recursos naturales renovables.

Algunos factores de los cuales depende la vulnerabilidad son: la edad y la salud de las personas, las condiciones higiénicas y ambientales, la calidad de vida de las construcciones y su ubicación en relación con las amenazas. Una comunidad bien organizada e informada, donde las personas crean espacios de comunicación para acordar las actividades que deben realizar ante las amenazas naturales, es menos vulnerable que una comunidad que no conoce las amenazas que la rodean y no se organiza para responder a ellas.

Los alcances técnicos para la Incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas definen una metodología a que implica el desarrollo de cuatro derroteros principales:

1. Evaluación de la susceptibilidad del territorio de la cuenca ante los eventos en evaluación: movimientos en Masa, Inundaciones, avenidas torrenciales e incendios forestales.
2. Evaluación de la amenaza en zonas críticas obtenidas a partir de susceptibilidad alta y media para los eventos que presenten esta categorización en la susceptibilidad dentro de la cuenca.
3. Análisis de vulnerabilidad de los elementos expuestos ante los eventos amenazantes.
4. Análisis de riesgo resultante de la coincidencia de la amenaza y la vulnerabilidad para los diferentes escenarios de la amenaza evaluada.

El análisis de vulnerabilidad considera la predisposición de los elementos expuestos a sufrir afectación por la ocurrencia de un evento amenazante, para lo cual se requiere determinar y analizar las siguientes variables:

Tabla 5.1. Variables requeridas para el análisis de vulnerabilidad

Nombre	Tipo de Variable	Descripción de la variable	Funcionalidad
CM (km2 o ha)	Cuantitativa	Cantidad de área construida. Las zonas urbanas y centros poblados se expresan en Km2 y las áreas urbanas en Ha.	Esta información permite establecer la Variable Vuso
% Área Construida	Cuantitativa	Porcentaje de área construida	Caracterización Zonas Homogéneas Centros Poblados.
DC	Cuantitativa	Densidad de construcciones por kilómetro cuadrado	Caracterización Zonas Homogéneas Centros Poblados.
Cobertura y uso	Cualitativa	Tipo de cobertura y uso según la metodología Corine Land Cover.	Delimitación de las Zonas Homogéneas.
DP	Cuantitativa	Número de habitantes por kilómetro cuadrado	Caracterización Zonas Homogéneas Centros Poblados.
Relieve	Cualitativa	Tipo de relieve predominante en el territorio: Plano, Ondulado, Montañoso	Delimitación de las Zonas Homogéneas Rurales.

Nombre	Tipo de Variable	Descripción de la variable	Funcionalidad
Categoría Socioeconómica	Cualitativa	Categoriza las entidades territoriales según sus condiciones de vida en Alta, Media o Baja.	Delimitación de las Zonas Homogéneas Rurales.
IVE	Cuantitativa	Índice de precios unitarios por kilómetro cuadrado	Esta información permite establecer la Variable Vuso
Vuso	Cuantitativa	Valor expuesto de cada uso o valor de reposición	Esta variable se incluye en la estimación del índice de pérdida.
IP	Cuantitativa	Estimación del porcentaje de daño o pérdida en las zonas homogéneas.	Establece el índice de exposición para la cuenca objeto de ordenación.
Ff	Cuantitativa	Valoración de posibilidad de que un elemento resulte afectado por la ocurrencia de un evento amenazante.	Variable requerida para el cálculo del índice de fragilidad.
Fsc	Cuantitativa	Valora la fragilidad de la cuenca de acuerdo con las condiciones de vida y culturales del territorio	Variable requerida para el cálculo del índice de fragilidad.
Fe	Cuantitativa	Evalúa la fragilidad de las áreas protegidas, ecosistemas estratégicos y áreas productivas ante la ocurrencia de un evento amenazante.	Variable requerida para el cálculo del índice de fragilidad.
IF	Cuantitativa	Condición de susceptibilidad del territorio, de ser afectados por la ocurrencia de un evento amenazante.	Variable requerida para el cálculo del índice de vulnerabilidad.
IR	Cuantitativa	Mire la afectación que se puede generar en las actividades productivas e infraestructura y su incapacidad para recuperarse de los impactos	Variable requerida para el cálculo del índice de vulnerabilidad.
IV	Cuantitativa	Factor de riesgo interno al sujeto, objeto o sistema expuesto a una amenaza.	Debe ser incluida dentro del análisis de riesgos.

5.3. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD POR MODELO DE ÍNDICES E INDICADORES

La evaluación de vulnerabilidad, es una estimación de las pérdidas o daños que puedan ser causados por un evento natural de cierta severidad, incluyendo daños a la construcción, daños personales e interrupción de las actividades económicas y del funcionamiento normal de las comunidades; un análisis de vulnerabilidad es un proceso mediante el cual se determina el nivel de exposición y la predisposición a la pérdida de un elemento o grupo de elementos frente a una determinada amenaza o peligro. La vulnerabilidad puede categorizarse en tres niveles: baja, media y alta; también puede ser expresada como un porcentaje de elementos que pueden sufrir daño o destrucción (pérdida) sobre un total, aunque es difícil establecer una referencia de carácter absoluto. Los porcentajes pueden ser establecidos en función de las características del área, del tipo de fenómeno, de la densidad y frecuencia de ocupación humana, densidad de construcciones, etc.

El Análisis de vulnerabilidad de los elementos expuestos ante los eventos amenazantes corresponde al tercer derrotero dentro la Incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas. El documento de protocolo, indica que los análisis de vulnerabilidad y riesgo se efectuarán solo para las áreas que tiene evaluación de amenaza crítica, es

decir para las áreas categorizadas con nivel de susceptibilidad medio y alto, que para el caso de la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe corresponde con eventos amenazantes de Inundaciones e Incendios Forestales.

Existe una relación de doble vía entre el riesgo y la vulnerabilidad, bajo la premisa que cualquier evento amenazante solo adquiere condición de riesgo cuando su ocurrencia afecta a una comunidad de forma directa o indirecta. La afectación a que se refiere esta premisa, involucra de forma implícita la definición de "Exposición", la cual 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.[20]

El documento protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas indica que para la evaluación de la vulnerabilidad bajo el enfoque de la exposición es conveniente emplear el Modelo de Indicadores de Vulnerabilidad propuesto por O. Cardona et al. 2003, 2001, a fin de no dejar excluidos las dimensiones social, económica y ambiental, ya que la vulnerabilidad se relaciona con la susceptibilidad física de los elementos expuestos a ser afectados por la ocurrencia de un evento, con la fragilidad social y con la falta de resiliencia de las comunidades para responder ante un desastre o absorber su impacto.

En este sentido, es necesario conocer el significado de los términos exposición, fragilidad y resiliencia.

- **Exposición:** Corresponde al inventario de bienes naturales o no, que pueden ser afectados por diferentes eventos amenazantes y se expresa en términos de activos y de población, la exposición se mide de acuerdo al porcentaje de daño y se calcula mediante el *IP = Índice de pérdidas o índice de exposición,* el cual está afectado por los niveles de confianza y varía entre 0 y 1. Es un componente fundamental en el análisis o evaluación del riesgo y de su nivel de detalle depende el la precisión de los resultados.

- **Fragilidad: Es** el grado de debilidad de los diferentes elementos y sectores (económico, social y ambiental) para soportar el embate de los eventos amenazantes involucrados dentro del territorio de una cuenca hidrográfica. Se mide como *IF = Índice de fragilidad*, y varía entre 0 y 3.

- **Resiliencia:** Se refiere a la capacidad para enfrentar el impacto de los fenómenos amenazantes, se relaciona con la existencia de un sistema de gestión del riesgo. Se mide como *IR = Índice de falta de resiliencia,* dado por la falta de capacidad para resistir y/o sobreponerse a las consecuencias de un fenómeno; su valoración está dada entre 0 y 1.

Es así como desde el contexto teórico presentado, la vulnerabilidad como componente de riesgo se formula bajo la siguiente relación:

[20] Art 4. Numeral 10. Ley 1523 de 24 de 2012. Congreso de la república de Colombia

$$Riesgo = Amenaza * Vulnerabilidad$$

Donde la Vulnerabilidad se da por:

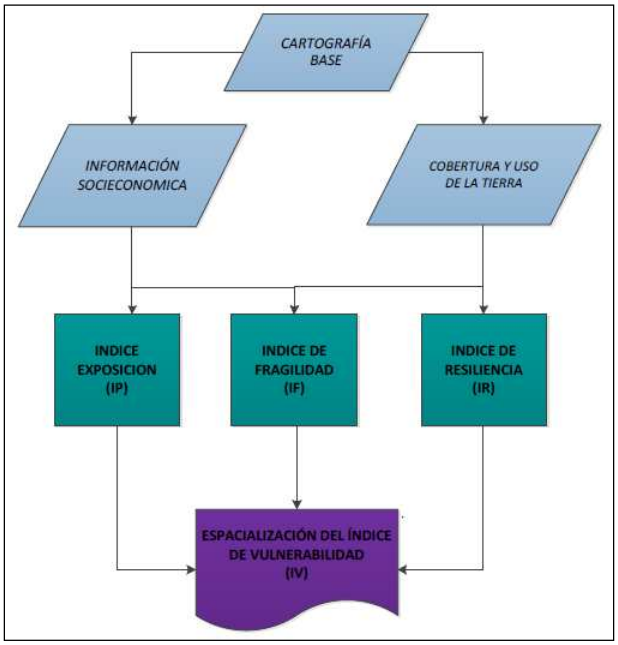
$$Vulnerabilidad = (Exposición * Fragilidad * Falta\ de\ resilencia)$$

Que en términos de índices se convierte en la siguiente expresión:

$$Vulnerabilidad = \frac{Ip * IF}{IR}$$

La siguiente figura, muestra los procesos contemplados en el desarrollo del Análisis de la Vulnerabilidad en la fase de Diagnósticos de los POMCAS; y en los ítems posteriores se indica el procedimiento adoptado para la obtención de los índices que permiten calcular la vulnerabilidad expresada como Índice de Vulnerabilidad (IV) para la cuenca hidrográfica, el cual para el caso de la Cuenca Hidrográfica Río Piedras, Río Manzanares y Otros Directos al Caribe se calcula para los eventos de Inundación e Incendios forestales.

Figura 5.1. **Mapa de procesos para el Análisis de Vulnerabilidad en los POMCAS.**



Adaptado de: Protocolo Para la Incorporación de la gestión del riesgo en los planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas, 2014.

5.3.1. Resultados del análisis de exposición

El índice de exposición o perdida (IP), está ligado al cálculo o la incorporación de indicadores económicos y de desarrollo, este análisis implica la determinación de zonas homogéneas urbanas y rurales. Su índice de exposición o índice de perdidas (IP), se relaciona con las coberturas del suelo, el área, su uso, y el índice de precios por unitarios por Km^2 (IVE).

❖ *Zonas Homogéneas de Centros Poblados (ZHCP):*

Las cuales se han clasificado en su cobertura de acuerdo con la continuidad del tejido en continuas y discontinuas, refiriéndose el Tejido Urbano Continuo a las áreas donde la concentración de estructuras urbanas es mayor, y se puede considerar permanente, dadas las condiciones de consolidación de bienes y servicios como centros de salud, iglesias, escuelas y/o colegios, y comercio tal como los cascos urbanos; mientras que el Tejido Urbano Discontinuo, se refiere a las áreas que presentan un nivel menor de urbanización, al igual que su concentración de bienes y servicios, los cuales son mínimos o nulos como en algunos centros poblados o pequeños caseríos.

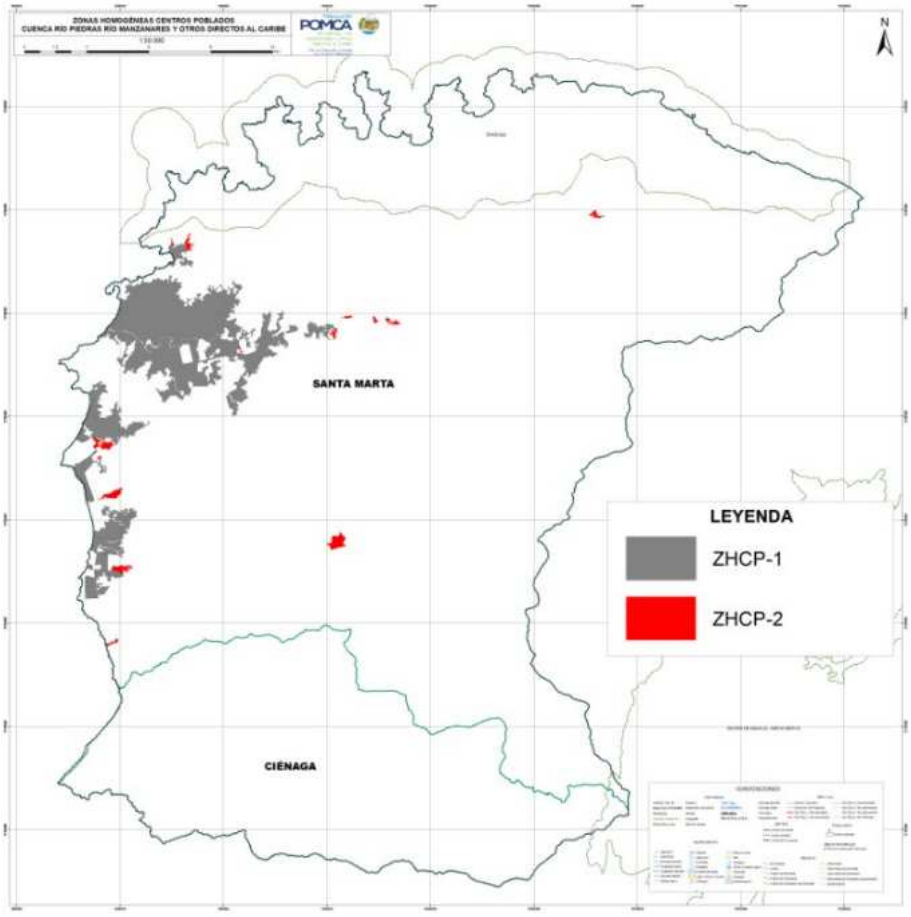
Tabla 5.2. Zonas homogéneas en centros poblados (ZHCP)

ZHCP	COBERTURA	Área (ha)	IVE	IH	PO	Vuso	Ouso
ZHCP-1	Tejido urbano continuo	3483,694665	72525,3	279398,3564	1	101062,4003	7055,497166
ZHCP-2	Tejido urbano discontinuo	183,1552901	72525,3	201166,8166	1	7379,662422	68,36644785
	Total	3666,849955	72525,3	480565,1729	1	61846,37047	4130,651749

Dónde:
IVE = índice de precios por unidad de área en Km2
Vuso = valor expuesto de cada uso (está relacionado con la densidad de población, en uso residencial)
IH = Índice de ocupación para cada uso
IP = Índice de pérdidas o exposición.
PO = Porcentaje de ocupación para cada uso

La siguiente figura muestra la ubicación de las Zonas homogéneas centros poblados (ZHCP) dentro de la Cuenca Hidrográfica río Piedras, río Manzanares y otros Directos al Caribe.

Figura 5.2. **Zonas homogéneas en centros poblados (ZHCP) en la Cuenca Hidrográfica río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe**

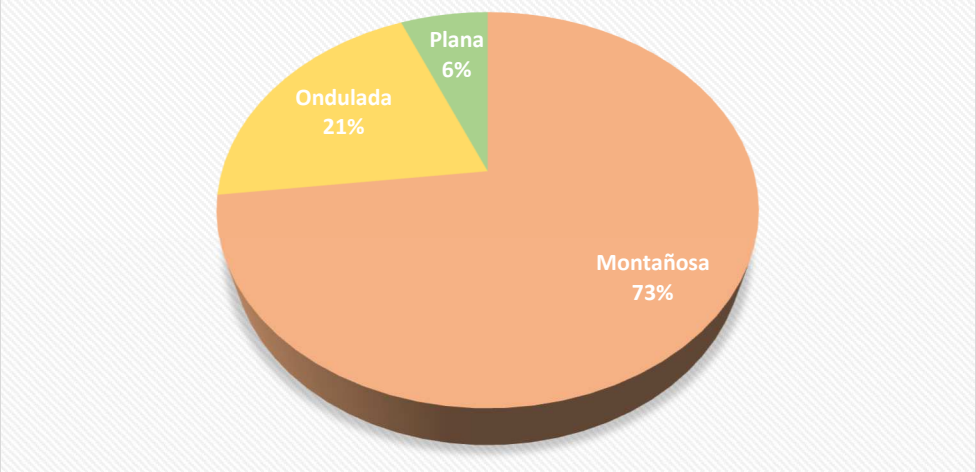


❖ *Zonas Homogéneas Rurales (ZHR):*

Las zonas homogéneas rurales, se conformaron de acuerdo con el tipo de vegetación identificada, mediante una reclasificación del mapa de cobertura y uso de la tierra obtenido para el POMCA. De estas zonas se extraen los centros poblados identificados en el numeral anterior, quedando la zona homogénea rural definida por tipo tres determinantes: Cobertura, según la clasificación de Corine Land Cover; Relieve y Categoría socioeconómica.

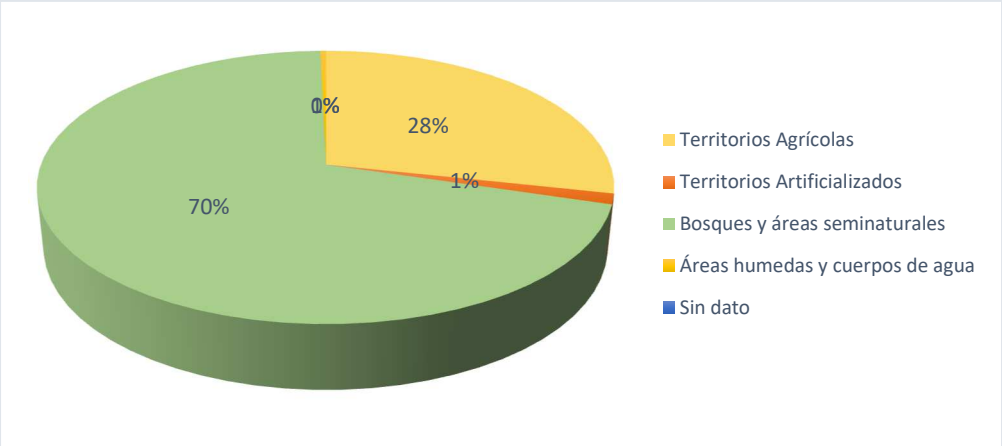
El análisis de las zonas homogéneas rurales denota que el 6,29% de la cuenca se caracteriza por un relieve plano, (pendientes menores al 7%) las cuales se localizan en el borde oeste de la cuenca, en cercanías a los centros poblados de Gaira y Santa Marta; las áreas con relieve ondulado (entre 7% y el 25%) por su parte ocupan el 20,63% del territorio; finalmente las áreas con relieve montañoso (pendientes mayores al 25%) ocupan el 73,08% de la cuenca, presenta una distribución homogénea, con mayor predominancia en la parte alta de los ríos en ordenación.

Figura 5.3. **Tipo de relieve**



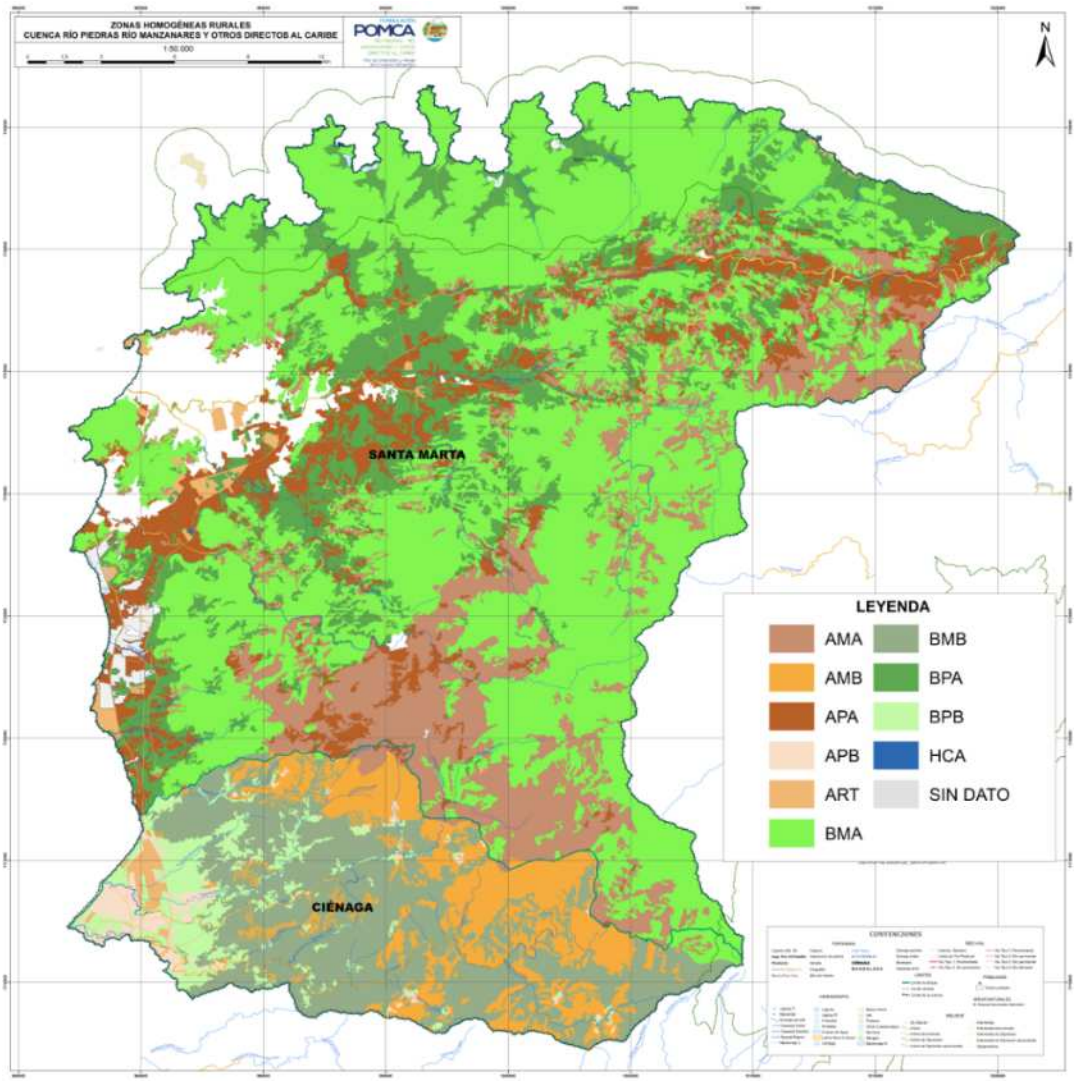
Respecto a la caracterización socioeconómica es de resaltar que el Distrito Histórico y Turístico de Santa Marta, presenta una alta categoría socioeconómica, a comparación del municipio de Ciénaga que presenta índices económicos más bajos. De otra parte, como se aprecia en la Figura 5.4, el 70% del territorio en ordenación cuenta con coberturas vegetales de bosques y áreas seminaturales, seguido por los territorios agrícolas (28%) y territorios artificializados (1%).

Figura 5.4. **Tipo de coberturas predominantes en las zonas homogéneas**



La reclasificación de las coberturas, tipo de relieve y categoría socioeconómica, permitió definir 10 zonas homogéneas rurales (Ver Figura 5.5), las cuales se describen a continuación:

Figura 5.5. **Zonas Homogéneas rurales**



5.3.1.1. *AMA Y AMB*

Corresponde a los territorios agrícolas, ubicados en pendientes topográficas ligeramente escarpada a fuertemente empinada (25% - >75%), caracterizados por presentar una categoría socioeconómica alta (AMA) y baja (AMB). Las coberturas pertenecientes a estas zonas homogénea, se presentan a continuación:

Tabla 5.3. Tipo de coberturas zonas homogéneas AMA y AMB

ZONA HOMOGÉNEA	COBERTURA	ÁREA (ha)
AMA	Café a plena exposición	315,69
	Café con semisombra sombrío	106,11
	Café con sombrío	3.131,29
	Cítricos	2,56
	Mango	0,00
	Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos	710,36
	Mosaico de cultivos y espacios naturales arbustivos	282,25
	Mosaico de cultivos y espacios naturales herbáceos	277,24
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbustivos	362,76
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos	137,47
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales herbáceos	1,20
	Mosaico de pastos con espacios naturales arbóreos	209,53
	Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos	2.622,75
	Mosaico de pastos con espacios naturales herbáceos	43,52
	Mosaico de pastos y cultivos	410,07
	Otros cultivos permanentes arbóreos	41,78
	Otros cultivos transitorios	1,28
	Pastos arbolados	544,84
	Pastos enmalezados	715,69
	Pastos limpios	1.866,16
	Subtotal	**11.782,56**
AMB	Café a plena exposición	125,58
	Café con semisombra sombrío	455,48
	Café con sombrío	322,67
	Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos	910,79
	Mosaico de cultivos y espacios naturales arbustivos	84,79
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbustivos	472,97
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos	214,24
	Mosaico de pastos con espacios naturales arbóreos	79,95
	Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos	1.050,29
	Mosaico de pastos con espacios naturales herbáceos	0,21
	Mosaico de pastos y cultivos	107,45
	Pastos arbolados	17,81
	Pastos enmalezados	614,76
	Pastos limpios	820,12
	Subtotal	**5.277,10**

5.3.1.2. *APA Y APB*

Hace referencia a los territorios agrícolas, ubicados en pendientes topográficas ligeramente plana a fuertemente inclinada (<3% - 25%), caracterizados por presentar una categoría socioeconómica alta (APA) y baja (APB). Las coberturas pertenecientes a estas zonas homogéneas, se presentan a continuación:

Tabla 5.4. Tipo de coberturas zonas homogéneas APA y APB

ZONA HOMOGÉNEA	COBERTURA	ÁREA (ha)
APA	Café a plena exposición	97,49
	Café con semisombra sombrío	7,27
	Café con sombrío	383,91
	Mango	106,21
	Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos	179,11
	Mosaico de cultivos y espacios naturales arbustivos	42,80
	Mosaico de cultivos y espacios naturales herbáceos	109,25
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbustivos	237,03
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos	488,44
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales herbáceos	46,79
	Mosaico de pastos con espacios naturales arbóreos	351,91
	Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos	2.267,59
	Mosaico de pastos con espacios naturales herbáceos	20,64
	Mosaico de pastos y cultivos	186,97
	Otros cultivos permanentes arbóreos	24,90
	Otros cultivos transitorios	15,73
	Pastos arbolados	661,72
	Pastos enmalezados	624,51
	Pastos limpios	1.491,81
	Subtotal	**7.344,07**
APB	Café a plena exposición	0,76
	Café con sombrío	18,41
	Mango	112,74
	Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos	87,28
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbustivos	30,68
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos	76,94
	Mosaico de pastos con espacios naturales arbóreos	12,22
	Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos	160,55
	Mosaico de pastos con espacios naturales herbáceos	11,70
	Mosaico de pastos y cultivos	10,35
	Otros cultivos permanentes arbóreos	9,00
	Otros cultivos permanentes arbustivos	1,93
	Palma de aceite	53,21
	Pastos arbolados	0,05
	Pastos enmalezados	91,63
	Pastos limpios	23,89
	Plátano y banano	181,25
	Subtotal	**882,58**

5.3.1.3. *ART*

Corresponde a los territorios artificializados; cuyas coberturas se encuentran asociadas a Zonas comerciales, industriales y portuarias, red vial, áreas turísticas, deportivas y culturales, explotación de hidrocarburos, entre otras. Esta categoría representa el 1,24% de la superficie total de la cuenca.

Tabla 5.5. Tipo de coberturas zona homogénea ART

COBERTURA	ÁREA (ha)
Aeropuerto con infraestructura asociada	31,85
Áreas culturales	51,55
Áreas deportivas	17,36
Áreas turísticas	99,80
Avicultura	3,31
Explotación de hidrocarburos	139,05
Explotación de materiales de construcción	13,17
Instalaciones recreativas	32,43
Otras zonas verdes urbanas	9,94
Red vial y territorios asociados	249,83
Zonas comerciales	83,05
Zonas industriales	328,40
Zonas industriales o comerciales	30,37
Zonas portuarias fluviales	17,85
Subtotal	**1.107,96**

5.3.1.4. *BMA Y BMB*

Representa el 53,77% del territorio en ordenación, corresponde a bosques y áreas seminaturales, ubicados en pendientes topográficas ligeramente escarpada a fuertemente empinada (25% - >75%), caracterizados por presentar una categoría socioeconómica baja (BMB) y Alta (BMA). La mayor extensión de estas zonas homogéneas, se localiza en jurisdicción del municipio de santa Marta.

Tabla 5.6. Tipo de coberturas zonas homogéneas BMA y BMB

ZONA HOMOGÉNEA	COBERTURA	ÁREA (ha)
BMA	Afloramientos rocosos	122,19
	Arbustal abierto esclerófilo	207,21
	Arbustal abierto mesófilo	97,50
	Arbustal denso alto	5.039,68
	Arbustal denso bajo	777,73
	Bosque abierto bajo de tierra firme	1.530,13
	Bosque de galería y/o ripario alto	36,40
	Bosque de galería y/o ripario bajo	15,24
	Bosque denso alto de tierra firme	5.233,50
	Bosque denso bajo de tierra firme	15.917,95
	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	1.714,74
	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	3.498,47
	Herbazal abierto rocoso	8,71

ZONA HOMOGÉNEA	COBERTURA	ÁREA (ha)
	Herbazal denso de tierra firme con arbustos	91,56
	Herbazal denso de tierra firme no arbolado	20,59
	Plantación de coníferas	54,76
	Playas	57,81
	Remoción en masa	24,79
	Tierras desnudas y degradadas	22,74
	Tierras erosionadas	3,32
	Vegetación secundaria alta	1.171,95
	Vegetación secundaria baja	2.842,06
	Subtotal	**38.489,03**
BMB	Afloramientos rocosos	2,89
	Arbustal abierto esclerófilo	5,40
	Arbustal abierto mesófilo	98,95
	Arbustal denso alto	2.079,58
	Arbustal denso bajo	155,09
	Bosque de galería y/o ripario alto	12,62
	Bosque denso alto de tierra firme	484,31
	Bosque denso bajo de tierra firme	2.429,21
	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	388,32
	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	1.494,94
	Herbazal denso de tierra firme arbolado	64,87
	Herbazal denso de tierra firme con arbustos	152,60
	Herbazal denso de tierra firme no arbolado	24,01
	Tierras desnudas y degradadas	5,35
	Vegetación secundaria alta	647,31
	Vegetación secundaria baja	1.396,31
	Subtotal	**9.441,75**

5.3.1.5. *BPA Y BPB*

Corresponde a bosques y áreas seminaturales, ubicados en pendientes topográficas ligeramente plana a fuertemente inclinada (<3% - 25%), caracterizados por presentar una categoría socioeconómica alta (APA) y baja (APB). Esta categoría representa el 16,23% de la superficie total de la cuenca.

Tabla 5.7. Tipo de coberturas zonas homogéneas BPA Y BPB

ZONA HOMOGÉNEA	COBERTURA	ÁREA (ha)
BPA	Afloramientos rocosos	10,62
	Arbustal abierto esclerófilo	35,44
	Arbustal abierto mesófilo	34,46
	Arbustal denso alto	1.452,69
	Arbustal denso bajo	169,99
	Bosque abierto bajo de tierra firme	555,98
	Bosque de galería y/o ripario alto	220,79

ZONA HOMOGÉNEA	COBERTURA	ÁREA (ha)
	Bosque de galería y/o ripario bajo	40,75
	Bosque denso alto de tierra firme	107,04
	Bosque denso alto inundable heterogéneo	4.885,02
	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	686,68
	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	1.909,20
	Herbazal abierto rocoso	0,92
	Herbazal denso de tierra firme con arbustos	28,72
	Herbazal denso de tierra firme no arbolado	10,94
	Playas	73,21
	Tierras desnudas y degradadas	85,71
	Tierras erosionadas	3,07
	Vegetación secundaria alta	425,56
	Vegetación secundaria baja	1.552,95
	Subtotal	**12.289,75**
BPB	Afloramientos rocosos	1,24
	Arbustal abierto mesófilo	50,13
	Arbustal denso alto	814,28
	Arbustal denso bajo	37,19
	Bosque de galería y/o ripario alto	23,46
	Bosque denso alto de tierra firme	0,50
	Bosque denso alto inundable heterogéneo	142,89
	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	20,98
	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	614,08
	Herbazal denso de tierra firme arbolado	4,53
	Herbazal denso de tierra firme con arbustos	20,54
	Herbazal denso de tierra firme no arbolado	7,62
	Playas	3,60
	Tierras desnudas y degradadas	10,56
	Vegetación secundaria alta	95,41
	Vegetación secundaria baja	333,15
	Subtotal	**2.180,15**

5.3.1.6. *HCA*

En esta zona homogénea se clasifican todas aquellas coberturas asociadas a las áreas húmedas y cuerpos de agua, representando el 0,37% del territorio en ordenación.

Tabla 5.8. Tipo de coberturas zonas homogéneas HCA

COBERTURA	ÁREA (ha)
Cuerpos de agua artificiales	4,25
Lagunas costeras	21,27
Mares y océanos	26,74
Ríos	266,49
Zonas Pantanosas	14,51
Subtotal	**333,26**

De acuerdo con el análisis económico del territorio en ordenación, se estimaron algunos indicadores con el objeto de establecer el porcentaje de daño o pérdida (IP), derivado de la ocurrencia de un evento amenazante. Este índice, se obtuvo para cada una de las zonas homogéneas, tal como se muestra en las Tabla 5.9 y Tabla 5.10.

Tabla 5.9. Índice de pérdida zonas homogéneas centros poblados

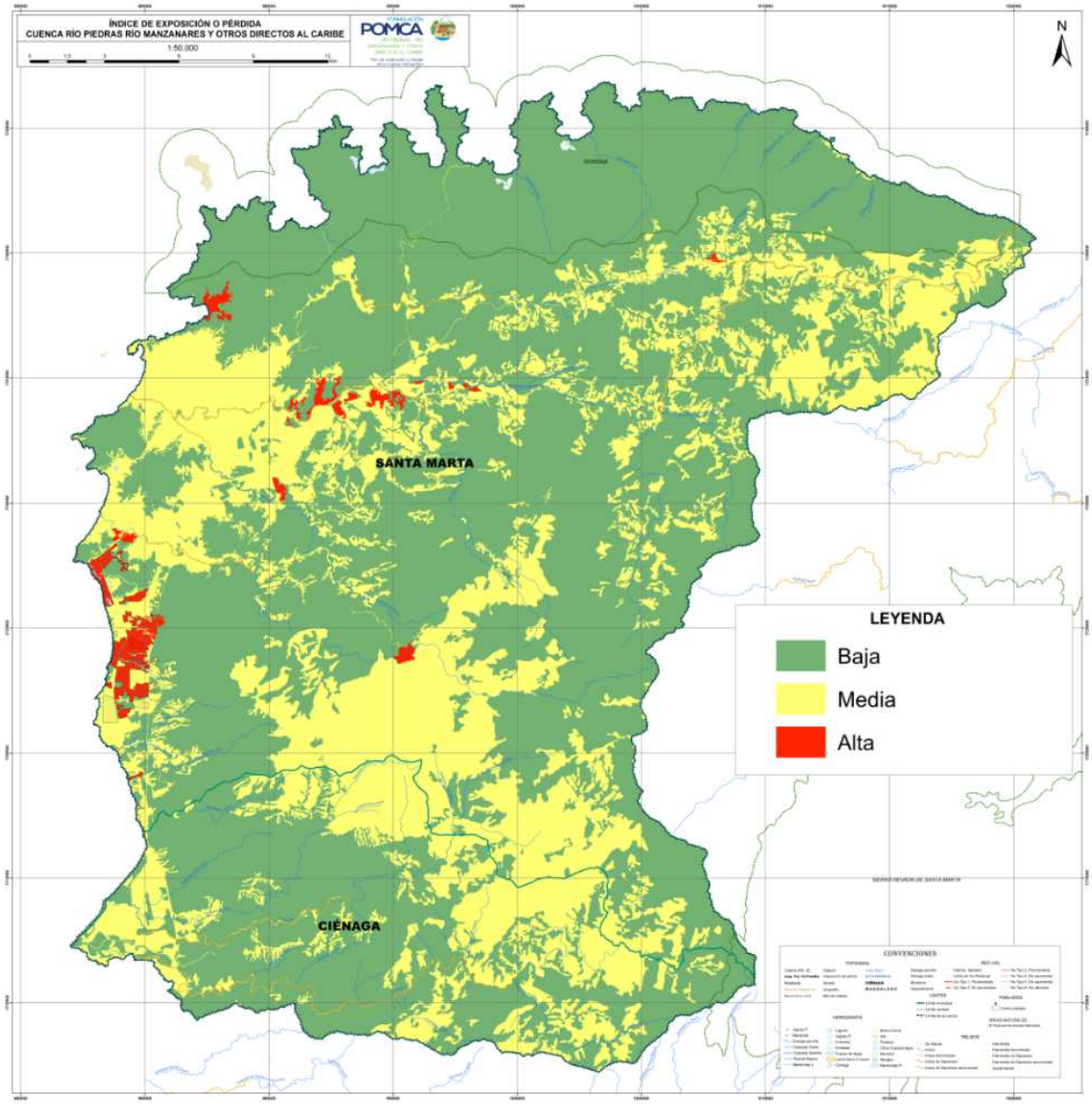
Zona Homogénea	Área (ha)
ZHCP-1	0,75153532
ZHCP-2	0,945637931
Total	0,832787576

Tabla 5.10. Índice de pérdida zonas homogéneas rurales

Zona Homogénea	IVE ($US/ ha)	Valor inicial	Vuso	IP
AMA	3.751,60	42.386,93	30.276,38	0,29
AMB	683,69	18.707,59	13.362,56	0,29
APA	3.751,60	17.816,57	12.726,12	0,29
APB	683,69	2.883,19	2.059,42	0,29
ART	3.323,25	17.968,07	11.978,71	0,33
BMA	3.751,60	75.492,03	68.629,11	0,09
BMB	683,69	11.164,67	10.149,70	0,09
BPA	3.751,60	15.750,59	14.318,72	0,09
BPB	683,69	1.951,90	1.774,46	0,09
HCA	2.386,01	1.388,58	1.388,58	0,00
SIN DATO	3.751,60	16.464,28	16.464,28	0,00
Total	3.141,63	27.735,93	23.385,08	0,16

Con el fin de realizar un análisis espacial, el índice de exposición o índice de perdida (IP), fue consolidado y definido en tres categorías así: Alta para los valores IP mayores de 0,5, la cual abarca un 0,94% del total del territorio; Media para los valores entre 0 y 0,5 correspondiendo con el 98,69% del área total de la cuenca y Baja, para valores IP iguales a cero, ocupando un 0,36% del área del territorio. La Figura 5.6, permite reconocer que las áreas con mayor grado de pérdida están asociadas al tejido urbano continuo y discontinuo.

Figura 5.6. **Índice de pérdida o exposición**



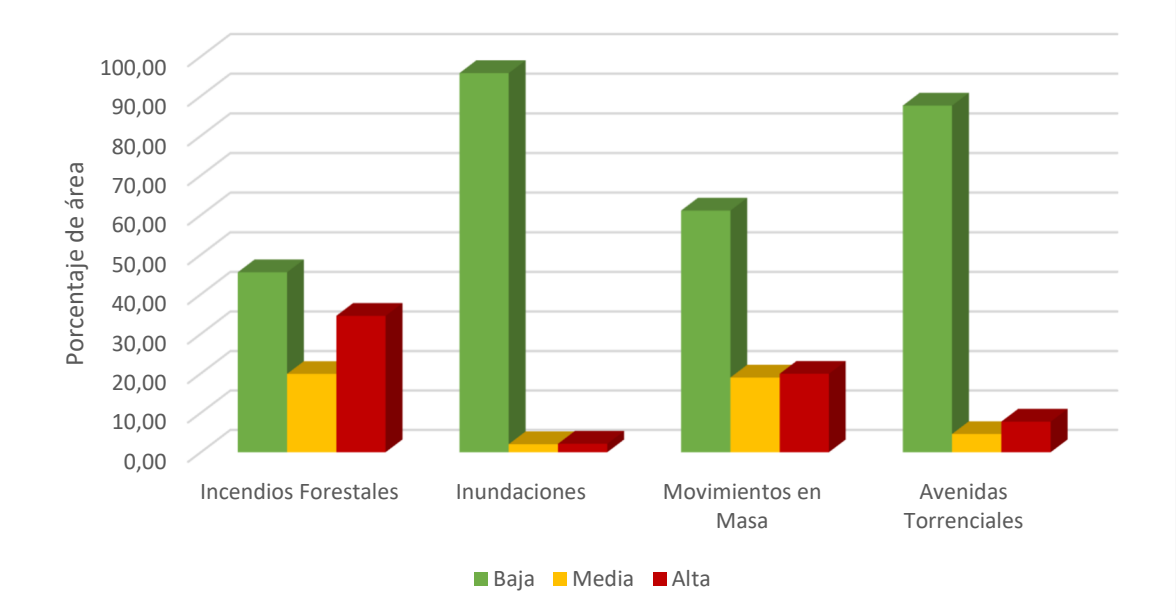
5.3.2. Resultados del análisis de fragilidad

La fragilidad física es el resultado de la superposición de los elementos expuestos con las categorías de amenaza alta y media de cada uno de los fenómenos amenazantes analizados para el área de estudio. La fragilidad, en esta cuenca, se determinó frente a amenazas por inundación, incendios forestales, movimientos en masa y avenidas torrenciales. Para lograr determinar la fragilidad total, se calcularon primero la fragilidad física, la fragilidad socio cultural y la fragilidad ecosistémica, luego se realizó el promedio aritmético de estas capas para determinar la fragilidad total de la cuenca.

5.3.2.1. *Fragilidad física*

En la Figura 5.7, se presenta el porcentaje de fragilidad física del territorio para cada uno de los eventos amenazantes evaluados en el POMCA, observando que las mayores afectaciones sobre los elementos expuestos, se generan a causa de los incendios forestales y movimientos en masa, representando el 34,56% y 19,91% de la superficie total de la cuenca.

Figura 5.7. **Fragilidad física por tipo de amenaza**



Frente a los incendios forestales se presenta un área significativamente alta con fragilidad, dado que el 54,44% de la cuenca presenta indicadores de 0.5 y 1 ante este tipo de eventos, especialmente en coberturas de tipo pastoril, forestal y agrícola. Así mismo, estos niveles de fragilidad se presentan en el borde oeste de la cuenca en pendientes topográfica de moderadamente inclinada a moderadamente escarpada.

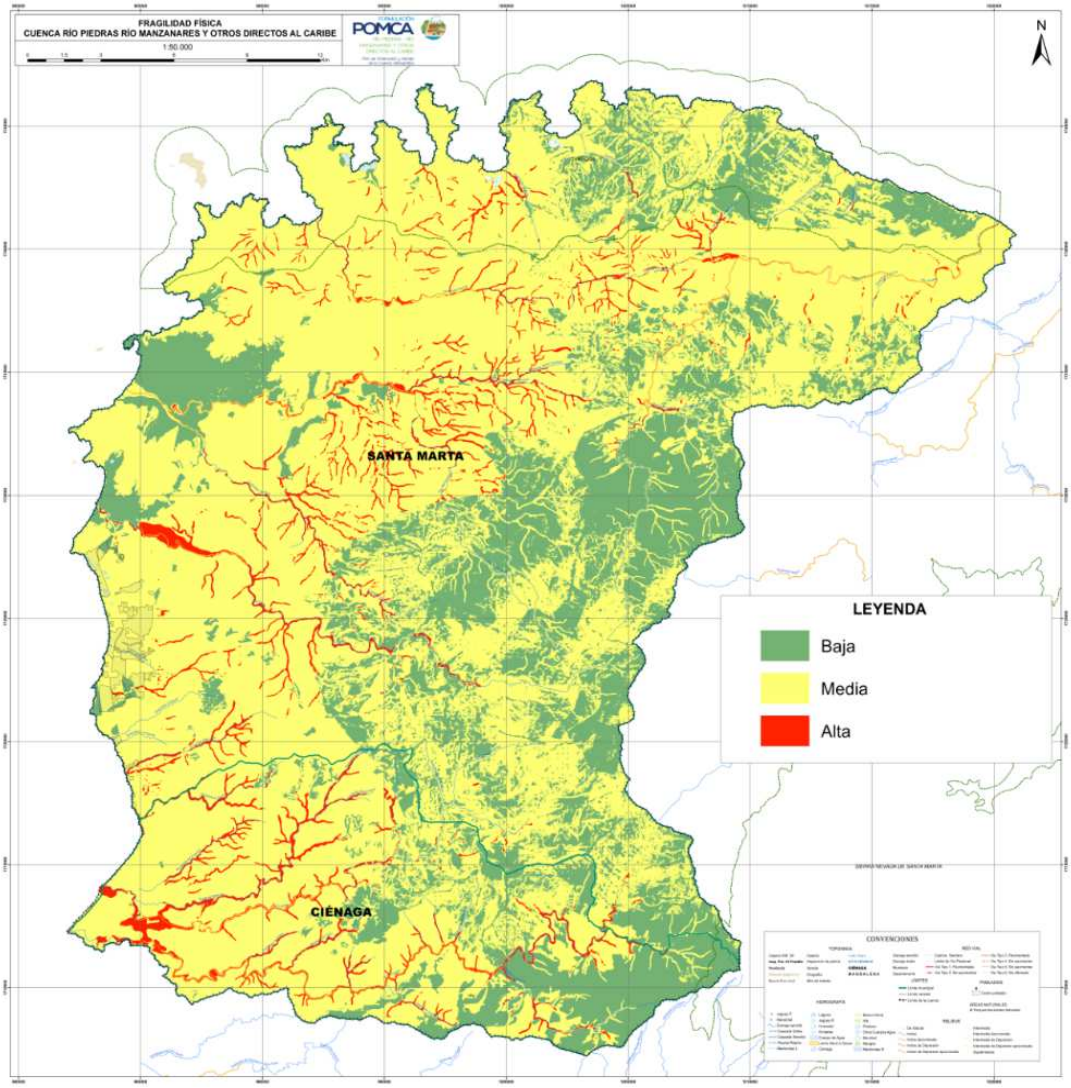
En el caso de las inundaciones, las áreas aledañas a los ríos Piedras, Manzanares, Gaira, Córdoba y Toribio, así como el borde costero del Parque Nacional Natural Tayrona, son los sectores de la cuenca con mayor área frágil ante este tipo de eventos amenazantes. El mayor porcentaje de la cuenca presenta un índice de fragilidad bajo (95,82%), debido a las características topográficas de la zona; sin embargo, es importante resaltar algunos sectores de los centros urbanos como el D.T.C.H. Santa Marta y Gaira, presentan niveles de fragilidad media y alta.

Con relación a los movimientos en masa, el análisis indica que la mayor superficie de la cuenca se encuentra en fragilidad baja (61,13%); el porcentaje restante corresponde índices de fragilidad igual a 0,5 y 1, en zonas donde la amenaza es media y alta, corresponde a 18,96% y 19,91%, respectivamente, cabe aclarar que estas áreas se distribuyen homogéneamente a lo largo de la cuenca tanto en el municipio de Ciénaga, como en el D.T.C.H. de Santa Marta.

Por último, las avenidas torrenciales, presentan niveles bajos de fragilidad, dado que el 12,38% de la cuenca presenta indicadores de 0.5 y 1 ante este tipo de eventos, principalmente en las áreas aledañas a los ríos Piedras, Manzanares, Gaira, Córdoba y Toribio, así como en cercanías a los centros urbanos de Santa Marta y Gaira.

El índice de fragilidad física total de la cuenca, se obtuvo como resultado del promedio ponderado de las fragilidades individuales para cada tipo de evento, observando que el 71,23% del área en ordenación presenta condiciones de fragilidad media, las cuales se acentúan en las rondas hídricas de los ríos Piedras, Manzanares, Gaira, Córdoba y Toribio (4,20%); el porcentaje restante corresponde a áreas con fragilidad baja, las cuales se ubican en varios sectores de la cuenca, con mayor extensión en el cuadrante SurEste. En la Figura 5.8, se presenta la fragilidad física total para la cuenca del río Piedras, río Manzanares y Otros Directos al Caribe.

Figura 5.8. **Fragilidad física total**



5.3.2.2. *Fragilidad socio -Cultural*

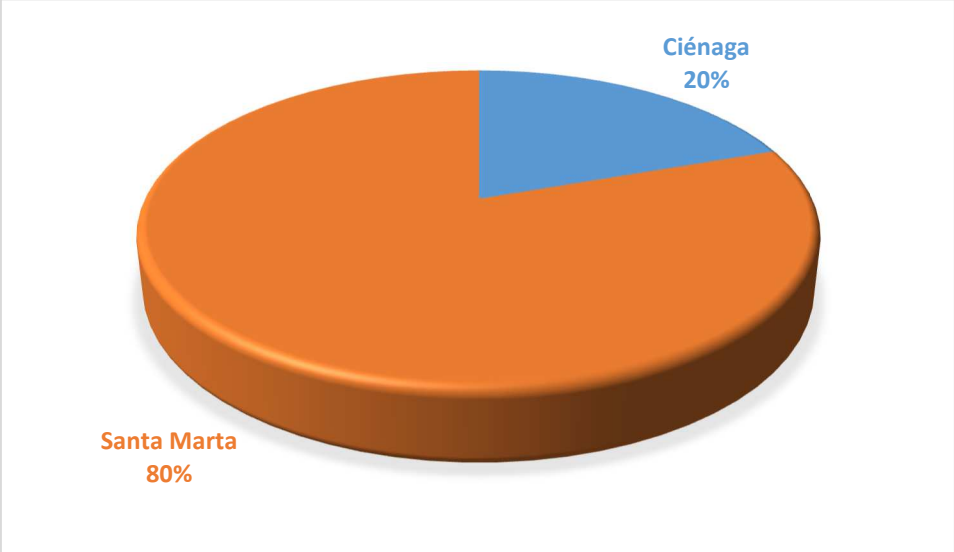
En la evaluación de la fragilidad sociocultural, se consideró el índice de calidad de vida y la fragilidad cultural del territorio, factores que fueron ponderados acorde con la dinámica de la cuenca objeto de ordenación.

Tabla 5.11. Categorías del ICV

Vereda	Rangos de Índice de Calidad de vida (ICV)	Valor	Categoría
Santa Marta	>80	0,1	Baja
Ciénaga	>67, <80	0,25	Media

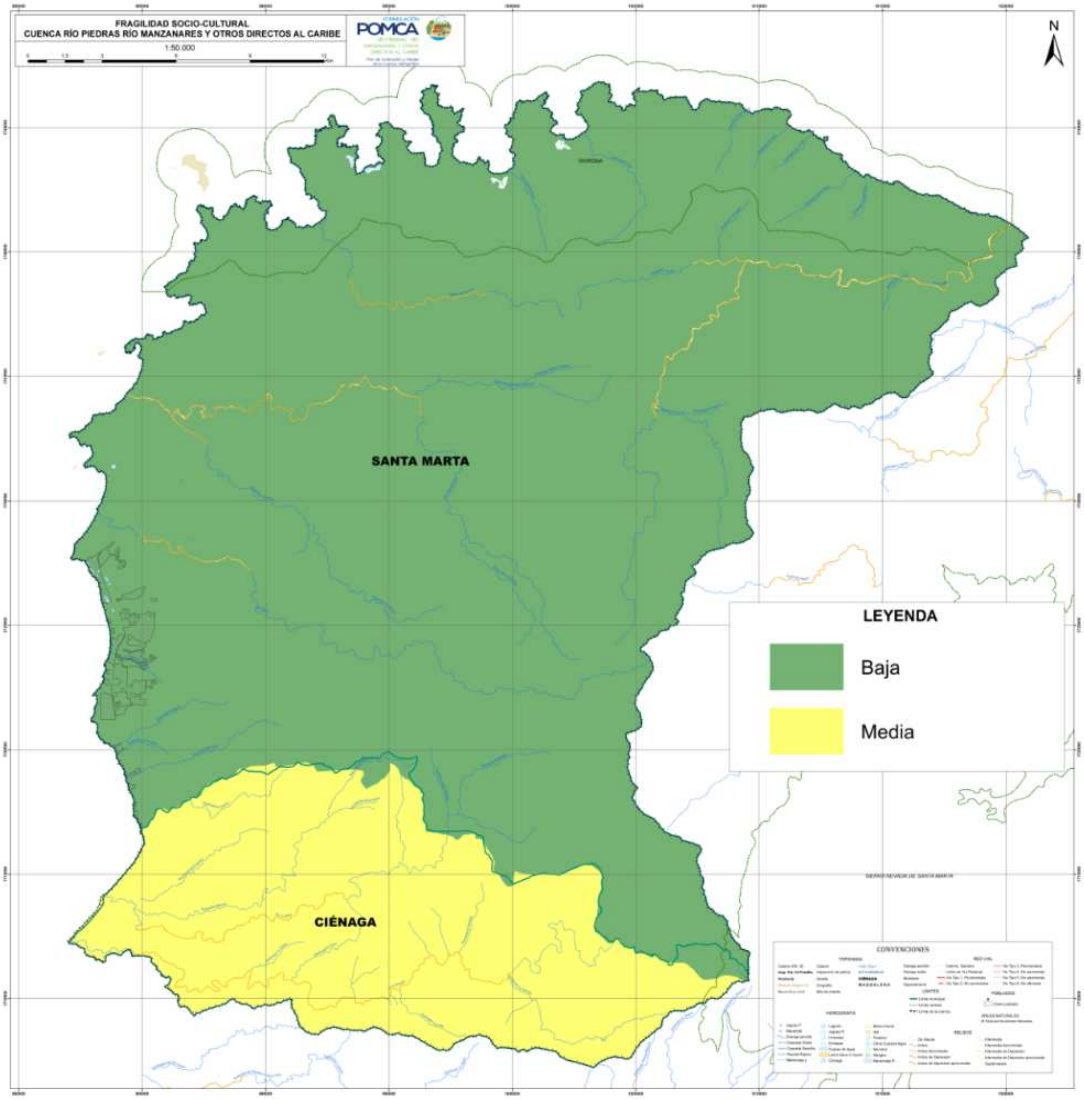
Los resultados obtenidos arrojan que un porcentaje considerable del área de la cuenca presenta buenas condiciones de calidad de vida, en donde la fragilidad de áreas de patrimonio natural o cultural no presenta valores elevados. En la Figura 5.9, se resume los resultados del cálculo de este indicador; como se muestra, alrededor del 80% de la cuenca se encuentra en la categoría baja y solo el 20% del área total de la cuenca lo está bajo nivel medio.

Figura 5.9. **Porcentaje de Fragilidad Socio Cultural**



A nivel municipal, los mayores niveles de fragilidad de bienes culturales y patrimoniales se presentan en el municipio de Ciénaga, tal como se observa en la Figura 5.10.

Figura 5.10. **Fragilidad Socio – Cultural**



5.3.2.3. *Fragilidad Ecosistémica*

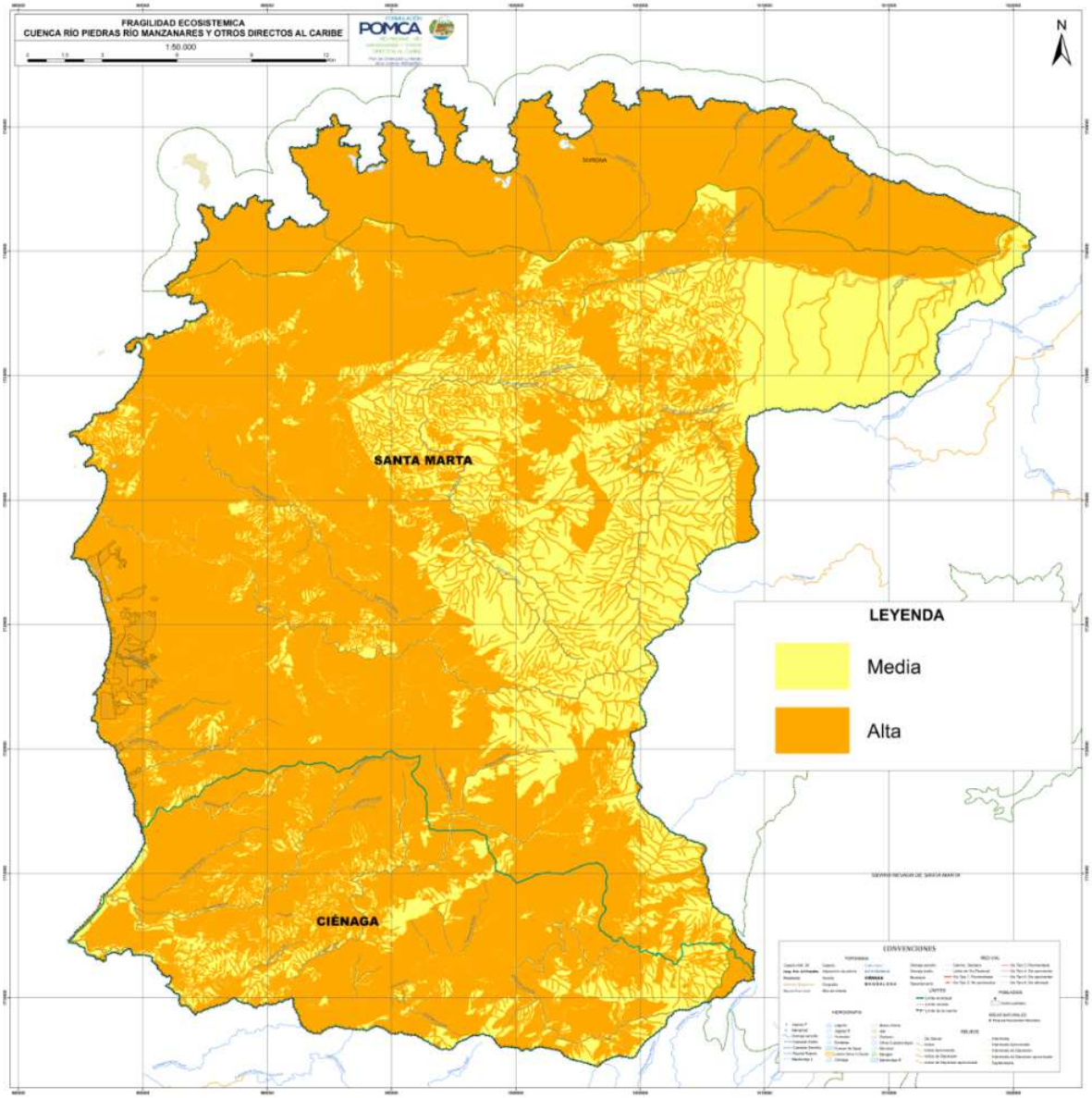
Las zonas con fragilidad ecosistémica, la constituyen las áreas protegidas o prestadoras de servicios ambientales que se encuentran dentro de las zonas categorizadas en amenaza alta y media; que para el caso de la cuenca en ordenación están constituidas por:

Tabla 5.12. Categorías para la evaluación de la fragilidad de ecosistemas estratégicos.

Nombre del ecosistema estratégico	Áreas de Ecosistemas Estratégicos	Valor	Categoría
Bosque seco, Manglar, Reserva de la Biosfera, Parque Nacional Natural Tayrona, Rondas hídricas	Satisfacción de necesidades básicas y equilibrio natural	1,00	Alta
Reserva Forestal Ley 2da, AICAS, Bosques, Reserva de la Sociedad Civil, Proaves.	Productividad y equilibrio natural	0,75	Media

A partir de la categorización y ponderación de valores a cada una de las coberturas se evidencia que predomina la fragilidad ecosistémica alta con un 75,46% del área de la cuenca esto se debe principalmente presencia de zonas de protección y conservación tales como: Parque Nacional Natural Tayrona, Reserva de la Biosfera, Áreas de Importancia para la conservación de aves, entre otras. La fragilidad ecosistémica media por su parte ocupa el 24,54% del área de estudio y corresponde con oberturas de bosques y áreas seminaturales, localizándose hacia el centro y norte de la cuenca, en jurisdicción de los corregimientos de Bonda, Guachaca y Minca.

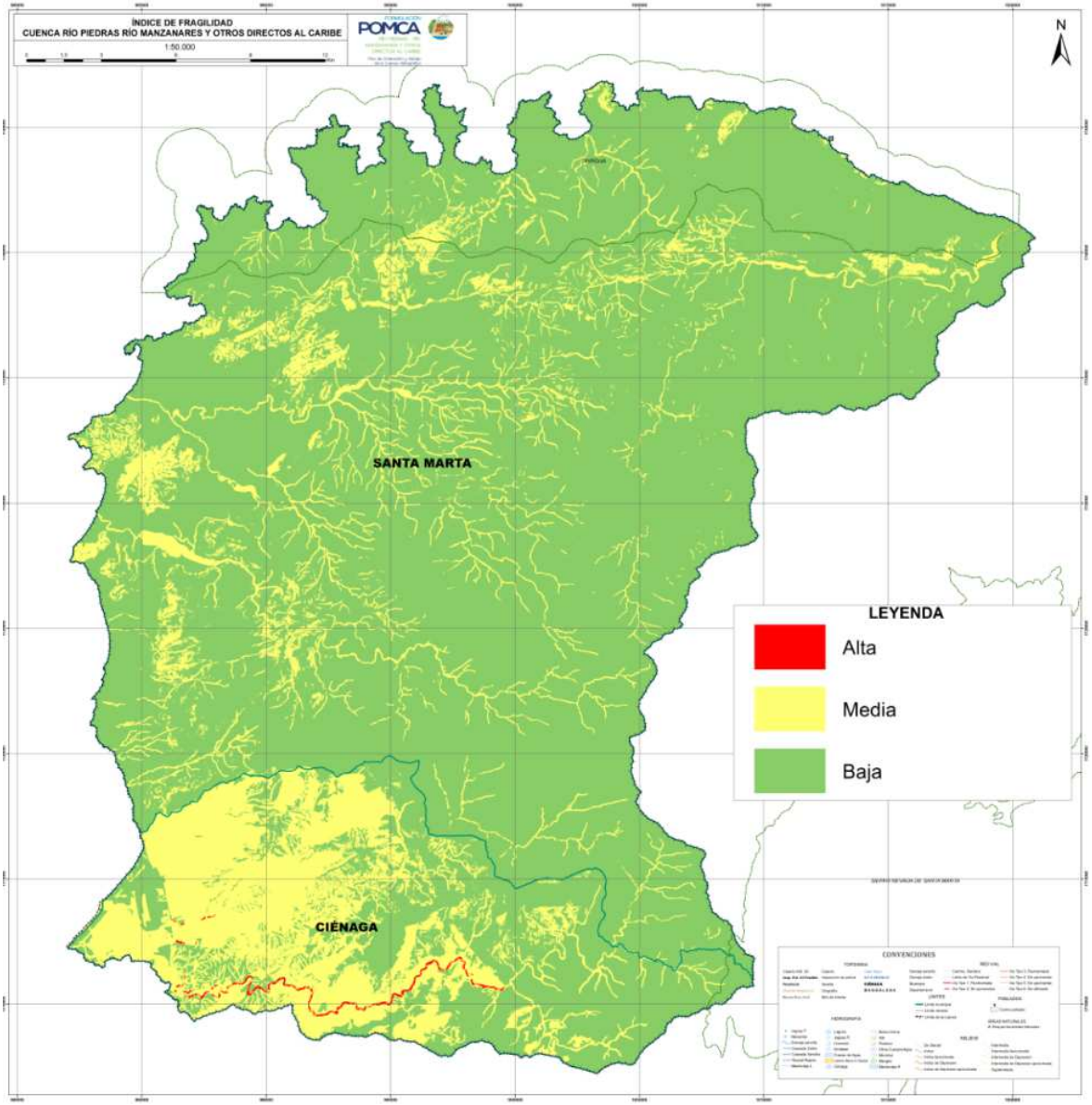
Figura 5.11. Fragilidad Ecosistémica



5.3.2.4. *Fragilidad Total*

Corresponde al promedio de los valores calculados para Fragilidad Fisca Fi, fragilidad Sociocultural Fsc y Fragilidad Ecosistémica Fe. Para la cuenca hidrográfica río Piedras, río Manzanares y Otros Directos al Caribe, la categoría de fragilidad baja ocupa el 81% del territorio de la cuenca, seguida de la categoría media con 18,8% y alta 0,1%; denotando mayor proporción de área frágil en las áreas aledañas al río Córdoba. Cabe resaltar, que las áreas con fragilidad media, en su mayoría se asocian a las rondas hídricas de los cauces principales de la cuenca.

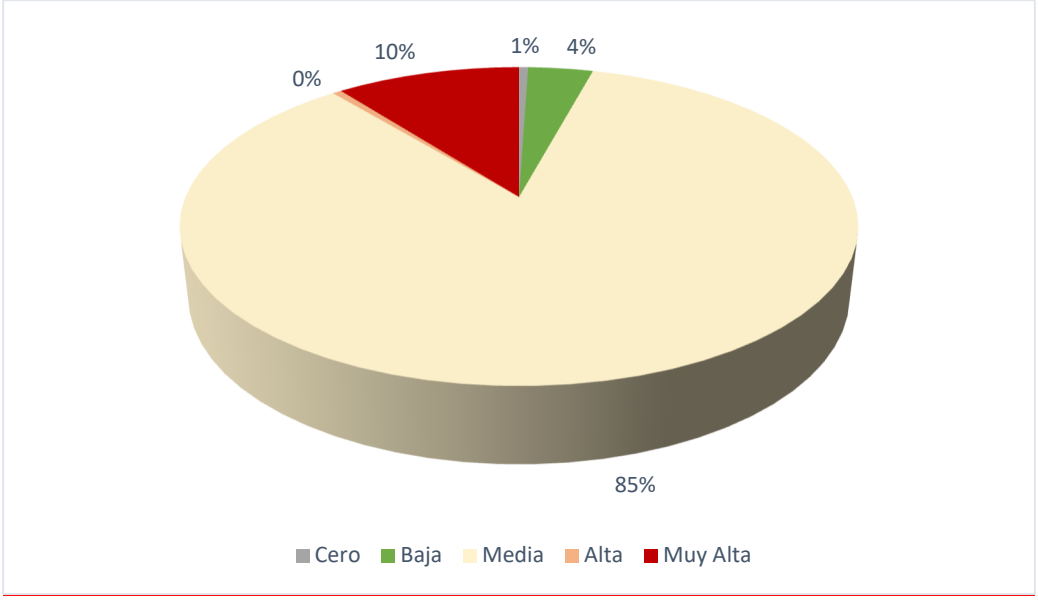
Figura 5.12. **Índice de Fragilidad Total**



5.3.3. Resultados del análisis de la resiliencia

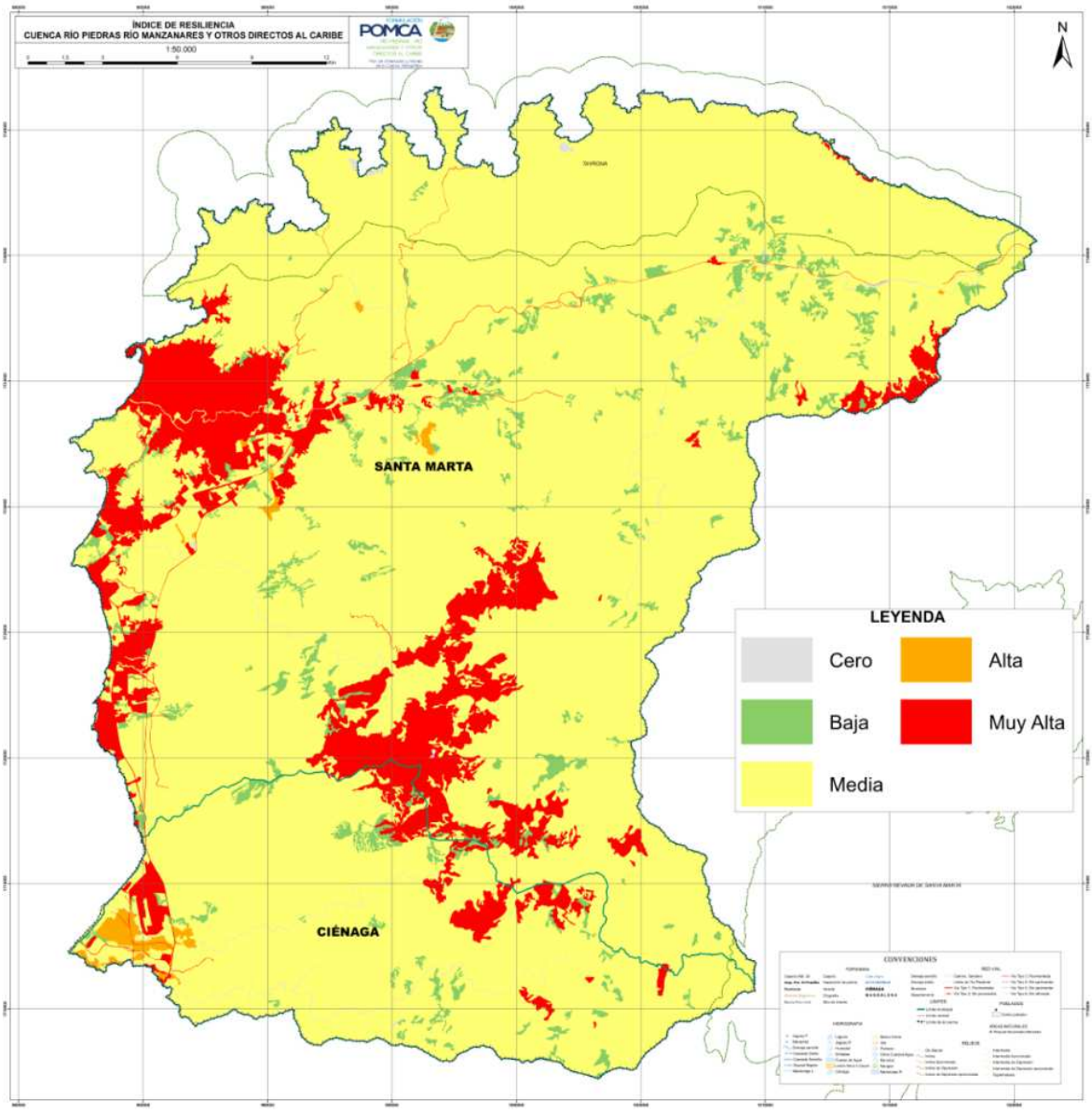
Para el análisis de este índice, se partió de la reclasificación del mapa de coberturas, asignando a las nuevas a categorías los valores indicados en ella, entre 0 y 1. De acuerdo con los resultados la categoría con mayor falta de resiliencia corresponde a la categoría media la cual ocupa el 84,78% del territorio y corresponde en términos generales con coberturas de bosques, lagunas, ríos, vegetación secundaria y vegetación sobre cuerpos de agua, mientras que la categoría muy alta solo ocupa el 10,50% y corresponde con actividades agrícolas principalmente, por su parte la falta de resiliencia baja ocupa el 3,70% del territorio y corresponde a arbustales y herbazales principalmente.

Figura 5.13. **Porcentaje de área según las categorías de resiliencia**



En la Figura 5.14, se presenta la ubicación geográfica del índice para la cuenca río Piedras, río Manzanares y otros Directos al Caribe, donde se observa que la falta de resiliencia se concentra en dos sectores: a) borde occidental, en cercanías al D.T.C.H. de Santa Marta, centro poblado de Gaira y dentro de la región Córdoba; b) Hacia el centro de la cuenca, en jurisdicción del corregimiento de Minca.

Figura 5.14. **Índice de resiliencia**



5.3.4. Resultados del análisis de Vulnerabilidad

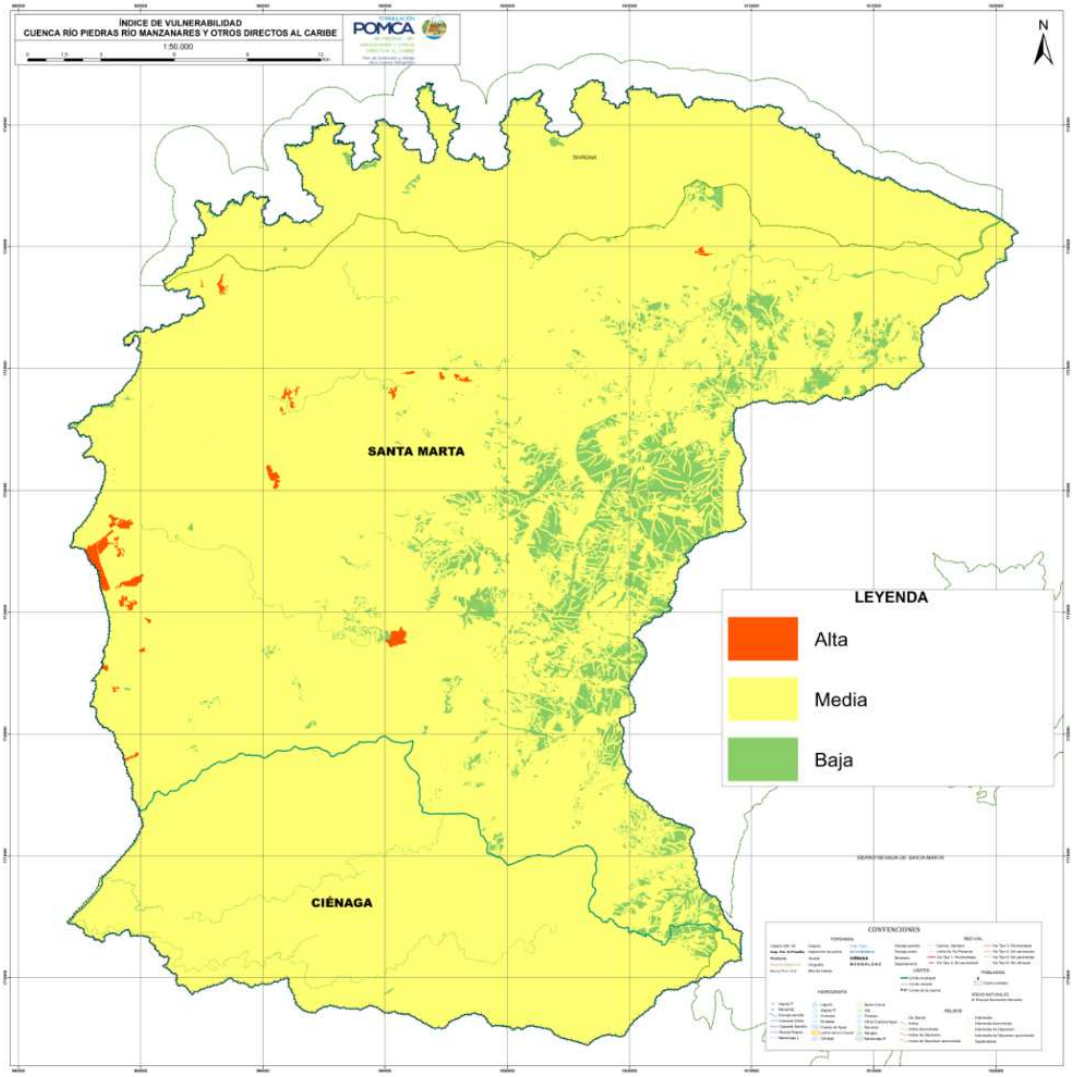
De acuerdo con lo indicado en la metodología, la Vulnerabilidad, se determina en función de los índices de pérdida o exposición, de fragilidad, y de resiliencia. Corresponde al promedio de estos tres índices. Su valor se categoriza así: Alto para valores entre 0.75 y 1; Media para valores entre 0.30 y 0.75 y baja, para valores entre 0 y 0.30. La categorización de este índice permite que las áreas definidas se especialicen en el Mapa de vulnerabilidad así:

Tabla 5.13. Categorización del índice de vulnerabilidad (IV)

Vulnerabilidad	Índice de Vulnerabilidad	Área (ha)	% Área
Alta	0.75 - 1	335,66	0,36
Media	0.30 – 0.75	86.194,59	92,88
Baja	0.0 – 0.30	6.269,23	6,76

De acuerdo al procesamiento anterior, se determinó que el 92,88% de la cuenca presenta índice de vulnerabilidad media, localizado de manera homogénea en los municipios de Ciénaga y Santa Marta; por su parte, las áreas de vulnerabilidad alta corresponden al 0,36% y se ubican principalmente sobre las zonas homogéneas centros poblados. Por último, las áreas con baja vulnerabilidad, representan el 6,76% del territorio ubicadas en el borde oriental de la cuenca.

Figura 5.15. **Índice de Vulnerabilidad**



5.4. *NECESIDADES DE INFORMACIÓN*

Tomando en consideración que los niveles de exposición y vulnerabilidad más altos se concentran en las áreas urbanas (Distrito Turístico, Cultural e Histórico de Santa Marta) o centros poblados (Valle de Gaira, Bonda, Curvalito, Playa Grande, Taganga, La Revuelta, El Trompito, Cañaveral, Tigrera, Minca, Mejico, Calabazo), se debe elaborar un análisis socioeconómico detallado que establezca con precisión los valores de reposición ante la ocurrencia de un evento amenazante.

Para un análisis más detallado de la cuenca hidrográfica río Piedras, río Manzanares y otros Directos al Caribe, es importante contar con una base cartográfica actualizada y sólida que integre los elementos y/o infraestructura vial, socioeconómica, cultural y estratégica para el desarrollo funcional del territorio en ordenación. De igual manera, esta información debe estar asociada a características como: calidad, estado y tipo de uso, a fin de realizar un análisis más detallado de la pérdida y/o daño que se podría generar como consecuencia de la ocurrencia de un evento amenazante.

En el modelo de exposición, se requiere un análisis económico detallado que establezca con precisión los valores de reposición de las áreas dedicadas a la producción agropecuaria. Aunque en el presente análisis se tomaron valores de referencia de acuerdo con la dinámica del territorio en ordenación, pueden existir algunas particularidades, que deberán ser evaluadas con mayor detalle en los escenarios priorizados a intervenir.

Evaluar el estado de las coberturas vegetales que se encuentran protegidas bajo la Ley 2 de 1959, delimitando con mayor precisión la extensión de los ecosistemas con fragilidad alta ante la ocurrencia de un evento amenazante.

5.5. *RECOMENDACIONES FINALES*

La cuenca hidrográfica río Piedras, Manzanares y Otros Directos al Caribe se encuentra conformada por áreas con alta importancia para la prestación de servicios ambientales a saber: Parque Nacional Natural Tayrona, Reserva de la Biosfera y Áreas de Importancia para la Conservación de Aves; por lo cual resulta imperativo generar estrategias que articulen el componente programático del POMCA, con las herramientas y planes de acción definidos para estas áreas.

Para reducir las condiciones de vulnerabilidad de las comunidades asentadas en la cuenca, es importante fortalecer los sistemas de alerta temprana, a fin de reducir los daños y/o pérdidas generados a causa de la ocurrencia de un evento amenazante. Esto requiere de un trabajo mancomunado entre las entidades territoriales y sus comunidades, sustentado en los procesos de gestión del riesgo: conocimiento, reducción del riesgo y manejo de desastres.

Promover campañas de educación para las comunidades y esquemas de capacitación para los planificadores, técnicos y funcionarios de las entidades territoriales, que permitan adquirir el conocimiento necesario para generar estrategias orientadas a la reducción de la vulnerabilidad del territorio en ordenación.

Considerando el atractivo turístico del Distrito Turístico, Cultural e Histórico de Santa Marta y el modelo de ocupación generado en torno a esta dinámica, es importante que las autoridades locales y ambientales aúnen esfuerzos para controlar y evitar la invasión de terrenos categorizados en amenaza alta por avenidas torrenciales, inundaciones o movimientos en masa.

5.6. *CONCLUSIONES*

Cada región suele tener amenazas principales con las cuales se relacionan los grandes daños del pasado. Sin embargo, no se deben olvidar las amenazas que producen daños pequeños, pero repetidos, los cuales a la larga pueden generar pérdidas y daños mayores que las grandes catástrofes.

El índice de exposición o índice de perdida (IP) de la cuenca río Piedras, río Manzanares y Otros Directos al Caribe, fue consolidado y definido en tres categorías así: Alta para los valores IP mayores de 0,5, la cual abarca un 0,94% del total del territorio; Media para los valores entre 0 y 0,5 correspondiendo con el 98,69% del área total de la cuenca y Baja, para valores IP iguales a cero, ocupando un 0,36% del área del territorio.

Los parámetros para la determinación de los índices e indicadores requeridos en el método empleado para la Evaluación de la vulnerabilidad en la cuenca no cambian significativamente y sus valores son los mismos independientemente del fenómeno para el cual se esté analizando la vulnerabilidad.

Las condiciones de vida de las comunidades asentadas en la cuenca objeto de ordenación, reflejan contrastes en la fragilidad antes la ocurrencia de un evento amenazante, debido a que Santa Marta presenta altos valores de ICV (Índice de Calidad de Vida), a comparación del municipio de Ciénaga que se mantiene en un rango medio.

El análisis de la fragilidad física es el resultado de la superposición de los elementos expuestos con las categorías de amenaza alta y media de cada uno de los fenómenos amenazantes analizados; evidenciando que el 0,1% de la superficie total de la cuenca, presenta fragilidad física alta, con mayores afectaciones sobre la ronda hídrica del río Córdoba.

De acuerdo con el procedimiento descrito en el protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en las POMCAS, se determinó que el 92,88% de la cuenca presenta índice de vulnerabilidad media, localizado de manera homogénea en los municipios de Ciénaga y Santa Marta; por su parte, las áreas de vulnerabilidad alta corresponden al 0,36% y se ubican principalmente sobre las zonas homogéneas centros poblados.

6. ANÁLISIS DE RIESGO

6.1. *RESUMEN*

El análisis de Riesgo para la Cuenca Hidrográfica del río Piedras, río Manzanares y Otros Directos al Caribe, parte de la superposición de las condiciones amenazantes para cada uno de los eventos evaluados (Movimientos en Masa, Inundaciones, Avenidas Torrenciales e Incendios Forestales) y los niveles de vulnerabilidad descritos en el numeral anterior; priorizando aquellos escenarios de riesgo con categorías de amenaza Alta y Media e Índice de Vulnerabilidad Alta.

Inicialmente, se describen la configuración de los escenarios de riesgo por movimientos en masa, evidenciando diferencias significativas entre los escenarios sin sismo y con sismo. La zonificación final de la cuenca objeto de ordenación, denota que las categorías de riesgo por movimientos en masa, se presentan en el 19,74% en nivel alto, el 73,57% en nivel medio, el 6,58% en nivel bajo.

En este sentido, el riesgo por inundaciones es predominantemente nulo ocupando el 87,71% del área de la cuenca, y es predominante en todos los dos municipios de la cuenca. Para el caso del riesgo medio se identificó que el 10,28% del territorio presenta esta categoría y las áreas de riesgo alto por inundación ocupan el 1,91% del total de la cuenca, siendo las zonas en cercanías a los ríos Manzanares, Piedras, Gaira, Córdoba y Toribio.

Frente a avenidas torrenciales, el riesgo de la cuenca se presenta en el 6,55% en grado bajo, el 85,74% en grado medio y el 7,66% en grado alto. El riesgo medio, se localiza en las veredas Cantarana, Cordobita, Jolonura, La Reserva, Lourdes, Mamonal y Región Córdoba para el municipio de Ciénaga y en los Corregimientos de Bonda, Guachaca, Minca y Taganga y en las veredas Cañaveral (Agua Fría), Calabazo, Curvalito, El Rodadero, El Trompito, La Revuelta, Las Colinas de Calabazo, Méjico, Minca, Playa Grande, Santa Marta, Taganga, Tigrera, Valle de Gaira del Distrito Turístico de Santa Marta.

Por último, el riesgo frente a incendios forestales, se presenta en el 34,46% en nivel alto, el 59,02% en nivel medio, el 6,52% en nivel bajo. En las zonas donde el riesgo es bajo, predomina la vulnerabilidad baja y las condiciones de amenaza baja, localizado en sectores como Jolonura, Mamonal, Región Córdoba para el municipio de Ciénaga y La Revuelta, corregimientos de Bonda, Guachaca, Minca y Taganga para el Distrito de Santa Marta.

6.2. *INTRODUCCIÓN*

El conocimiento del riesgo se asume como un proceso social, enfocado a la identificación, evaluación y seguimiento de los escenarios de riesgos, acorde a las disposiciones de la ley marco de la gestión del riesgo de desastres en Colombia (Ley 1523 de 2012); el cual, está compuesto a su vez, por 3 procesos: evaluación de amenazas, análisis de vulnerabilidad y definición de los escenarios de riesgos.

En los anteriores capítulos, se describió los insumos, metodología y resultados obtenidos en la evaluación de amenazas y análisis de vulnerabilidad para la cuenca hidrográfica río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe; a continuación se presentan los escenarios de riesgos para cada uno de los eventos amenazantes evaluados en el POMCA.

6.2.1. Alcance

Determinar las áreas con condición de riesgo, utilizando la herramienta de escenarios, estimando los daños y/o afectaciones en la cuenca río Piedras, río Manzanares y Otros Directos al Caribe en relación con la dinámica de los fenómenos amenazantes evaluados (Movimientos en Masa, Inundaciones, Avenidas Torrenciales e Incendios Forestales).

6.2.2. Objetivos

- Identificar los escenarios de riesgos para cada uno de los eventos amenazantes evaluados en el POMCA.
- Localizar y priorizar los escenarios de riesgo de acuerdo con las categorías de amenaza y niveles de vulnerabilidad
- Estimar daños y/o afectaciones sobre la cobertura vegetal y elementos expuestos
- Definir estrategias de mitigación de los escenarios de riesgo priorizados.

6.2.3. Antecedentes

El Riesgo, es el daño potencial que, sobre la población y sus bienes, la infraestructura, el ambiente y la economía pública y privada, pueda causarse por la ocurrencia de amenazas naturales de origen natural, socio-natural o antrópico no intencional, que se extienda más allá de los espacios privados o actividades particulares de las personas y organizaciones y que por su magnitud, velocidad y contingencia hace necesario un proceso de gestión que involucre al Estado y a la sociedad[21.] . El proceso de planificación y ordenación del territorio que conforma la cuenca permite y debe incorporar criterios de reducción de riesgos, especificando condiciones sostenibles y seguras de uso y ocupación, en armonía con los objetivos ambientales, sociales y económicos de la cuenca.

La Gestión del Riesgo, 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 la posterior recuperación, entiéndase: rehabilitación y reconstrucción. Estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y la calidad de vida de las personas y el desarrollo sostenible[20].

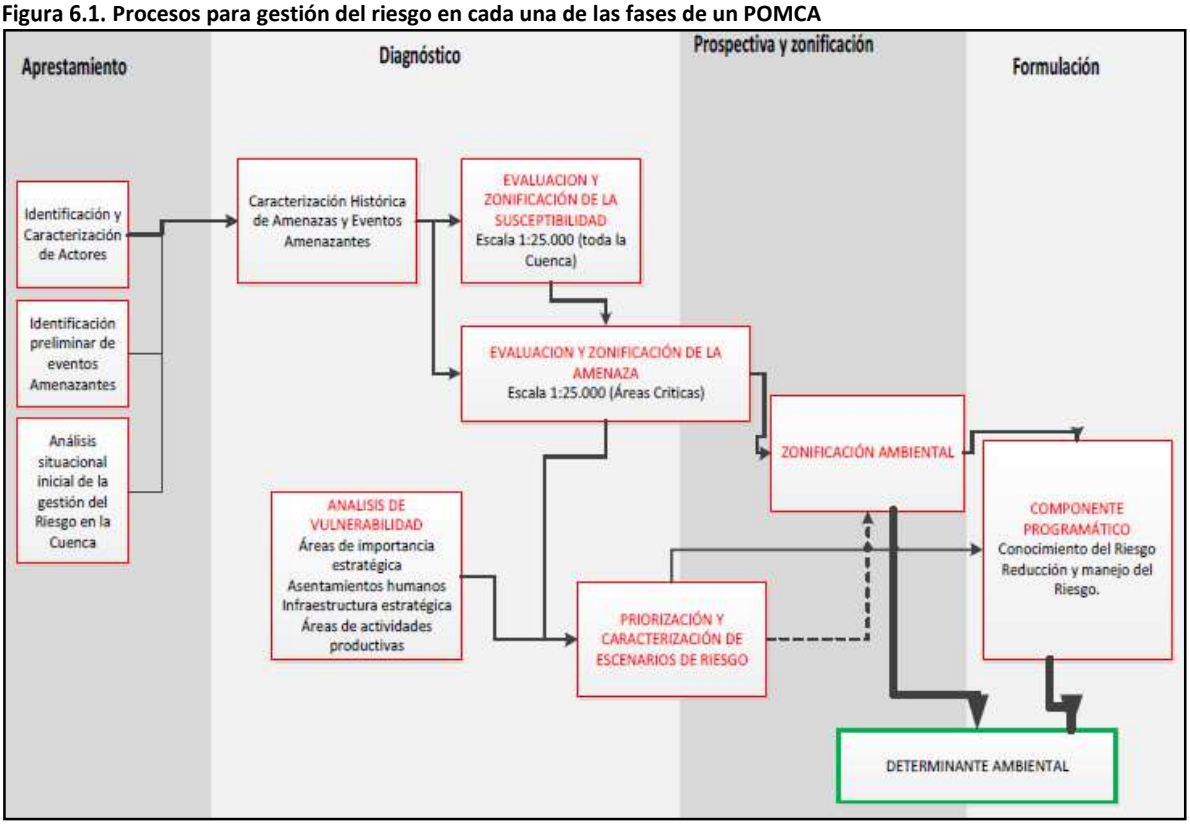
La Ley 1523 de 2012, en su Art. 1 define: “La gestión del riesgo de desastres (…) es un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos y medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y el desarrollo sostenible”.

[21] Metodologías de análisis de Riesgo. Resolución 004/09 del FOPAE. Alcaldía Mayor de Bogotá. 2014

"La gestión del riesgo se constituye en una política de desarrollo indispensable para asegurar la sostenibilidad, la seguridad territorial, los derechos e intereses colectivos, mejorar la calidad de vida de las poblaciones y las comunidades en riesgo y, por lo tanto, está intrínsecamente asociada con la planificación del desarrollo seguro, con la gestión ambiental territorial sostenible, en todos los niveles del gobierno y la efectiva participación de la población ". Parágrafo 1. Art. 1 Ley 1523 de abril de 2012.

Incluir la Gestión del Riesgo en los POMCAS, obedece a la necesidad no solo de aplicar la ley, sino a que las exigencias del riesgo sean consideradas en la planificación de los territorios manera explícita, para evitar pérdidas materiales, humanas y de recursos naturales que conllevan a disminuir la calidad de vida de las poblaciones y a que se amplíe brecha de desequilibrio económico y social, limitando las inversiones en proyectos de desarrollo como infraestructura de vías, centros educativos y de atención en salud y marginando a las comunidades que se ubican en los terrenos que presentan amenazas naturales. La siguiente figura muestra los principales procesos que se desarrollan como soporte para gestión del riesgo en cada una de las fases de un POMCA.

Figura 6.1. Procesos para gestión del riesgo en cada una de las fases de un POMCA



Tomado de: Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en los planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas.

Uno de los objetivos de la Gestión del Riesgo es el conocimiento del riesgo, lo cual permite definir Medidas estructurales para la mitigación de los efectos de los desastres naturales como: códigos de construcción y especificaciones de materiales, reacondicionamiento de las estructuras existentes para que sean más resistentes a fenómenos y la construcción de diques u otros mecanismos protectores; y Medidas no estructurales que se concentran en identificar las zonas propensas a la ocurrencia de fenómenos y en limitar su uso. Algunos ejemplos de estas medidas son: zonificación del uso de la tierra, incentivos tributarios, programas de seguros y reubicación de residentes fuera del área de riesgo.

El conocimiento del riesgo, permite a las autoridades ambientales realizar un proceso de planeación, ejecución y seguimiento a la gestión del riesgo, la cual, se constituye en un proceso compuesto por la identificación de escenarios de riesgo, el análisis y evaluación del riesgo, el monitoreo y seguimiento del riesgo y sus componentes y la comunicación para promover una mayor conciencia del mismo que alimenta los procesos de reducción del riesgo y de manejo de desastre (Ley 1523 de 2012 artículo 4, numeral 7). La reducción del riesgo, implica la intervención dirigida a modificar o disminuir las condiciones de riesgo existentes y a evitar nuevo riesgo en el territorio, entiéndase: prevención del riesgo.

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

6.3. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE RIESGO

El análisis de riesgo se basa en la conciencia de que el riesgo es el resultado de la concurrencia de una amenaza y de la vulnerabilidad de elementos amenazados (elementos expuestos). Por consiguiente, tomando en cuenta esta combinación de factores, el análisis de riesgos apunta a estimar y evaluar las posibles consecuencias de fenómenos naturales en un determinado grupo poblacional y en sus bases de vida. Dicho de otra forma: La evaluación de la amenaza y el análisis de la vulnerabilidad forman parte del análisis de riesgos y deben entenderse como acciones inseparables.

De esta manera, partiendo del conocimiento de que las personas y las bases de vida potencialmente afectadas por un determinado fenómeno natural son vulnerables a éste y sabiendo que, por lo tanto, dicho fenómeno se convierte en una amenaza, el análisis de riesgos estudia los posibles daños[22]. El Análisis de Riesgo tiene por objeto ser el fundamento para la elaboración de los escenarios de riesgos y de las estrategias y programas para la reducción los mismos, siendo este componente integral del POMCA y su implementación contribuye a reducir los riesgos existentes y a no permitir que se generen nuevas condiciones de riesgos en la cuenca.

[22] Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de las Cuencas Hidrográficas POMCAS. Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá. 2014.

Analizar el riesgo implica 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 el 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 los escenarios de riesgo, ya que no es posible realizar una zonificación de riesgos a esta escala.

El Riesgo comprende dos componentes definidas previamente: La primera corresponde a la Amenaza, la cual, para este estudio se estableció a partir del Análisis de susceptibilidad que permitió categorizar e identificar los eventos amenazantes con susceptibilidad media y alta existentes en la cuenca, estos eventos, se definieron espacialmente en zonas críticas, las cuales se analizaron de acuerdo con la información existente y con la escala de trabajo bajo diferentes métodos y herramientas según el evento en estudio, obteniendo categorías o niveles de amenaza alta, media y baja expresados en términos de probabilidad de ocurrencia del evento amenazante (Pf). La segunda componente del riesgo, corresponde a la Vulnerabilidad, la cual se evaluó bajo tres ítems correspondientes a Exposición, Fragilidad y Resilencia, los cuales permitieron obtener por medio del método de análisis de índices e indicadores, el índice de vulnerabilidad (IV) el cual fue categorizado para cada evento como alta, media, y baja.

Teniendo en cuenta la forma como se obtuvo la probabilidad de ocurrencia de la Amenaza (Pf) y el Índice Vulnerabilidad (IV), en el análisis de Riesgo se optó por aplicar el método cualitativo, empleando el SIG para realizar la superposición de la capa de Amenaza para el evento en evaluación y las categorías o niveles de Vulnerabilidad obtenidos a partir de los rangos establecidos para el índice de vulnerabilidad en el evento seleccionado. La superposición de capas permitió la obtención del Índice de Riesgo (IR).

Partiendo de la definición de Riesgo, expuesta en el Protocolo Para la Incorporación de la gestión del riesgo en los planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas como la siguiente igualdad:

$$\boldsymbol{Riesgo = Amenaza * Vulnerabilidad}$$

Que expresada en términos de Indicies e indicadores, permite obtener el Índice de Riesgo (IR):

$$\boldsymbol{IR = Pf * IV}$$

Dónde:
IR = categoría del Riesgo.
Pf = categoría de Amenaza.
IV = categoría de vulnerabilidad.

De acuerdo con el documento de protocolo, en el estudio de cuencas hidrográficas la mayor parte de los valores de los factores de agravamiento se desconocen, por lo tanto, este protocolo propone

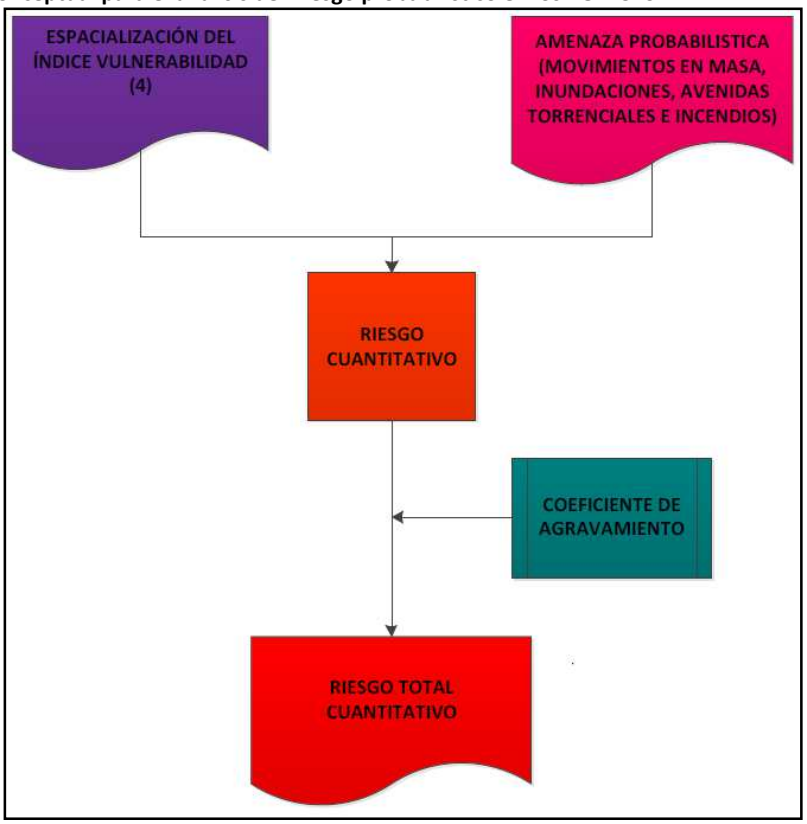
el uso de un factor o coeficiente de agravamiento, que para el caso de inundaciones y avenidas torrenciales es de 1.7 para poder determinar el Índice de Riesgo total (IRt) así:

$$\boldsymbol{IRt = IR * F}$$

Dónde:
IRt = Índice de Riesgo Total
F = Coeficiente de agravamiento

De tal manera, que el cálculo el Riesgo, se define deterministamente de acuerdo con el siguiente mapa conceptual.

Figura 6.2. Mapa conceptual para el análisis del Riesgo probabilístico en los POMCAS



Tomado de: Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en los planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas.

Para clasificar los Niveles de Probabilidad de ocurrencia del evento amenazante, se aplica la siguiente tabla, asignando rangos a los valores obtenidos en porcentaje para la categoría de amenaza (Pf), los cuales se operan en la matriz que permite realizar el cruce entre la Amenaza expresada en categorías de probabilidad, y los niveles del Índice de Vulnerabilidad (IV) para definir los Niveles del Índice de Riesgo (IR).

Tabla 6.1. Categorías de probabilidad de ocurrencia de un evento amenazante

Rango de Probabilidad de ocurrencia del evento amenazante (Pf) %	Categoría
75 - 95	Alta
30 - 75	Media
< 30	Baja

Tabla 6.2. Matriz de categorización para Niveles de índice Riesgo (IR) en el análisis probabilístico.

Niveles de Riesgo total (IR)	Niveles de Vulnerabilidad (IV)		
Probabilidad de Amenaza (Pf)	Alta	Media	Baja
Alta	ALTO	ALTO	MEDIO
Media	ALTO	MEDIO	BAJO
Baja	MEDIO	MEDIO	BAJO

6.4. *RESULTADOS OBTENIDOS*

En este documento se presentan, de acuerdo con el protocolo para la incorporación de la Gestión de riesgo en los POMCA, los resultados para el análisis de amenaza por Inundaciones, movimientos en masa, avenidas torrenciales e Incendios Forestales con la aplicación del método de evaluación determinístico. Con los datos obtenidos para los niveles de amenaza y los niveles de vulnerabilidad calculados a partir de los índices, permite operar en la matriz de categorización los niveles de amenaza frente a los niveles de vulnerabilidad para calcular los niveles de riesgo. Mediante el uso de SIG, al superponer la capa de amenaza para cada uno de los eventos y los niveles de vulnerabilidad clasificados de acuerdo con el índice de vulnerabilidad obtenido en el capítulo anterior se logra general el mapa de riesgos para cada uno de los eventos amenazantes analizados.

6.4.1. Riesgo por movimientos en masa

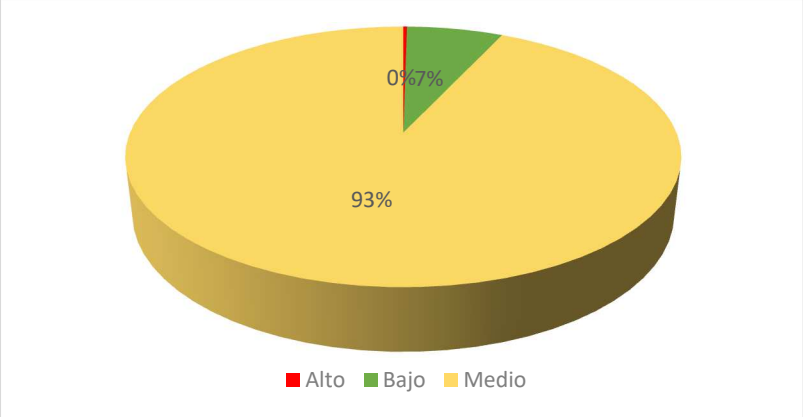
En la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros Directos al Caribe, el riesgo frente a movimientos en masa, se evaluó para los 10 escenarios considerados dentro del análisis de amenaza y para la zonificación final. A continuación, se describen los resultados obtenidos en cada caso, los cuales se presentan en el anexo 20.

De igual manera el análisis de fragilidad y vulnerabilidad para cada escenario amenazante, se encuentra en el anexo 19, del presente volumen.

6.4.1.1. *Escenario 1: Periodo seco sin sismo*

La categoría de riesgo alto, se presenta en un porcentaje bajo (0,26%), principalmente en el borde Noroeste de la cuenca, en cercanías de la cabecera municipal de Santa Marta; la categoría media por su parte ocupa el 93,05% del área y se distribuye de manera homogénea dentro del territorio en ordenación; y, la categoría de riesgo baja, se presenta en el 6,69% de la cuenca y se localiza en el costado este del Distrito de Santa Marta.

Figura 6.3. **Distribución porcentual categorías de riesgo -Escenario 1**



Dentro del categoría baja de riesgo por movimientos en masa las coberturas que predominan con mayor área, son los bosques densos y los bosques fragmentados, los cuales alrededor del 73% del área de la cobertura contenida en esta categoría; en las zonas de riesgo medio por su parte las coberturas predominantes son los bosques y arbustales densos, bosques fragmentados con vegetación secundaria y mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos (Ver Tabla 6.3). Por ultimo, para el caso de las coberturas que se encuentran con mayor área dentro de la categoría de riesgo alto son los bosques y arbustales densos con un 79,03% y los cultivos de café con sombrío con un porcentaje de 11,84% respectivamente.

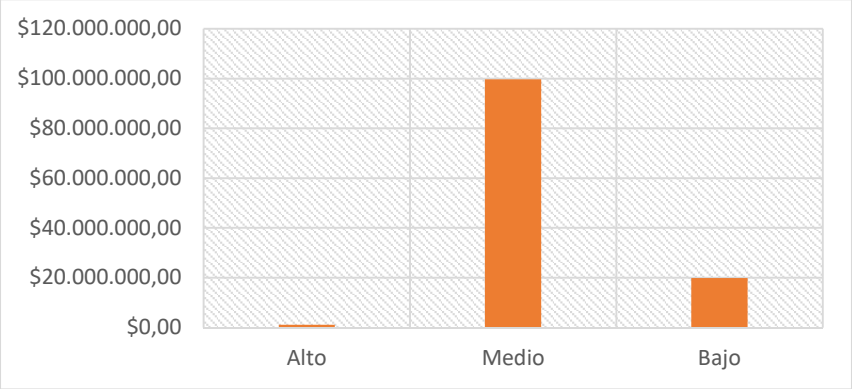
Tabla 6.3. Tipo de cobertura por categoría de riesgo – Escenario 1

Riesgo	Tipo de cobertura	% Área
Alto	Arbustal denso alto	22,90
	Arbustal denso bajo	2,09
	Bosque denso alto de tierra firme	1,33
	Bosque denso bajo de tierra firme	56,13
	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	11,84
	Vegetación secundaria baja	1,42
Medio	Arbustal denso alto	10,63
	Arbustal denso bajo	1,26
	Bosque abierto bajo de tierra firme	2,36
	Bosque denso alto de tierra firme	4,59
	Bosque denso bajo de tierra firme	25,68
	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	2,50
	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	7,56
	Café con sombrío	4,47
	Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos	2,19
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbustivos	1,28
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos	1,06

Riesgo	Tipo de cobertura	% Área
	Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos	7,07
	Pastos arbolados	1,27
	Pastos enmalezados	2,19
	Pastos limpios	4,87
	Tejido urbano continuo	4,04
	Vegetación secundaria alta	2,60
	Vegetación secundaria baja	6,64
Bajo	Afloramientos rocosos	1,73
	Arbustal denso alto	2,73
	Bosque denso alto de tierra firme	29,94
	Bosque denso bajo de tierra firme	16,80
	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	10,46
	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	15,60
	Pastos arbolados	2,13
	Pastos enmalezados	2,54
	Playas	1,85
	Ríos	4,30
	Vegetación secundaria alta	1,62
	Vegetación secundaria baja	6,36

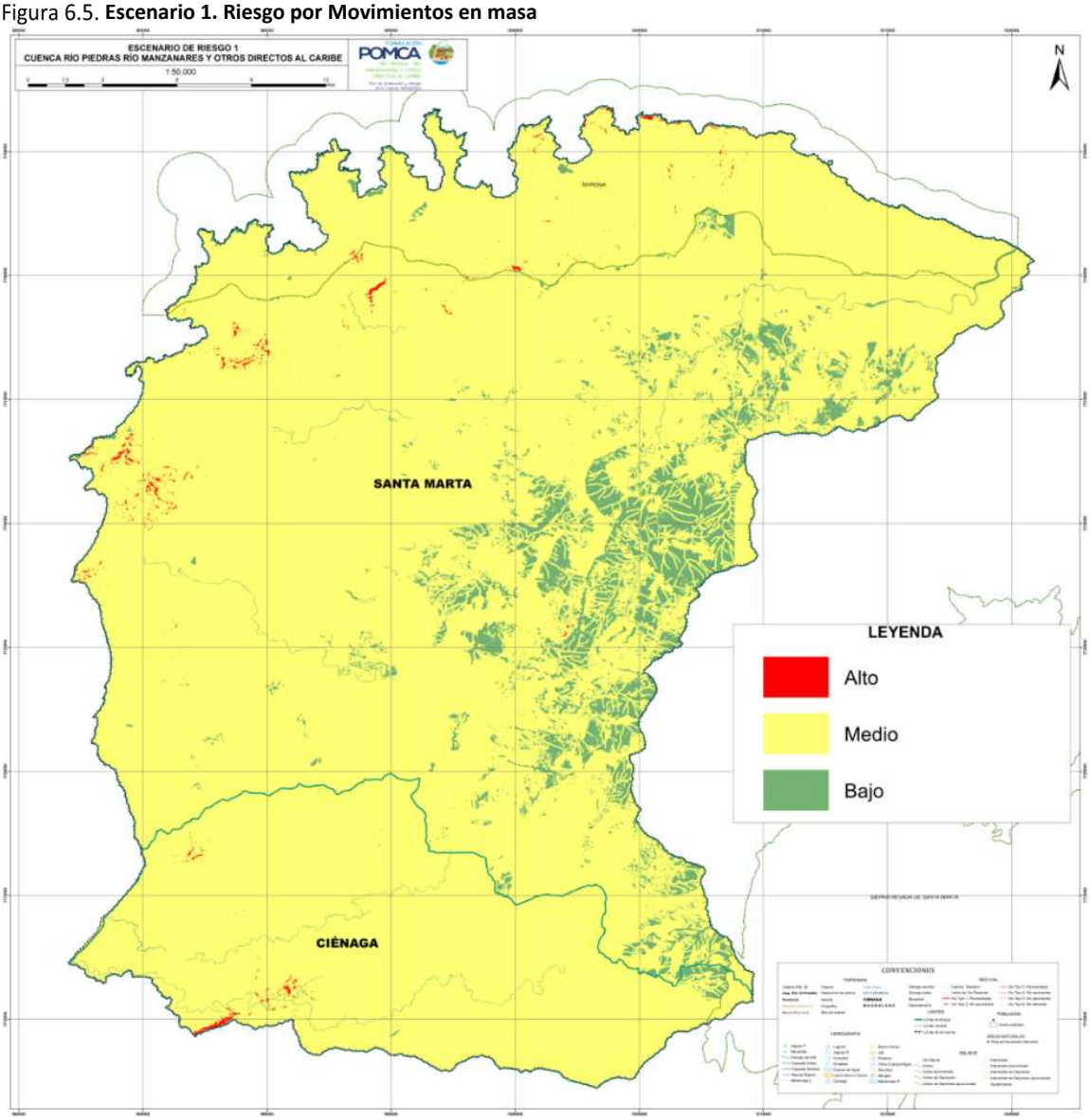
Los daños y afectaciones varían con relación a la extensión de las condiciones de amenaza y vulnerabilidad definidas, presentando diferencias en los valores de reposición; es así como, los costos promedios asociados a las condiciones de riesgo moderado por movimientos en masa alcanzan los $99.662.896,79 millones de pesos, en comparación con los $1.093.927,29 y $19.849.469,49 reportados para las categorías de amenaza alta y baja respectivamente.

Figura 6.4. **Valores de reposición categorías de riesgo por movimientos en masa -Escenario1**



En la Figura 6.5, se presentan los resultados obtenidos para el análisis de riesgo por movimientos en masa para el escenario 1

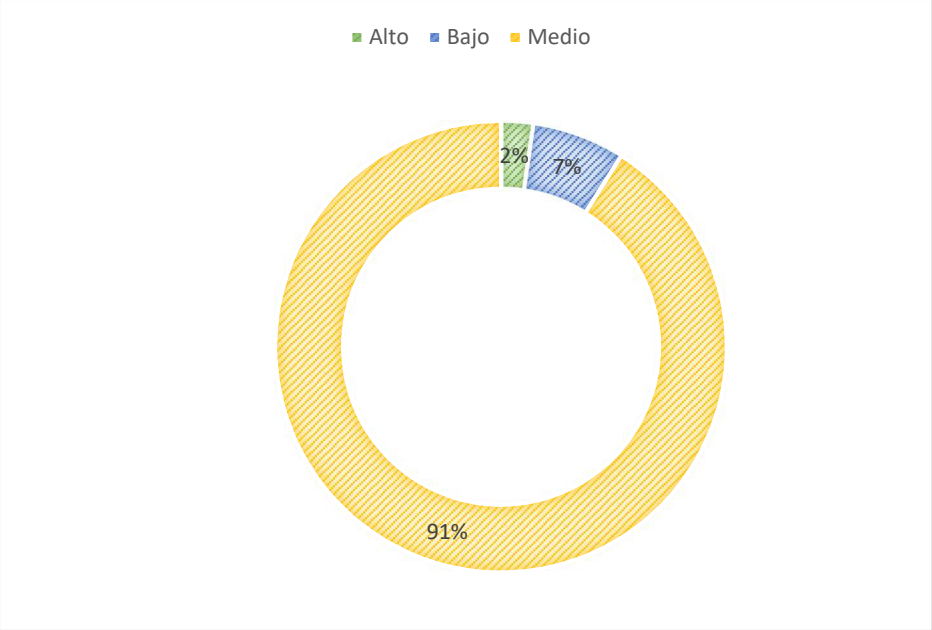
Figura 6.5. **Escenario 1. Riesgo por Movimientos en masa**



6.4.1.2. *Escenario 2: Periodo seco con sismo*

En el escenario 2, la categoría de riesgo alto se incrementó con respecto al escenario anterior, se presenta en el 2,28% de la superficie en ordenación, principalmente en el borde Noroeste de la cuenca, en los corregimientos de Bonda, Minca y Taganga en el municipio de Santa Marta y en la Región Córdoba para el municipio de Ciénaga; la categoría media por su parte ocupa el 91,04% del área y se distribuye de manera homogénea dentro del territorio en ordenación; y, la categoría de riesgo baja, se presenta en el 6,68% de la cuenca y se localiza en el costado este del Distrito de Santa Marta.

Figura 6.6. **Distribución porcentual categorías de riesgo -Escenario 2**



Dentro del categoría baja de riesgo por movimientos en masa, las coberturas que predominan con mayor área, son los bosques densos y los bosques fragmentados, los cuales alrededor del 73% del área de la cobertura contenida en esta categoría; en las zonas de riesgo medio por su parte las coberturas predominantes son los bosques y arbustales densos, bosques fragmentados con vegetación secundaria y vegetación secundaria baja (Ver Tabla 6.4). Por ultimo, para el caso de las coberturas que se encuentran con mayor área dentro de la categoría de riesgo alto son los bosques y arbustales densos con un 76,70% y los bosques fragmentados con vegetación secundaria baja con un porcentaje de 6,53% respectivamente.

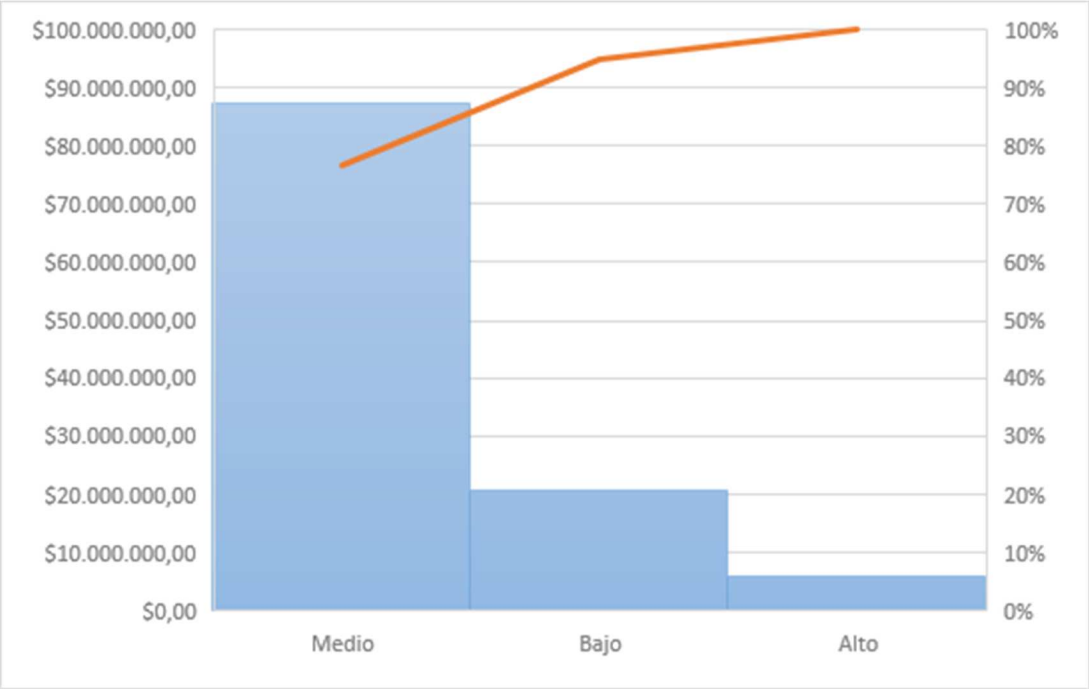
Tabla 6.4. Tipo de cobertura por categoría de riesgo – Escenario 2

Tipo de Cobertura	% Área
Alto	
Arbustal denso alto	22,03
Arbustal denso bajo	2,01
Bosque denso alto de tierra firme	2,93
Bosque denso bajo de tierra firme	54,67
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	1,04
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	6,53
Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos	1,56
Pastos enmalezados	1,38
Vegetación secundaria baja	2,78
Medio	
Arbustal denso alto	10,37
Arbustal denso bajo	1,25
Bosque abierto bajo de tierra firme	2,39

Tipo de Cobertura	% Área
Bosque denso alto de tierra firme	4,62
Bosque denso bajo de tierra firme	25,04
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	2,53
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	7,59
Café con sombrío	4,55
Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos	2,23
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbustivos	1,31
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos	1,09
Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos	7,19
Pastos arbolados	1,29
Pastos enmalezados	2,20
Pastos limpios	4,97
Tejido urbano continuo	4,12
Vegetación secundaria alta	2,64
Vegetación secundaria baja	6,72
Bajo	
Afloramientos rocosos	1,60
Arbustal denso alto	2,73
Bosque denso alto de tierra firme	29,99
Bosque denso bajo de tierra firme	16,83
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	10,47
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	15,62
Pastos arbolados	2,14
Pastos enmalezados	2,54
Playas	1,84
Ríos	4,30
Vegetación secundaria alta	1,62
Vegetación secundaria baja	6,37

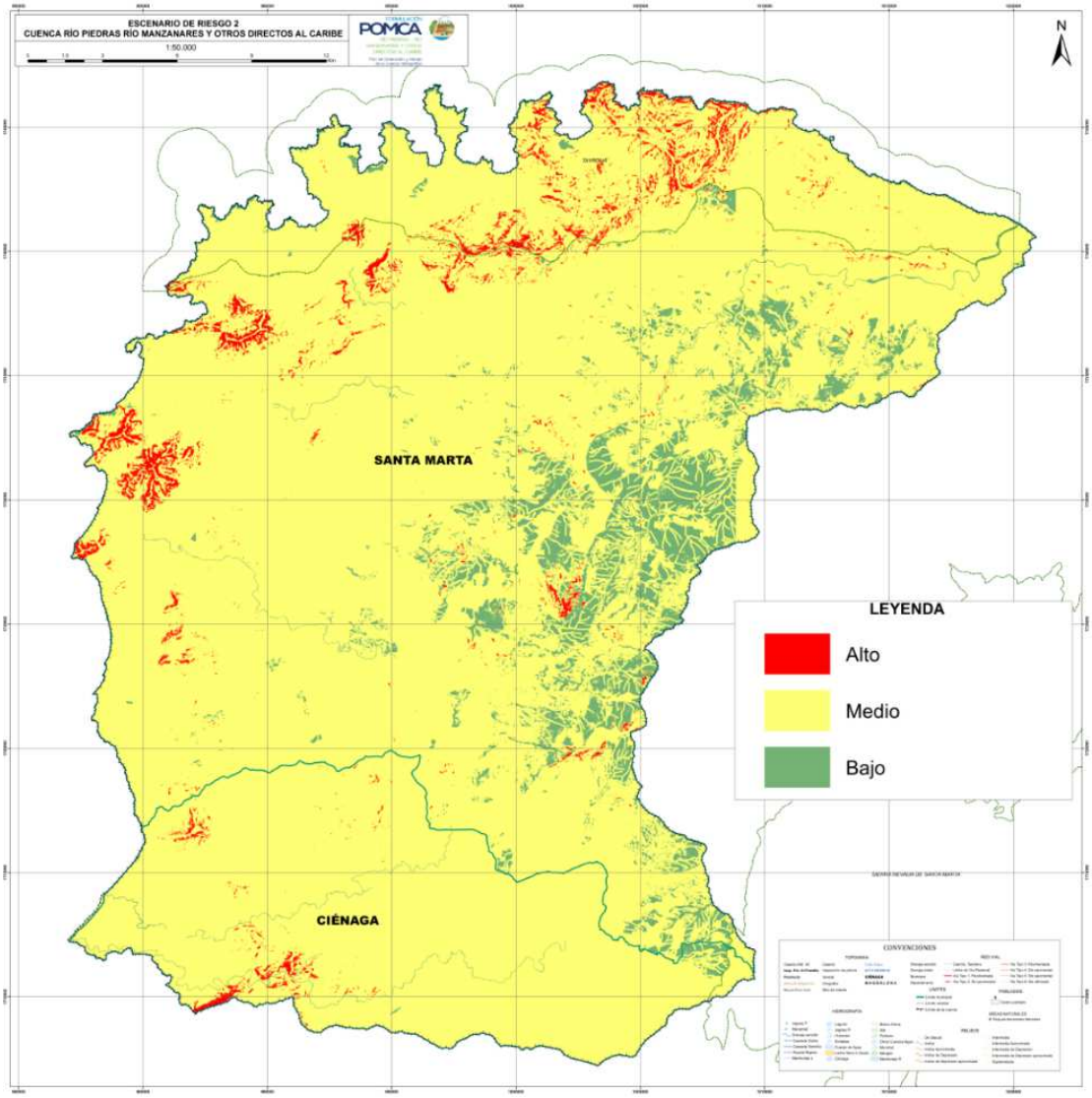
Los daños y afectaciones varían con relación a la extensión de las condiciones de amenaza y vulnerabilidad definidas, presentando diferencias en los valores de reposición; es así como, los costos promedios asociados a las condiciones de riesgo moderado por movimientos en masa alcanzan los $87.396.495,96 millones de pesos, en comparación con los $5.960.470,19 y $20.779.830,63 reportados para las categorías de amenaza alta y baja respectivamente.

Figura 6.7. **Valores de reposición categorías de riesgo por movimientos en masa –Escenario 2**



En la Figura 6.8, se presentan los resultados obtenidos para el análisis de riesgo por movimientos en masa para el escenario 2

Figura 6.8. **Escenario 2. Riesgo por Movimientos en masa**



6.4.1.3. *Escenario 3: Periodo de retorno 2 años sin sismo*

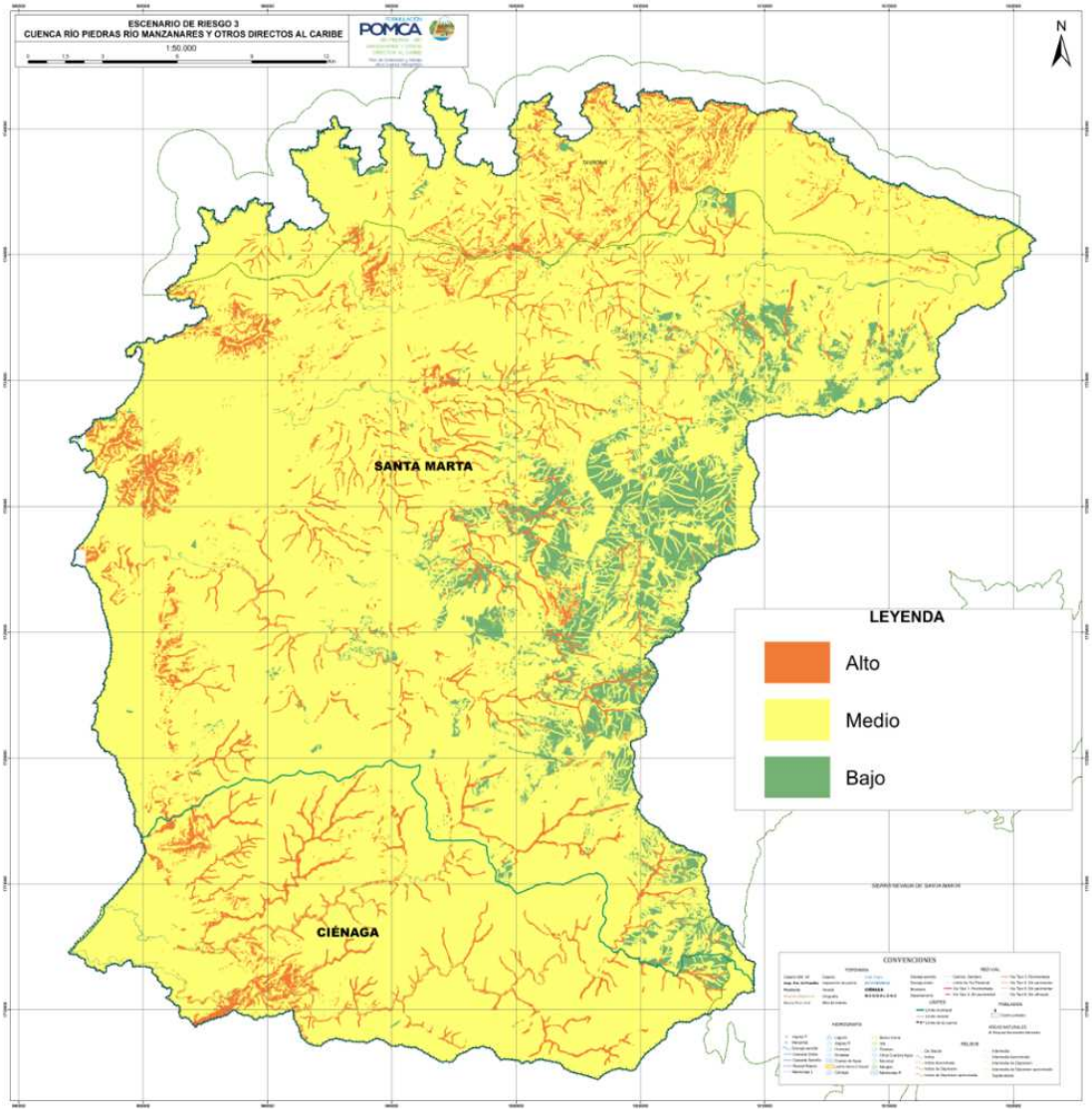
Para la cuenca del Río Piedras, río Manzanares y Otros Directos al Caribe, se tienen que el escenario 3 frente a movimientos en masa, el riesgo se presenta en el 6,62% en grado bajo, el 85,42% en grado medio y el 7,96% en grado alto. En zonas en donde el riesgo es representativamente bajo, predomina las condiciones de amenaza y vulnerabilidad bajas; localizándose en el sector occidental de los corregimientos de Bonda y Minca dentro de la jurisdicción del distrito de Santa Marta. Estas áreas, se caracterizan por presentar coberturas vegetales de bosque denso de tierra firme y bosques fragmentados con vegetación secundaria o pastos y cultivos.

El riesgo medio se presenta con mayor incidencia en zonas donde la categoría de amenaza es baja y el nivel de vulnerabilidad medio, distribuyéndose de manera homogénea en el territorio objeto de

ordenación. En el suelo de esta categoría de riesgo, predominan las coberturas bosque denso bajo de tierra firme, mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos y bosque fragmentado con vegetación secundaria.

Bosque denso bajo de tierra firme, arbustal denso alto y bosque fragmentado con vegetación secundaria, representan las coberturas de la cuenca con una mayor área en categoría de riesgo alto, con el 33,63%, 18,41% y 10,59% respectivamente; estas áreas se encuentran altamente influenciadas por la dinámica fluvial del territorio, evidenciando sectores con condiciones de riesgo significativas, en la parte alta de los afluentes y/o ríos en ordenación.

Figura 6.9. **Escenario 3. Riesgo por Movimientos en masa**



El índice de pérdida de las coberturas vegetales, denota que se presentan mayores afectaciones en los mosaicos de cultivos, café con sombrío, pastos arbolados y enmalezados, exhibiendo valores de pérdida cercanos al 30%, tal como lo muestra la Tabla 6.5. En contraposición, los bosques, Arbustales y vegetación secundaria reportan los índices de pérdida más bajos.

Tabla 6.5. Índice de pérdida de las coberturas vegetales –Escenario 3

Alto		
Tipo de Cobertura	**% Área**	**Índice de pérdida**
Arbustal denso alto	18,41	0,091
Arbustal denso bajo	1,44	0,091
Bosque abierto bajo de tierra firme	2,00	0,091
Bosque de galería y/o ripario alto	1,22	0,094
Bosque denso alto de tierra firme	4,59	0,091
Bosque denso bajo de tierra firme	33,63	0,091
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	3,27	0,091
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	10,59	0,091
Café con sombrío	3,34	0,286
Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos	2,07	0,286
Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos	3,76	0,286
Pastos enmalezados	1,08	0,286
Pastos limpios	1,21	0,286
Vegetación secundaria alta	1,86	0,091
Vegetación secundaria baja	5,75	0,091
Bajo		
Tipo de Cobertura	**% Área**	**Índice de pérdida**
Afloramientos rocosos	1,89	0,091
Arbustal denso alto	2,76	0,091
Bosque denso alto de tierra firme	30,36	0,091
Bosque denso bajo de tierra firme	17,01	0,091
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	10,61	0,091
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	15,78	0,091
Pastos arbolados	2,15	0,286
Pastos enmalezados	2,57	0,286
Playas	1,94	0,091
Ríos	2,79	0,000
vegetación secundaria alta	1,63	0,091
vegetación secundaria baja	6,43	0,091

Medio		
Tipo de Cobertura	**% Área**	**Índice de pérdida**
Arbustal denso alto	9,89	0,091
Arbustal denso bajo	1,25	0,091
Bosque abierto bajo de tierra firme	2,38	0,091
Bosque denso alto de tierra firme	4,57	0,091
Bosque denso bajo de tierra firme	25,01	0,091
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	2,42	0,091
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	7,28	0,091
Café con sombrío	4,56	0,286
Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos	2,19	0,286
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbustivos	1,32	0,286
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos	1,11	0,286
Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos	7,34	0,286
Pastos arbolados	1,34	0,286
Pastos enmalezados	2,28	0,286
Pastos limpios	5,19	0,286
vegetación secundaria alta	2,65	0,091
vegetación secundaria baja	6,70	0,091

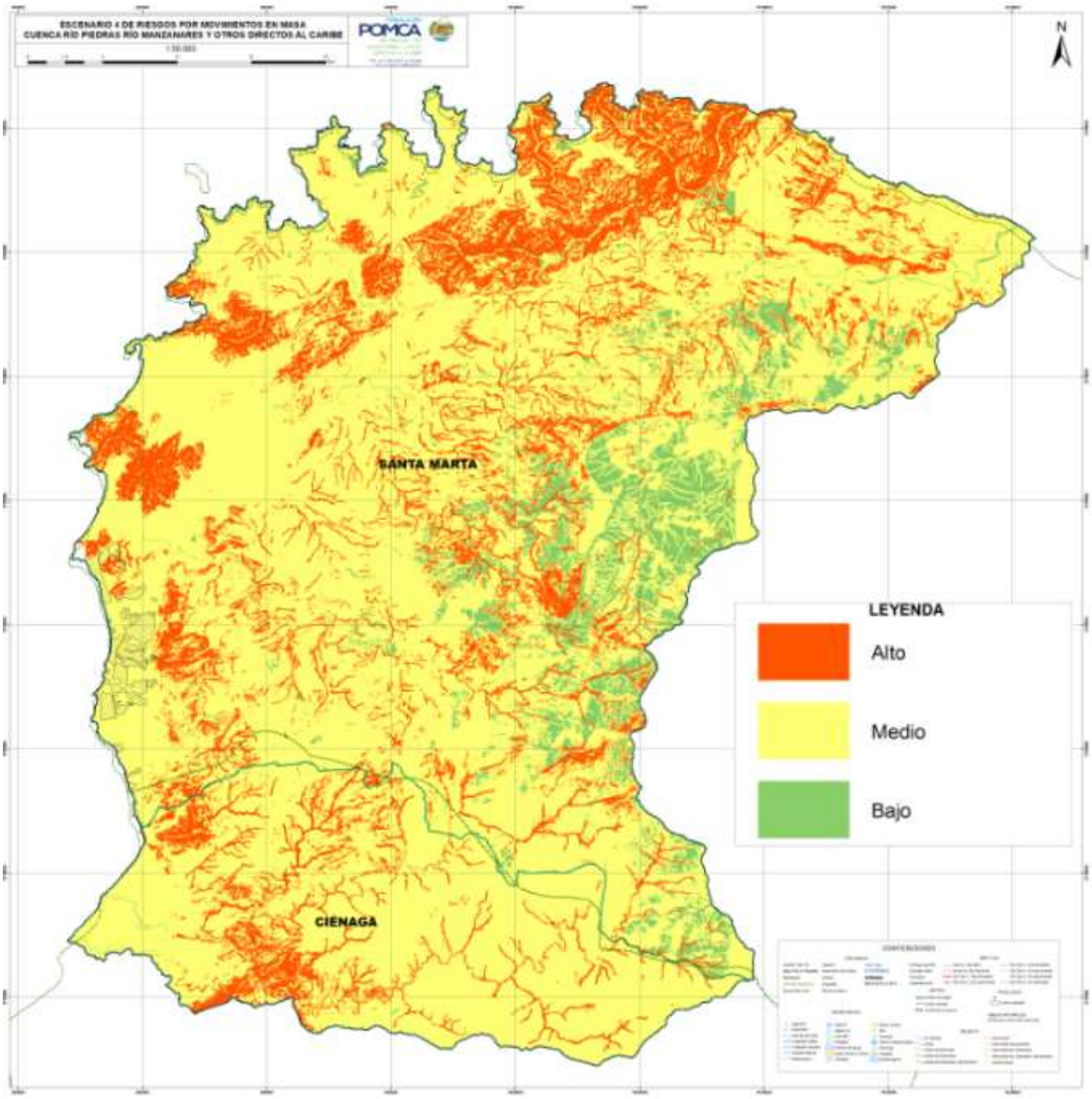
6.4.1.4. *Escenario 4: Periodo de retorno 2 años con sismo*

Para la cuenca del Río Piedras, río Manzanares y Otros Directos al Caribe, se tienen que el escenario 4 frente a movimientos en masa, el riesgo se presenta en el 6,40% en grado bajo, el 75,75% en grado medio y el 17,85% en grado alto. En zonas en donde el riesgo es representativamente bajo, predomina las condiciones de amenaza y vulnerabilidad bajas; localizándose en el sector occidental de los corregimientos de Bonda y Minca dentro de la jurisdicción del distrito de Santa Marta. Estas áreas, se caracterizan por presentar coberturas vegetales de bosque denso de tierra firme y bosques fragmentados con vegetación secundaria o pastos y cultivos.

El riesgo medio se presenta con mayor incidencia en zonas donde la categoría de amenaza es baja y el nivel de vulnerabilidad medio, distribuyéndose de manera homogénea en el territorio objeto de ordenación. En el suelo de esta categoría de riesgo, predominan las coberturas bosque denso bajo de tierra firme, arbustal denso alto, mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos y bosque fragmentado con vegetación secundaria.

Bosque denso bajo de tierra firme, arbustal denso alto y bosque fragmentado con vegetación secundaria, representan las coberturas de la cuenca con una mayor área en categoría de riesgo alto, con el 40,16%, 17,13% y 8,47% respectivamente; estas áreas se concentran en el costado Noroeste de la cuenca, en cercanías del Parque Nacional Natural Tayrona

Figura 6.10. **Escenario 4. Riesgo por Movimientos en masa**



El índice de pérdida de las coberturas vegetales, denota que se presentan mayores afectaciones en los mosaicos de cultivos, café con sombrío, pastos arbolados y enmalezados, exhibiendo valores de pérdida cercanos al 30%, tal como lo muestra la Tabla 6.5. En contraposición, los bosques, Arbustales y vegetación secundaria reportan los índices de pérdida más bajos.

Tabla 6.6. Índice de pérdida de las coberturas vegetales –Escenario 3

Alto		
Tipo de Cobertura	**% Área**	**Índice de pérdida**
Arbustal denso alto	17,13	0,091
Arbustal denso bajo	1,66	0,091
Bosque abierto bajo de tierra firme	2,05	0,091
Bosque denso alto de tierra firme	4,97	0,091
Bosque denso bajo de tierra firme	40,16	0,091
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	2,53	0,091
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	8,47	0,091
Café con sombrío	3,19	0,286
Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos	1,25	0,286
Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos	3,53	0,286
Pastos enmalezados	1,19	0,286
Pastos limpios	1,57	0,286
Vegetación secundaria alta	1,64	0,091
Vegetación secundaria baja	5,25	0,091
Bajo		
Tipo de Cobertura	**% Área**	**Índice de pérdida**
Afloramientos rocosos	1,68	0,091
Arbustal denso alto	2,59	0,091
Bosque denso alto de tierra firme	29,32	0,091
Bosque denso bajo de tierra firme	17,51	0,091
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	10,90	0,091
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	16,04	0,091
Pastos arbolados	2,21	0,286
Pastos enmalezados	2,63	0,286
Playas	1,99	0,091
Ríos	2,78	0,000
vegetación secundaria alta	1,69	0,091
vegetación secundaria baja	6,60	0,091
Medio		
Tipo de Cobertura	**% Área**	**Índice de pérdida**
Arbustal denso alto	9,07	0,091
Arbustal denso bajo	1,17	0,091
Bosque abierto bajo de tierra firme	2,42	0,091
Bosque denso alto de tierra firme	4,64	0,091
Bosque denso bajo de tierra firme	22,28	0,091
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	2,48	0,091
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	7,35	0,091
Café con sombrío	4,74	0,286
Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos	2,39	0,286
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbustivos	1,45	0,286
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos	1,23	0,286
Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos	7,85	0,286

Pastos arbolados	1,44	0,286
Pastos enmalezados	2,41	0,286
Pastos limpios	5,61	0,286
vegetación secundaria alta	2,80	0,091
vegetación secundaria baja	6,92	0,091

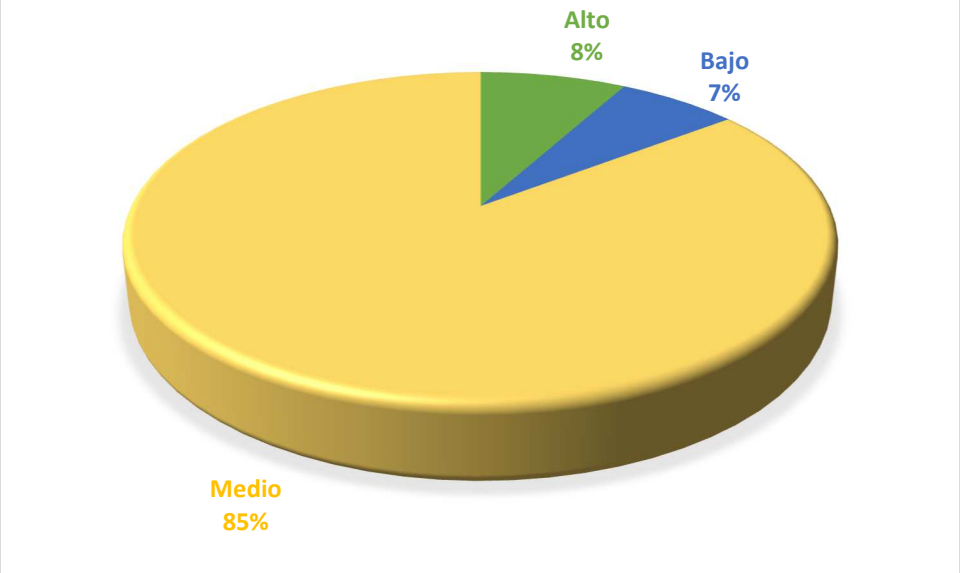
6.4.1.5. *Escenario 5: Periodo de retorno 20 años sin sismo*

De acuerdo con los resultados obtenidos, el escenario de riesgo 5 por movimientos en masa, es predominantemente medio, esto se debe a que la mayor parte de la cuenca presenta un relieve ondulado y montañoso, situación que contribuye a la generación de este tipo de eventos, en este sentido el 85,40% del área de la cuenca, se encuentra dentro de esta categorización, y es predominante en los dos municipios de la cuenca. Este nivel de riesgo se caracteriza por los siguientes niveles de amenaza y vulnerabilidad.

- 0,16% amenaza alta y vulnerabilidad baja
- 7,02% amenaza media y vulnerabilidad media
- 92,42% amenaza baja y vulnerabilidad media
- 0,41% amenaza baja y vulnerabilidad alta

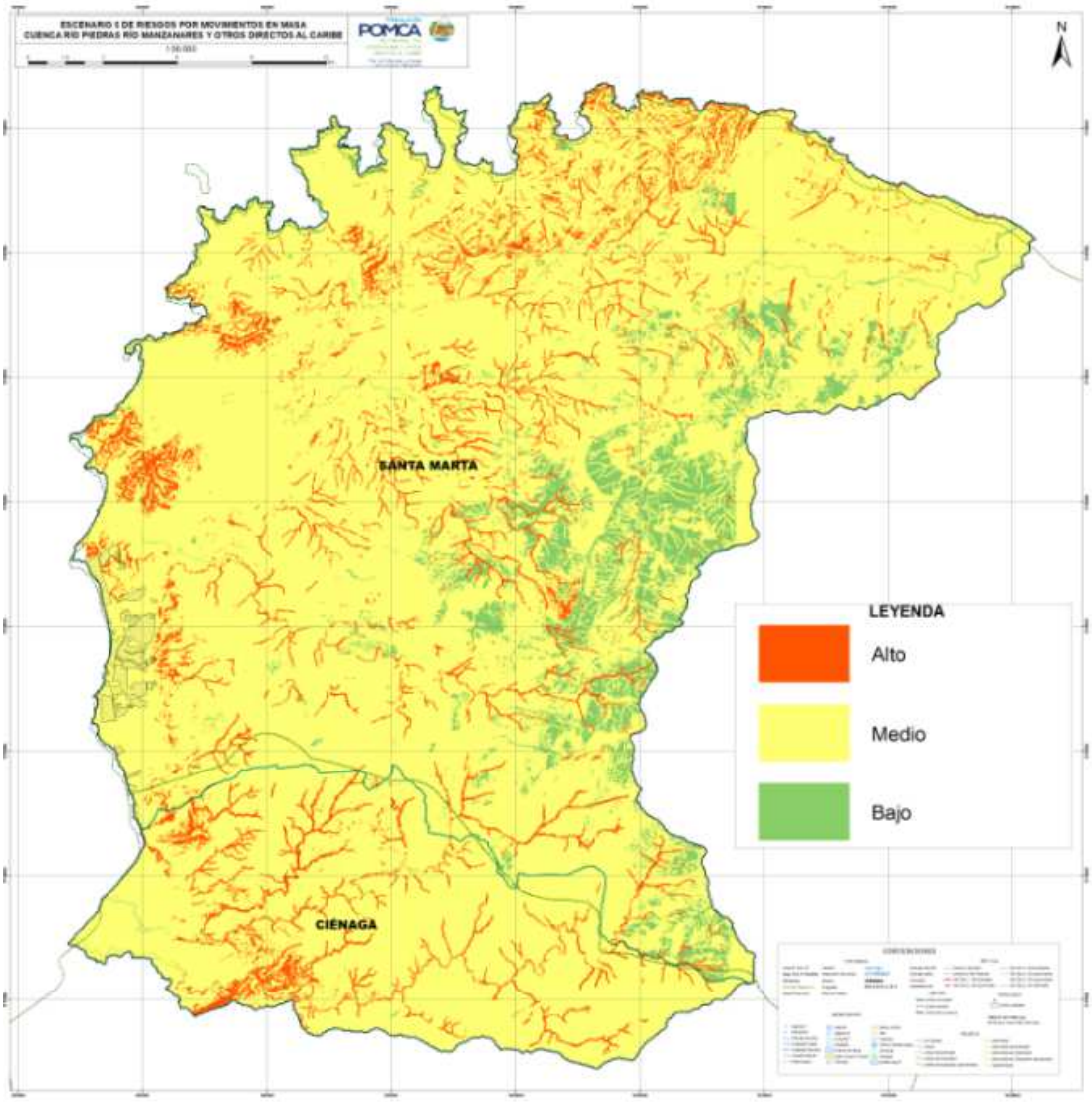
El nivel de riesgo bajo, ocupa el 6,62% del territorio y presenta áreas dominadas por pendientes topográficas ligeramente planas a ligeramente onduladas. El 98,33% de esta categoría, cuenta con niveles de amenaza y vulnerabilidad bajas; el 1,67% restante es el resultado de la combinación de condiciones de amenaza media y vulnerabilidad baja. Este escenario de riesgo se configura en el costado este, en los corregimientos de Bonda y Minca del Distrito Turístico de Santa Marta (ver Figura 6.12).

Figura 6.11. **Distribución porcentual de las categorías del escenario 5**



Los escenarios de riesgo alto, se configuraron como resultado de la combinación de las categorías de amenaza y vulnerabilidad alta y media, su localización geográfica está influenciada por las rondas hídricas de los ríos Manzanares, Piedras, Gaira, Córdoba y Toribio y sus tributarios, afectando el 7,98% de la superficie en ordenación.

Figura 6.12. **Escenario 5: Movimientos en masa**



Dentro del categoría de riesgo alto por movimientos en masa, las coberturas que predominan con mayor área, son los bosques densos bajos de tierra firme, bosques fragmentados con vegetación secundaria, bosques de galería y vegetación secundaria y arbustal denso bajo, los cuales constituyen más del 50% del área de la cobertura contenida en esta categoría; en las zonas de riesgo medio por su parte las coberturas predominantes son bosque denso bajo de tierra firme, mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos y bosque fragmentado con vegetación secundaria. Por último,

para el caso de las coberturas que se encuentran con mayor área dentro de la categoría de riesgo bajo son los bosques densos y bosques fragmentados.

Los daños y afectaciones varían con relación a la extensión de las condiciones de amenaza y vulnerabilidad definidas, presentando diferencias en los valores de reposición; es así como, los costos promedios asociados a las condiciones de riesgo moderado por movimientos en masa alcanzan los $99.662.896,79 millones de pesos, en comparación con los $1.093.927,29 y $19.849.469,49 reportados para las categorías de amenaza alta y baja respectivamente.

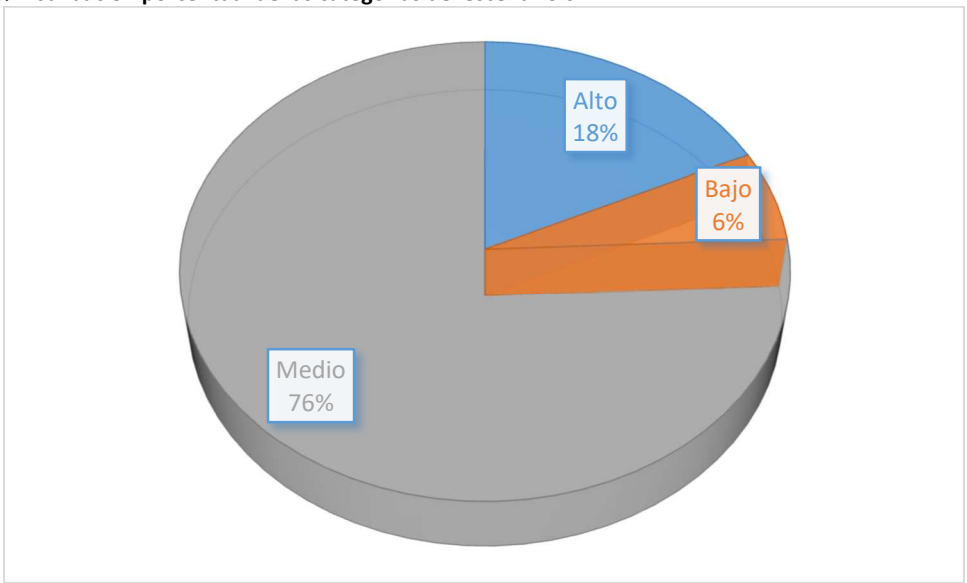
6.4.1.6. *Escenario 6: Periodo de retorno 20 años con sismo*

De acuerdo con los resultados obtenidos, el escenario de riesgo 6 por movimientos en masa, se evidencia mayor extensión de la categoría alta en comparación con el escenario 5, sin embargo el riesgo es predominantemente medio, ocupando el 75,70% del área de la cuenca, y se localiza de manera homogénea en los dos municipios de la cuenca. Este nivel de riesgo se caracteriza por los siguientes niveles de amenaza y vulnerabilidad.

- 0,46% amenaza alta y vulnerabilidad baja
- 18,37% amenaza media y vulnerabilidad media
- 80,71% amenaza baja y vulnerabilidad media
- 0,46% amenaza baja y vulnerabilidad alta

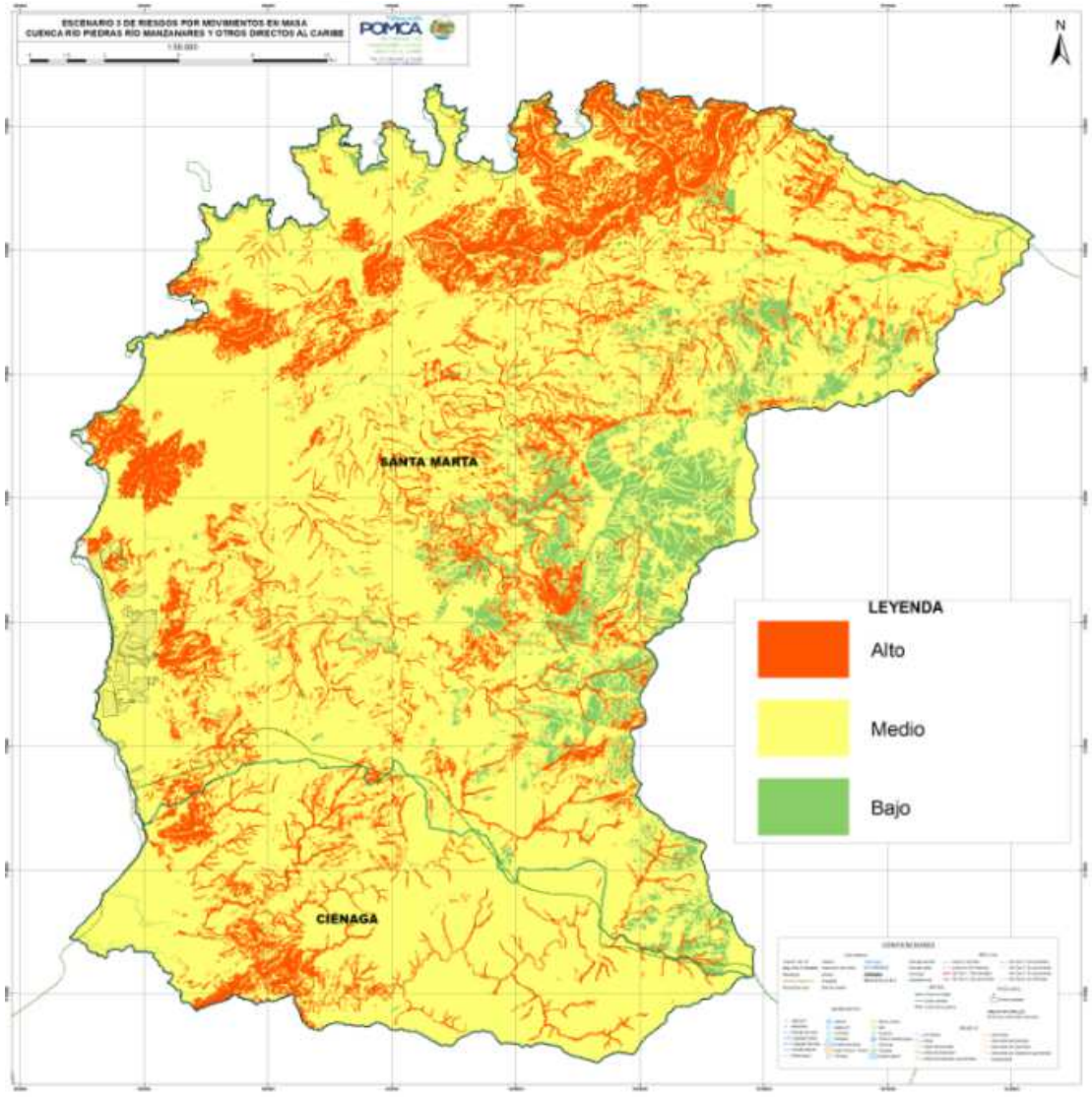
El nivel de riesgo bajo, ocupa el 6,40% del territorio y presenta áreas dominadas por pendientes topográficas ligeramente planas a ligeramente onduladas. El 92,98% de esta categoría, cuenta con niveles de amenaza y vulnerabilidad bajas; el 7,02% restante es el resultado de la combinación de condiciones de amenaza media y vulnerabilidad baja. Este escenario de riesgo se configura en el costado este, en los corregimientos de Bonda y Minca del Distrito Turístico de Santa Marta (ver Figura 6.12).

Figura 6.13. **Distribución porcentual de las categorías del escenario 6**



Los escenarios de riesgo alto, se configuraron como resultado de la combinación de las categorías de amenaza y vulnerabilidad alta y media, su localización geográfica predomina en los costados Este y Norte de la cuenca, afectando el 17,90% de la superficie en ordenación.

Figura 6.14. **Escenario 6: Movimientos en masa**



Dentro del categoría de riesgo alto por movimientos en masa, las coberturas que predominan con mayor área, son los bosques densos bajos de tierra firme, bosques fragmentados con vegetación secundaria, bosques de galería y vegetación secundaria y arbustal denso bajo, los cuales constituyen más del 50% del área de la cobertura contenida en esta categoría; en las zonas de riesgo medio por su parte las coberturas predominantes son bosque fragmentados con pastos y cultivos, arbustal denso alto y mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos. Por último, para el caso de las

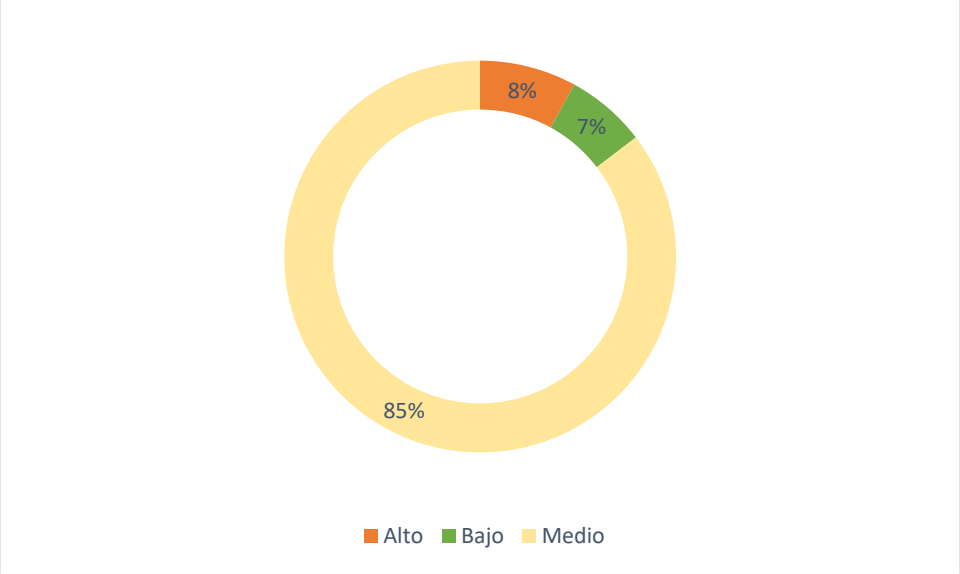
coberturas que se encuentran con mayor área dentro de la categoría de riesgo bajo son los bosques densos y bosques fragmentados.

Los daños y afectaciones varían con relación a la extensión de las condiciones de amenaza y vulnerabilidad definidas, presentando diferencias en los valores de reposición; es así como, los costos promedios asociados a las condiciones de riesgo moderado por movimientos en masa alcanzan los $87.396.495,96 millones de pesos, en comparación con los $5.960.470,19 y $20.779.830,63 reportados para las categorías de amenaza alta y baja respectivamente.

6.4.1.7. *Escenario 7: Periodo de retorno 50 años sin sismo*

La categoría de riesgo alto, se presenta en el 6,61% de la superficie, principalmente en el borde Noroeste de la cuenca, en cercanías de la cabecera municipal de Santa Marta; la categoría media por su parte ocupa el 85,40% del área y se distribuye de manera homogénea dentro del territorio en ordenación; y, la categoría de riesgo baja, se presenta en el 7,98% de la cuenca y se localiza en el costado este de los municipios de Ciénaga y Santa Marta.

Figura 6.15. **Distribución porcentual categorías de riesgo -Escenario 7**



Dentro del categoría baja de riesgo por movimientos en masa las coberturas que predominan con mayor área, son los bosques densos y los bosques fragmentados, los cuales alrededor del 74% del área de la cobertura contenida en esta categoría; en las zonas de riesgo medio por su parte las coberturas predominantes son los bosques y arbustales densos, bosques fragmentados con vegetación secundaria y mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos (Ver Tabla 6.7). Por ultimo, para el caso de las coberturas que se encuentran con mayor área dentro de la categoría de riesgo alto son los bosques y arbustales densos con un 52% y los bosques fragmentados con vegetación secundaria con un porcentaje de 10,59% respectivamente.

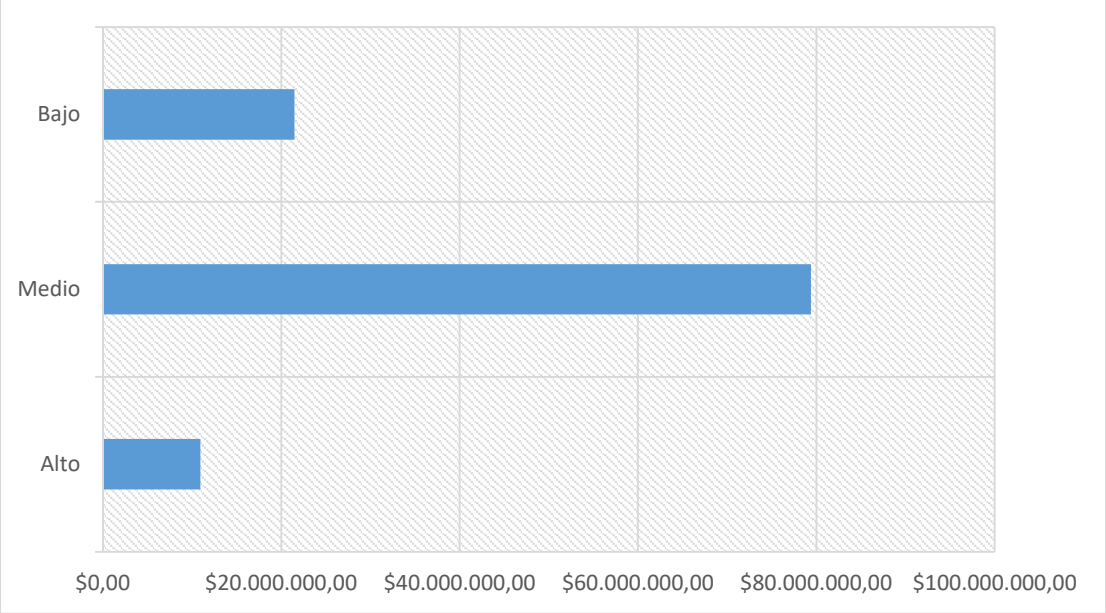
Tabla 6.7. Tipo de cobertura por categoría de riesgo – Escenario 7

Riesgo	Tipo de Cobertura	% Área
Alto	Arbustal denso alto	18,39
	Arbustal denso bajo	1,44
	Bosque abierto bajo de tierra firme	2,00
	Bosque de galeria y/o ripario alto	1,22
	Bosque denso alto de tierra firme	4,60
	Bosque denso bajo de tierra firme	33,61
	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	3,27
	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	10,59
	Café con sombrío	3,33
	Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos	2,07
	Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos	3,77
	Pastos enmalezados	1,08
	Pastos limpios	1,21
	Vegetación secundaria alta	1,88
	Vegetación secundaria baja	5,76
Medio	Áreas Culturales	0,07
	Arbustal denso alto	9,89
	Arbustal denso bajo	1,25
	Bosque abierto bajo de tierra firme	2,38
	Bosque denso alto de tierra firme	4,57
	Bosque denso bajo de tierra firme	25,01
	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	2,42
	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	7,28
	Café con sombrío	4,56
	Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos	2,19
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbustivos	1,32
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos	1,11
	Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos	7,34
	Pastos arbolados	1,34
	Pastos enmalezados	2,28
	Pastos limpios	5,19
	Tejido urbano continuo	4,37
	Vegetación secundaria alta	2,65
	Vegetación secundaria baja	6,70
Bajo	Afloramientos rocosos	1,89
	Arbustal denso alto	2,76

Riesgo	Tipo de Cobertura	% Área
	Bosque denso alto de tierra firme	30,37
	Bosque denso bajo de tierra firme	17,02
	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	10,62
	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	15,79
	Pastos arbolados	2,15
	Pastos enmalezados	2,57
	Playas	1,94
	Ríos	2,77
	Vegetación secundaria alta	1,63
	Vegetación secundaria baja	6,43

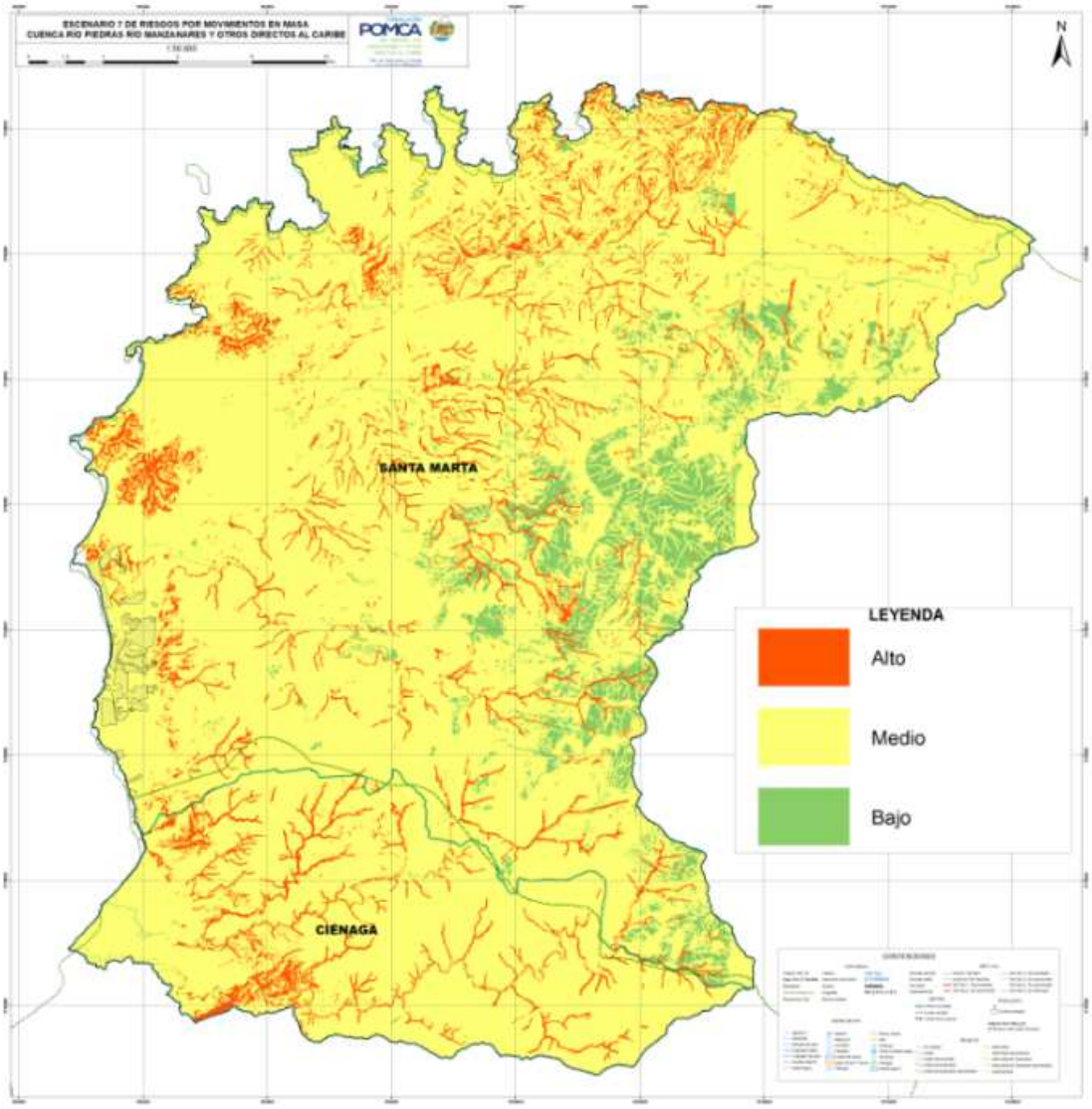
Los daños y afectaciones varían con relación a la extensión de las condiciones de amenaza y vulnerabilidad definidas, presentando diferencias en los valores de reposición; es así como, los costos promedios asociados a las condiciones de riesgo moderado por movimientos en masa alcanzan los $79.413.436,53 millones de pesos, en comparación con los $10.954.042,12 y $21.480.77, 44 reportados para las categorías de amenaza alta y baja respectivamente.

Figura 6.16. **Valores de reposición categorías de riesgo por movimientos en masa –Escenario 7**



En la Figura 6.17, se presentan los resultados obtenidos para el análisis de riesgo por movimientos en masa para el escenario 7

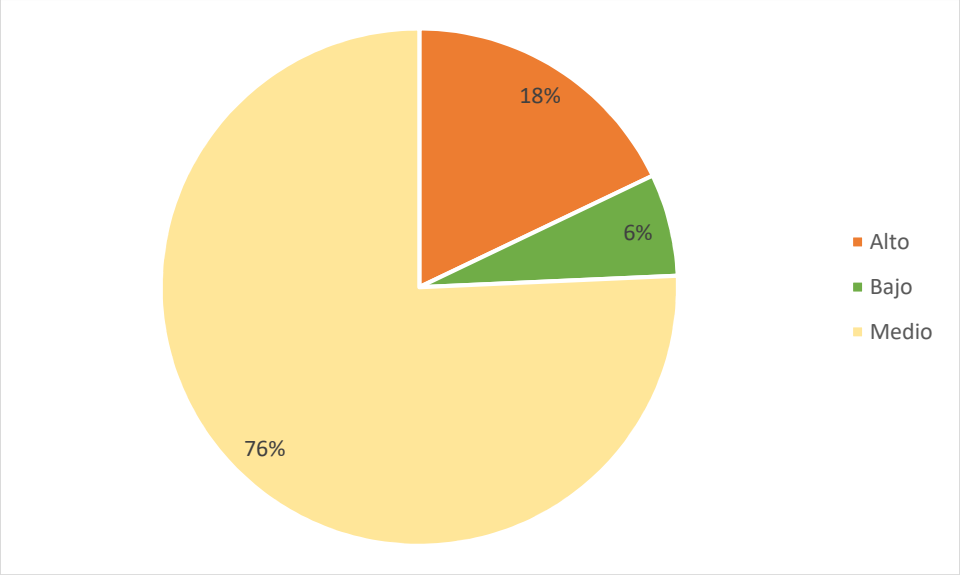
Figura 6.17. **Escenario 7. Riesgo por Movimientos en masa**



6.4.1.8. *Escenario 8: Periodo de retorno 50 años con sismo*

La categoría de riesgo alto, se presenta en el 17,90% de la superficie, principalmente en el borde noerte y este de la cuenca, en los corregimientos de Monca, Bonda y Taganga en el Distrito de Santa Marta y en la región Córdoba del municipio de Ciénaga; la categoría media por su parte ocupa el 75,70% del área y se distribuye de manera homogénea dentro del territorio en ordenación; y, la categoría de riesgo baja, se presenta en el 6,40% de la cuenca y se localiza en el costado este del municipio de Santa Marta

Figura 6.18. **Distribución porcentual categorías de riesgo -Escenario 8**



Dentro del categoría baja de riesgo por movimientos en masa las coberturas que predominan con mayor área, son los bosques densos y los bosques fragmentados, los cuales alrededor del 74% del área de la cobertura contenida en esta categoría; en las zonas de riesgo medio por su parte las coberturas predominantes son los bosques y arbustales densos, bosques fragmentados con vegetación secundaria y mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos (Ver Figura 6.18). Por ultimo, para el caso de las coberturas que se encuentran con mayor área dentro de la categoría de riesgo alto son los bosques y arbustales densos con un 57,16% y los bosques fragmentados con vegetación secundaria con un porcentaje de 8,47% respectivamente.

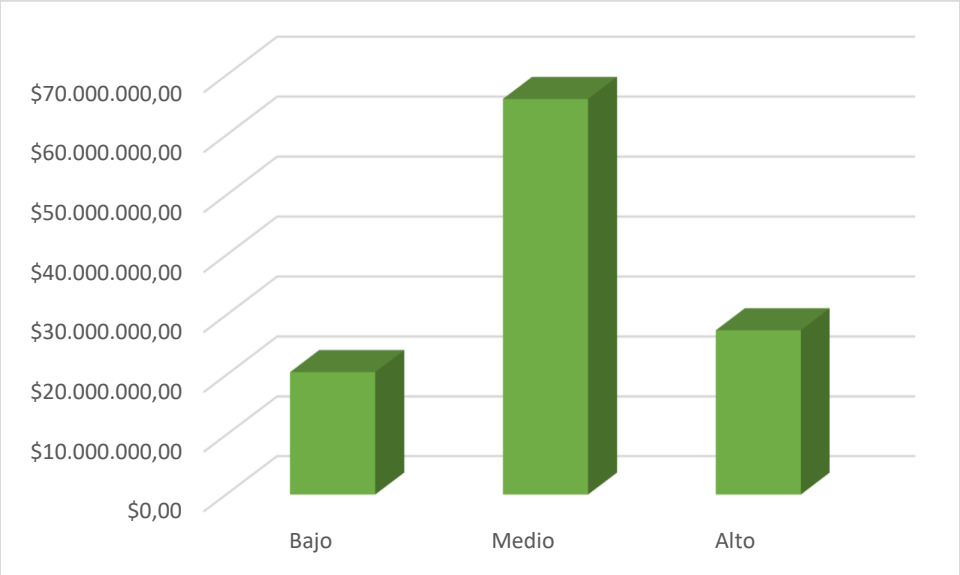
Tabla 6.8. Tipo de cobertura por categoría de riesgo – Escenario 8

Riesgo	Tipo de Cobertura	% Área
Alto	Arbustal denso alto	18,39
	Arbustal denso bajo	1,44
	Bosque abierto bajo de tierra firme	2,00
	Bosque de galeria y/o ripario alto	1,22
	Bosque denso alto de tierra firme	4,60
	Bosque denso bajo de tierra firme	33,61
	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	3,27
	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	10,59
	Café con sombrío	3,33
	Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos	2,07
	Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos	3,77
	Pastos enmalezados	1,08
	Pastos limpios	1,21

Riesgo	Tipo de Cobertura	% Área
	Vegetación secundaria alta	1,88
	Vegetación secundaria baja	5,76
Medio	Áreas Culturales	0,07
	Arbustal denso alto	9,89
	Arbustal denso bajo	1,25
	Bosque abierto bajo de tierra firme	2,38
	Bosque denso alto de tierra firme	4,57
	Bosque denso bajo de tierra firme	25,01
	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	2,42
	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	7,28
	Café con sombrío	4,56
	Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos	2,19
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbustivos	1,32
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos	1,11
	Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos	7,34
	Pastos arbolados	1,34
	Pastos enmalezados	2,28
	Pastos limpios	5,19
	Tejido urbano continuo	4,37
	Vegetación secundaria alta	2,65
	Vegetación secundaria baja	6,70
Bajo	Afloramientos rocosos	1,89
	Arbustal denso alto	2,76
	Bosque denso alto de tierra firme	30,37
	Bosque denso bajo de tierra firme	17,02
	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	10,62
	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	15,79
	Pastos arbolados	2,15
	Pastos enmalezados	2,57
	Playas	1,94
	Ríos	2,77
	Vegetación secundaria alta	1,63
	Vegetación secundaria baja	6,43

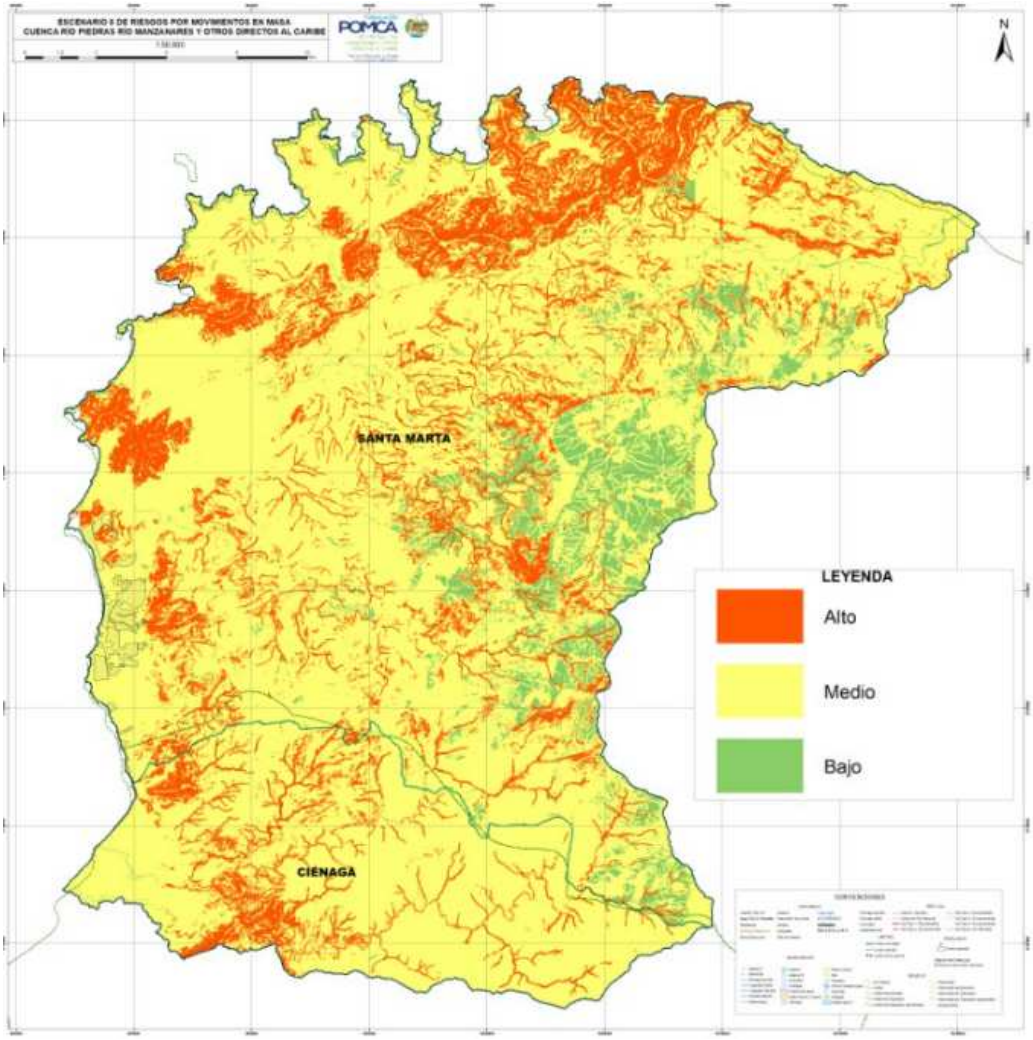
Los daños y afectaciones varían con relación a la extensión de las condiciones de amenaza y vulnerabilidad definidas, presentando diferencias en los valores de reposición; es así como, los costos promedios asociados a las condiciones de riesgo moderado por movimientos en masa alcanzan los $66.060.376,30 millones de pesos, en comparación con los $27.476.954,30 y $20.492.432,10 reportados para las categorías de amenaza alta y baja respectivamente.

Figura 6.19. **Valores de reposición categorías de riesgo por movimientos en masa –Escenario 8**



En la Figura 6.20, se presentan los resultados obtenidos para el análisis de riesgo por movimientos en masa para el escenario 8

Figura 6.20. **Escenario 8. Riesgo por Movimientos en masa**



6.4.1.9. *Escenario 9: Periodo de retorno 100 años sin sismo*

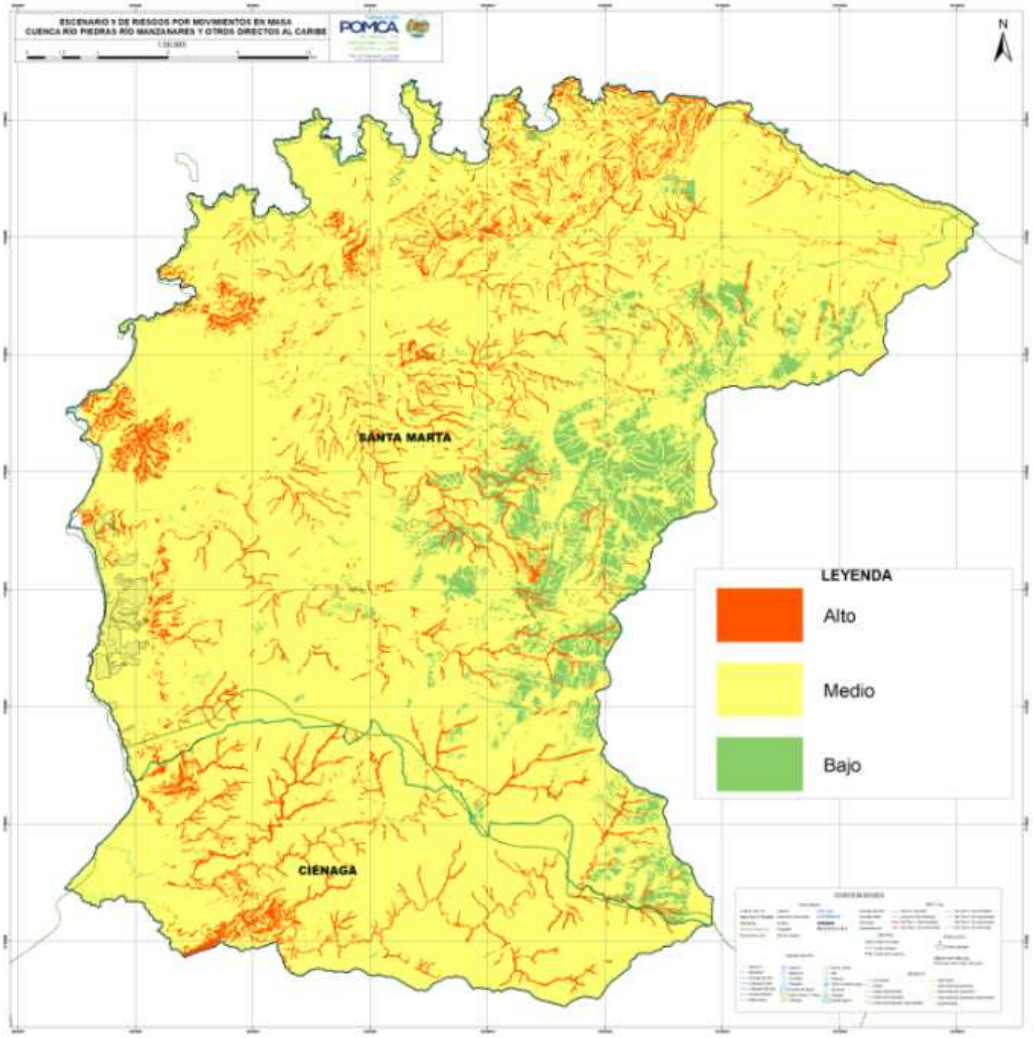
Para la cuenca del Río Piedras, río Manzanares y Otros Directos al Caribe, se tienen que el escenario 9 frente a movimientos en masa, el riesgo se presenta en el 6,61% en grado bajo, el 85,40% en grado medio y el 7,99% en grado alto. En zonas en donde el riesgo es representativamente bajo, predomina las condiciones de amenaza y vulnerabilidad bajas; localizándose en el sector occidental de los corregimientos de Bonda y Minca dentro de la jurisdicción del distrito de Santa Marta. Estas áreas, se caracterizan por presentar coberturas vegetales de bosque denso de tierra firme y bosques fragmentados con vegetación secundaria o pastos y cultivos.

El riesgo medio se presenta con mayor incidencia en zonas donde la categoría de amenaza es baja y el nivel de vulnerabilidad medio, distribuyéndose de manera homogénea en el territorio objeto de ordenación. En el suelo de esta categoría de riesgo, predominan las coberturas bosque denso bajo

de tierra firme, arbustal denso alto, mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos y bosque fragmentado con vegetación secundaria.

Bosque denso bajo de tierra firme, arbustal denso alto y bosque fragmentado con vegetación secundaria, representan las coberturas de la cuenca con una mayor área en categoría de riesgo alto, con el 33,61%, 18,39% y 10,58% respectivamente; estas áreas se encuentran altamente influenciadas por la dinámica fluvial de los ríos y/o afluentes en ordenación.

Figura 6.21. **Escenario 9. Riesgo por Movimientos en masa**



El índice de pérdida de las coberturas vegetales, denota que se presentan mayores afectaciones en los mosaicos de cultivos, café con sombrío, pastos arbolados y enmalezados, exhibiendo valores de pérdida cercanos al 30%, tal como lo muestra la Tabla 6.9. En contraposición, los bosques, Arbustales y vegetación secundaria reportan los índices de pérdida más bajos.

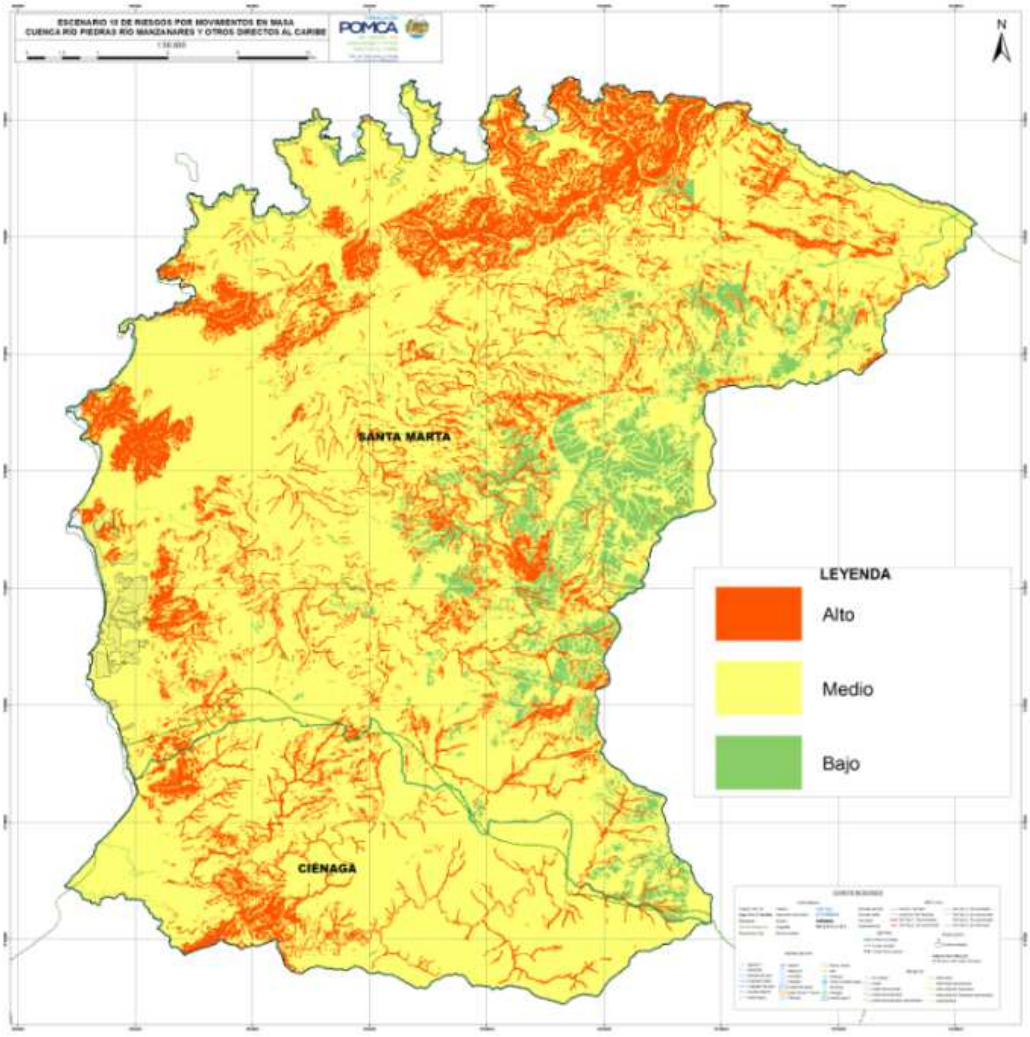
Tabla 6.9. Índice de pérdida de las coberturas vegetales –Escenario 9

Riesgo	Tipo de Cobertura	% Área	Índice de pérdida
Alto	Arbustal denso alto	18,39	0,091
	Arbustal denso bajo	1,44	0,091
	Bosque abierto bajo de tierra firme	2,00	0,091
	Bosque de galería y/o ripario alto	1,21	0,094
	Bosque denso alto de tierra firme	4,60	0,091
	Bosque denso bajo de tierra firme	33,61	0,091
	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	3,27	0,091
	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	10,58	0,091
	Café con sombrío	3,33	0,286
	Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos	2,07	0,286
	Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos	3,77	0,286
	Pastos enmalezados	1,08	0,286
	Pastos limpios	1,21	0,286
	Vegetación secundaria alta	1,88	0,091
	Vegetación secundaria baja	5,76	0,091
Medio	Arbustal denso alto	9,89	0,091
	Arbustal denso bajo	1,25	0,091
	Bosque abierto bajo de tierra firme	2,38	0,091
	Bosque denso alto de tierra firme	4,57	0,091
	Bosque denso bajo de tierra firme	25,01	0,091
	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	2,42	0,091
	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	7,28	0,091
	Café con sombrío	4,56	0,286
	Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos	2,19	0,286
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbustivos	1,32	0,286
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos	1,11	0,286
	Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos	7,34	0,286
	Pastos arbolados	1,34	0,286
	Pastos enmalezados	2,28	0,286
	Pastos limpios	5,19	0,286
	Vegetación secundaria alta	2,65	0,091
	Vegetación secundaria baja	6,70	0,091
Bajo	Afloramientos rocosos	1,89	0,091
	Arbustal denso alto	2,76	0,091
	Bosque denso alto de tierra firme	30,37	0,091
	Bosque denso bajo de tierra firme	17,02	0,091
	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	10,62	0,091
	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	15,79	0,091
	Pastos arbolados	2,15	0,286
	Pastos enmalezados	2,57	0,286
	Playas	1,94	0,091
	Ríos	2,77	0,000
	Vegetación secundaria alta	1,63	0,091
	Vegetación secundaria baja	6,43	0,091

6.4.1.10. *Escenario 10: Periodo de retorno 100 años con sismo*

Para la cuenca del Río Piedras, río Manzanares y Otros Directos al Caribe, se tienen que el escenario 10 frente a movimientos en masa, el riesgo se presenta en el 6,40% en grado bajo, el 75,70% en grado medio y el 17,91% en grado alto. En zonas en donde el riesgo es representativamente bajo, predomina las condiciones de amenaza y vulnerabilidad bajas; localizándose en el sector occidental de los corregimientos de Bonda y Minca dentro de la jurisdicción del distrito de Santa Marta. Estas áreas, se caracterizan por presentar coberturas vegetales de bosque denso de tierra firme y bosques fragmentados con vegetación secundaria o pastos y cultivos.

Figura 6.22. **Escenario 10. Riesgo por Movimientos en masa**



El riesgo medio se presenta con mayor incidencia en zonas donde la categoría de amenaza es baja y el nivel de vulnerabilidad medio, distribuyéndose de manera homogénea en el territorio objeto de ordenación. En el suelo de esta categoría de riesgo, predominan las coberturas bosque denso bajo

de tierra firme, arbustal denso alto, mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos y bosque fragmentado con vegetación secundaria.

Bosque denso bajo de tierra firme, arbustal denso alto y bosque fragmentado con vegetación secundaria, representan las coberturas de la cuenca con una mayor área en categoría de riesgo alto, con el 40,134%, 17,121% y 8,471% respectivamente; estas áreas se encuentran altamente influenciadas por la dinámica fluvial de los ríos y/o afluentes en ordenación.

El índice de pérdida de las coberturas vegetales, denota que se presentan mayores afectaciones en los mosaicos de cultivos, café con sombrío, pastos limpios, arbolados y enmalezados, mosaicos de pastos y cultivos exhibiendo valores de pérdida cercanos al 30%, tal como lo muestra la Tabla 6.10. En contraposición, los bosques, Arbustales, ríos y vegetación secundaria reportan los índices de pérdida más bajos.

Tabla 6.10. Índice de pérdida de las coberturas vegetales –Escenario 10

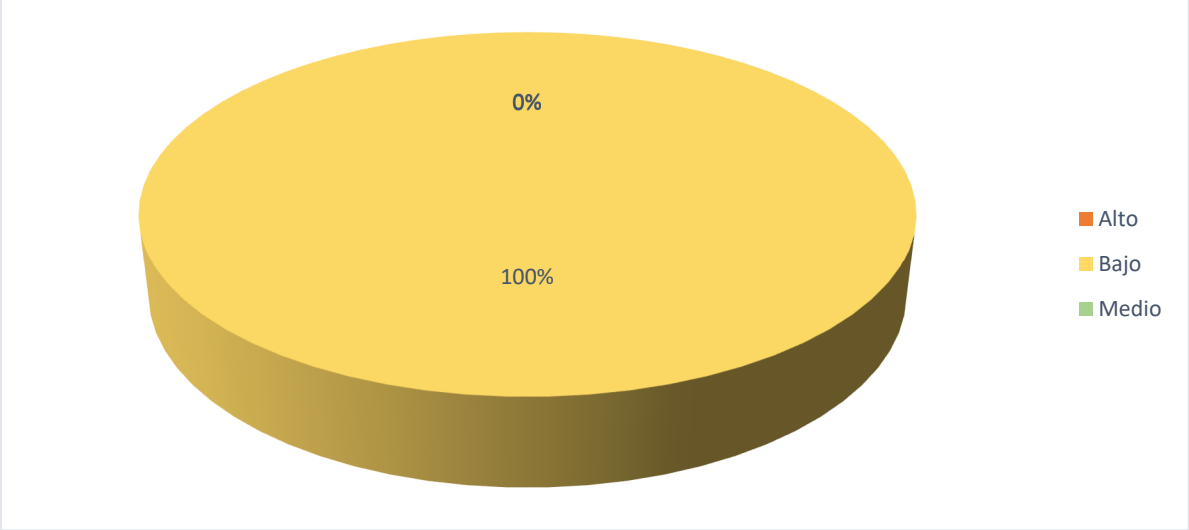
Riesgo	Tipo de Cobertura	% Área	Índice de pérdida
Alto	Arbustal denso alto	17,121	0,091
	Arbustal denso bajo	1,658	0,091
	Bosque abierto bajo de tierra firme	2,063	0,091
	Bosque denso alto de tierra firme	4,982	0,091
	Bosque denso bajo de tierra firme	40,134	0,091
	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	2,531	0,091
	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	8,471	0,091
	Café con sombrío	3,199	0,286
	Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos	1,255	0,286
	Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos	3,535	0,286
	Pastos enmalezados	1,190	0,286
	Pastos limpios	1,570	0,286
	Vegetación secundaria alta	1,646	0,091
	Vegetación secundaria baja	5,255	0,091
Medio	Arbustal denso alto	9,065	0,091
	Arbustal denso bajo	1,171	0,091
	Bosque abierto bajo de tierra firme	2,416	0,091
	Bosque denso alto de tierra firme	4,640	0,091
	Bosque denso bajo de tierra firme	22,273	0,091
	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	2,483	0,091
	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	7,346	0,091
	Café con sombrío	4,736	0,286
	Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos	2,392	0,286
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbustivos	1,454	0,286
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos	1,228	0,286
	Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos	7,848	0,286
	Pastos arbolados	1,441	0,286
	Pastos enmalezados	2,410	0,286

Riesgo	Tipo de Cobertura	% Área	Índice de pérdida
	Pastos limpios	5,614	0,286
	Vegetación secundaria alta	2,801	0,091
	Vegetación secundaria baja	6,922	0,091
Bajo	Afloramientos rocosos	1,679	0,091
	Arbustal denso alto	2,591	0,091
	Bosque denso alto de tierra firme	29,311	0,091
	Bosque denso bajo de tierra firme	17,518	0,091
	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	10,904	0,091
	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	16,047	0,091
	Pastos arbolados	2,212	0,286
	Pastos enmalezados	2,633	0,286
	Playas	1,995	0,091
	Ríos	2,772	0,000
	Vegetación secundaria alta	1,689	0,091
	Vegetación secundaria baja	6,604	0,091

6.4.1.11. *Zonificación final*

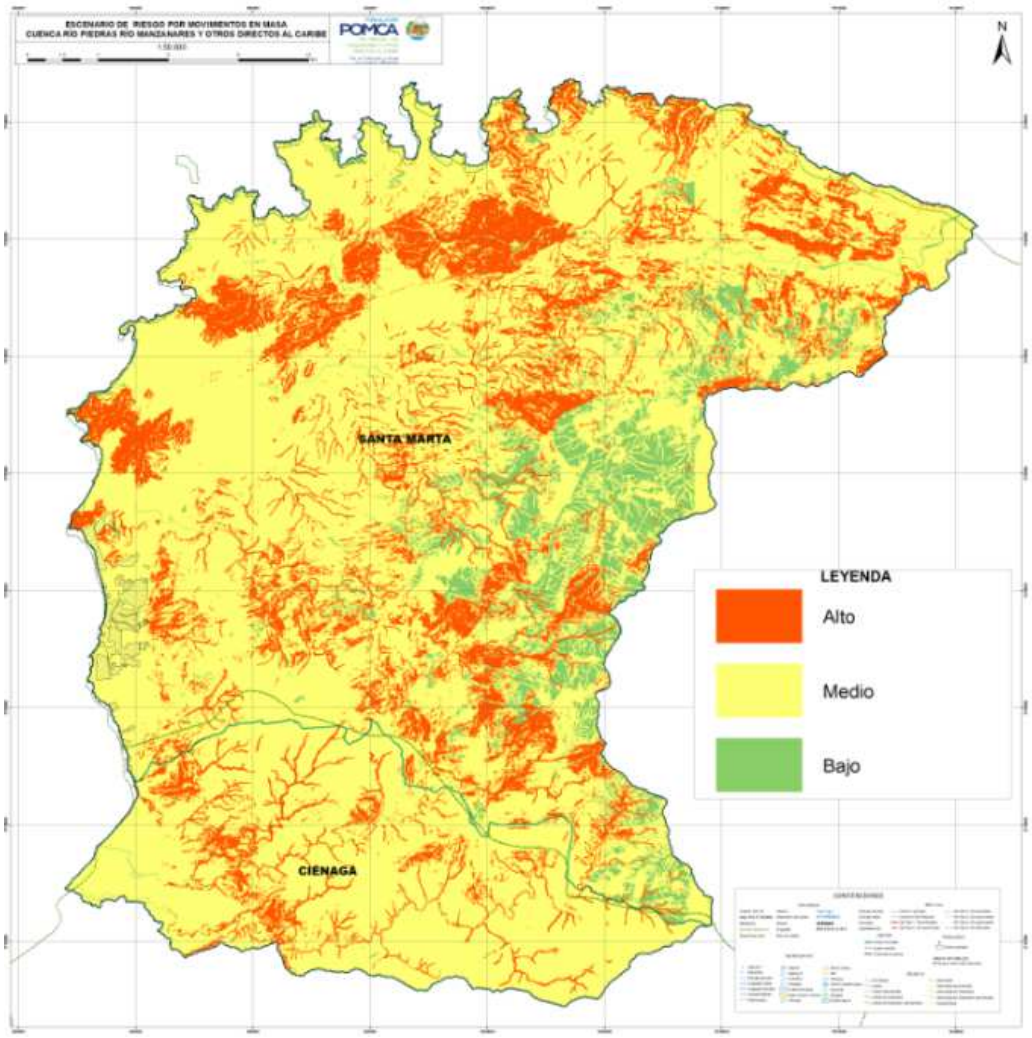
El riesgo final por movimientos en masa, se presenta en el 19,74% en nivel alto, el 73,57% en nivel medio, el 6,58% en nivel bajo (ver Figura 6.23). En las zonas donde el riesgo es bajo, predomina la vulnerabilidad baja y las condiciones de amenaza baja, siendo característico de las áreas con factores de seguridad con valores superiores a 1.5.

Figura 6.23. **Distribución porcentual del escenario de riesgo por movimientos en masa**



En la Figura 6.24 se presenta el resultado del análisis de riesgo por movimientos en masa, donde se puede ver de manera mucho más clara, las zonas de interés para este tipo de evento.

Figura 6.24. **Riesgo por movimientos en masa**



Los escenarios de riesgo alto, se configuraron como resultado de la combinación de las categorías de amenaza y vulnerabilidad alta y media, su localización geográfica evidencia mayor extensión de este nivel de riesgo, sectores en Cañaveral (Agua Fría), Calabazo, Curvalito, El Trompito, La Revuelta, Las Colinas de Calabazo, Méjico, Playa Grande, Tigrera, Valle de Gaira y los corregimientos de Bonda, Guachaca, Minca y Taganga para el distrito de Santa marta y en Cantarana, Jolonura, La Reserva, Lourdes, Mamonal y Región Córdoba dentro del municipio de Ciénaga.

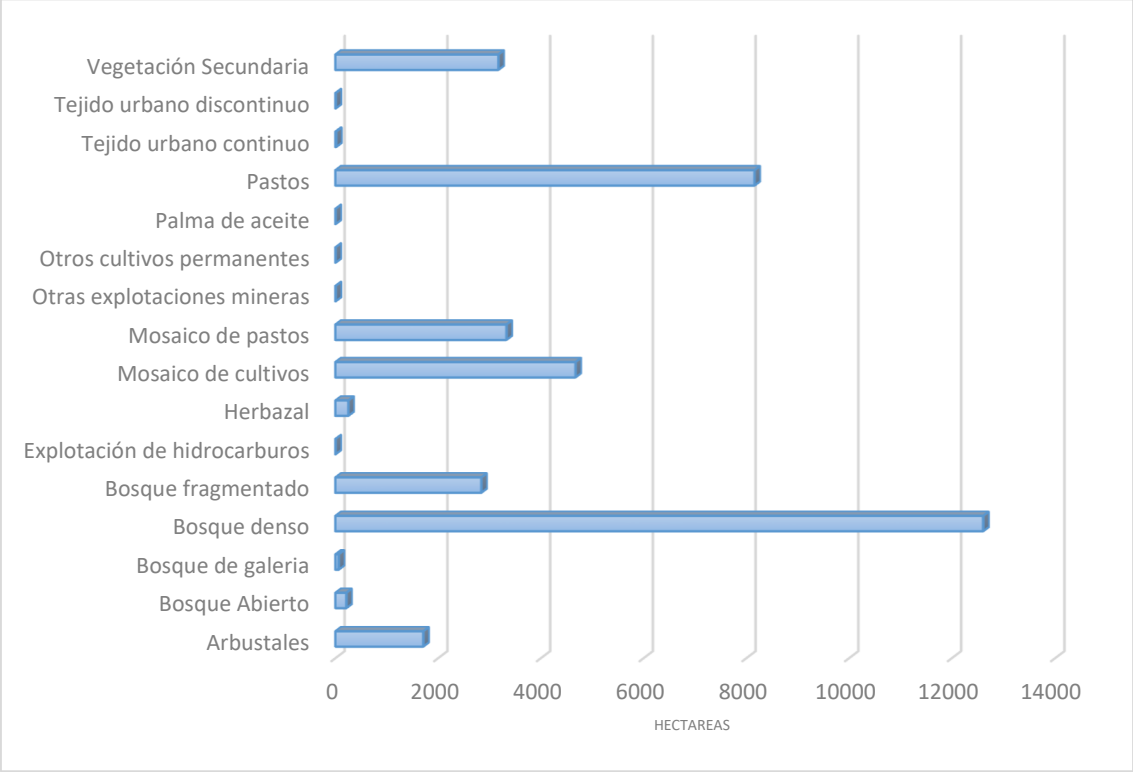
La categoría de riesgo medio, se presenta en los corregimientos de Bonda, Guachaca, Minca y Taganga y en las veredas de Cañaveral (Agua Fría), Calabazo, Curvalito, El Rodadero, El Trompito, La Revuelta, Las Colinas de Calabazo, Méjico, Playa Grande, Taganga, Tigrera y Valle de Gaira en jurisdicción del distrito de Santa Marta. Por su parte, en el municipio de Ciénaga, este nivel de riesgo, se extiende en Cantarana, Cordobita, Jolonura, La Reserva, Lourdes, Mamonal y Región Córdoba. Esta categoría de riesgo se caracteriza por las siguientes condiciones de amenaza y vulnerabilidad.

- 0,21% amenaza alta y vulnerabilidad baja
- 25,64% amenaza media y vulnerabilidad media
- 73,68% amenaza baja y vulnerabilidad media
- 0,47% amenaza baja y vulnerabilidad alta

El nivel de riesgo bajo, presenta áreas dominadas por pendientes topográficas ligeramente planas y unidades geomorfológicas con procesos morfodinámicos asociados a desbordamientos. El 98,91% de esta categoría, cuenta con niveles de amenaza y vulnerabilidad bajas; el 1,09% restante es el resultado de la combinación de condiciones de amenaza media y vulnerabilidad baja. En el municipio de Ciénaga, esta categoría de riesgo, se presenta en algunos sectores de Jolonura, Mamonal y Región Córdoba; por su parte, para el distrito de Santa Marta este riesgo se localiza en Cañaveral (Agua Fría), El Trompito, La Revuelta y en los corregimientos de Bonda, Guachaca, Minca y Taganga.

Los mayores niveles de daño y/o afectación se presenta en las coberturas vegetales asociadas a bosques densos, pastos y mosaico de cultivos (Ver Figura 6.25) ; situación que impacta directamente la capacidad económica de los habitantes de la cuenca, reduciendo las condiciones de vida de los mismos.

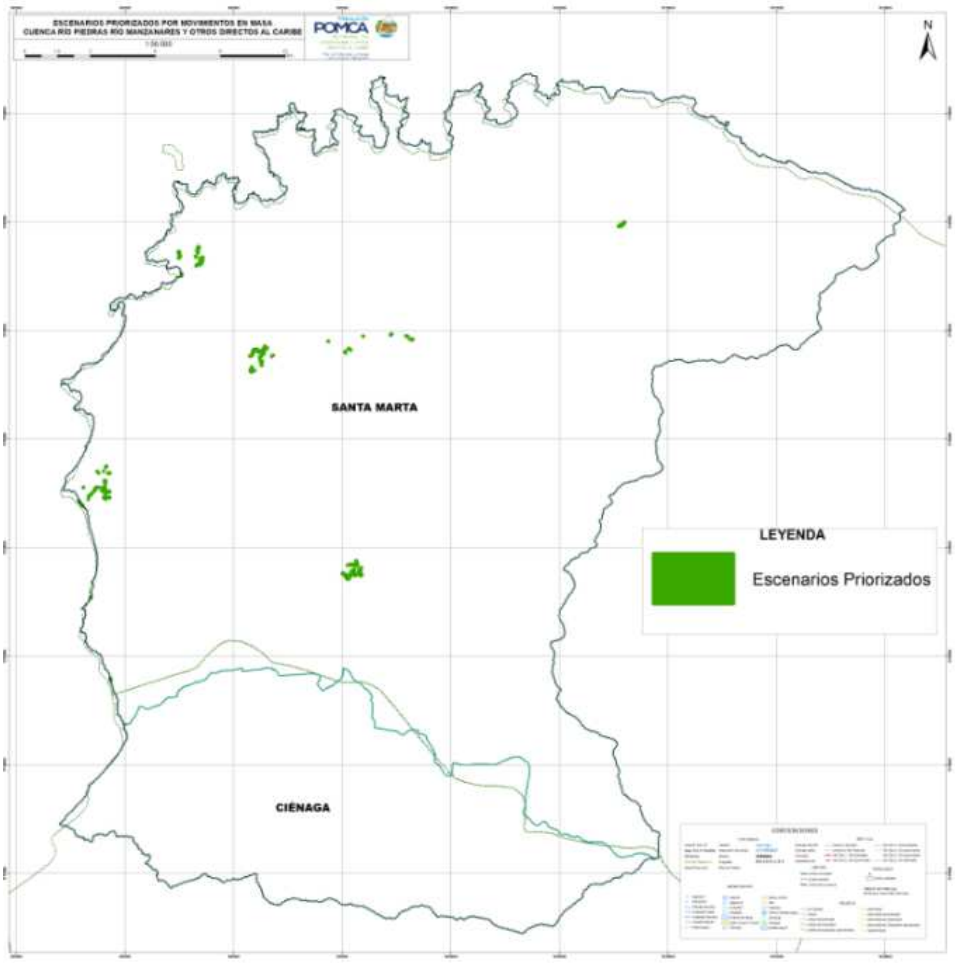
Figura 6.25. Extensión de la cobertura (ha) afectada por la ocurrencia de movimientos en masa



De acuerdo con los alcances técnicos del POMCA, los escenarios de riesgo a priorizar deben considerar las categorias de amenaza media y alta para condiciones de vulnerabilidad alta; para la

cuenca hidrográfica objeto de ordenación, los escenarios priorizados por movimientos en masa, ocupan el 0,09% del área total del territorio en ordenación y se localizan en los corregimientos de Bonda, Minca y Tanganga dentro de la jurisdicción del municipio de Santa Marta. (ver Figura 6.26)

Figura 6.26. Escenario de riesgo priorizado por movimientos en masa



Los principales daños y/afectaciones en los escenarios de riesgo priorizados, se presentan en los elementos de tipo lineal y puntual; en el primer caso, las vías y cercas, presentan mayor vulnerabilidad, comprometiendo 0,68 y 0.026 km respectivamente (Ver Tabla 6.11). Por otra parte, los elementos puntuales se agrupan en dos categorías: Puente vehicular y otras construcciones[23]; siendo esta última la que presenta mayor número de instalaciones afectadas; debido a la incidencia de los centros poblados.

[23] Dentro de la categoría de otras construcciones, se incluyeron las siguientes infraestructuras: cementerio, hotel, iglesia, industria, instalación minera, seguridad, sitio de interés y tanque.

Tabla 6.11. Estimación daños en los elementos expuestos lineales -Riesgo por movimientos en masa

Elemento	Km
Cerca	0,026
Gasoductos	0,019
Vía Férrea	0,009
Vías	0,68

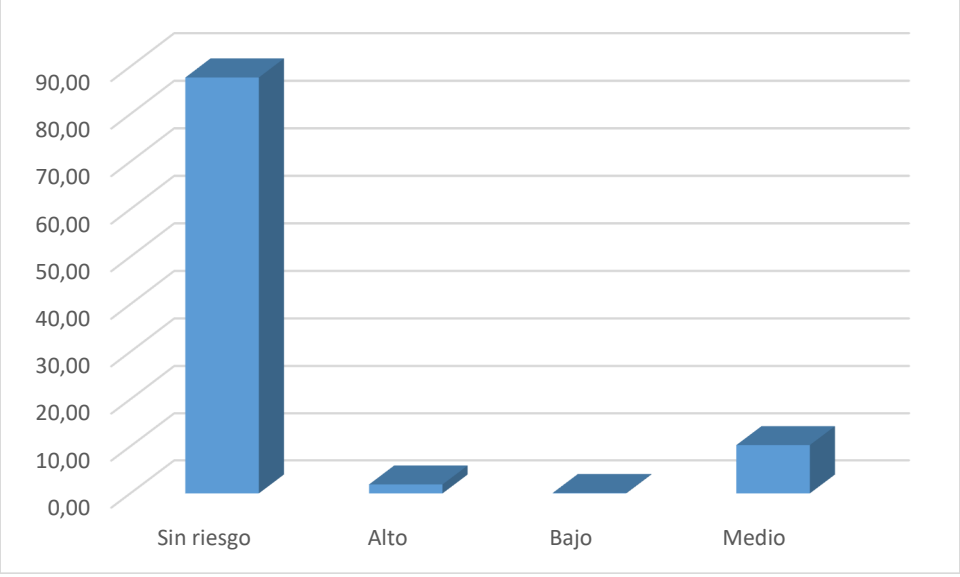
Tabla 6.12. Estimación daños en los elementos expuestos puntuales -Riesgo por movimientos en masa

Elemento	Número
Otras construcciones	153
Puente Vehicular	1

6.4.2. Riesgo por inundaciones

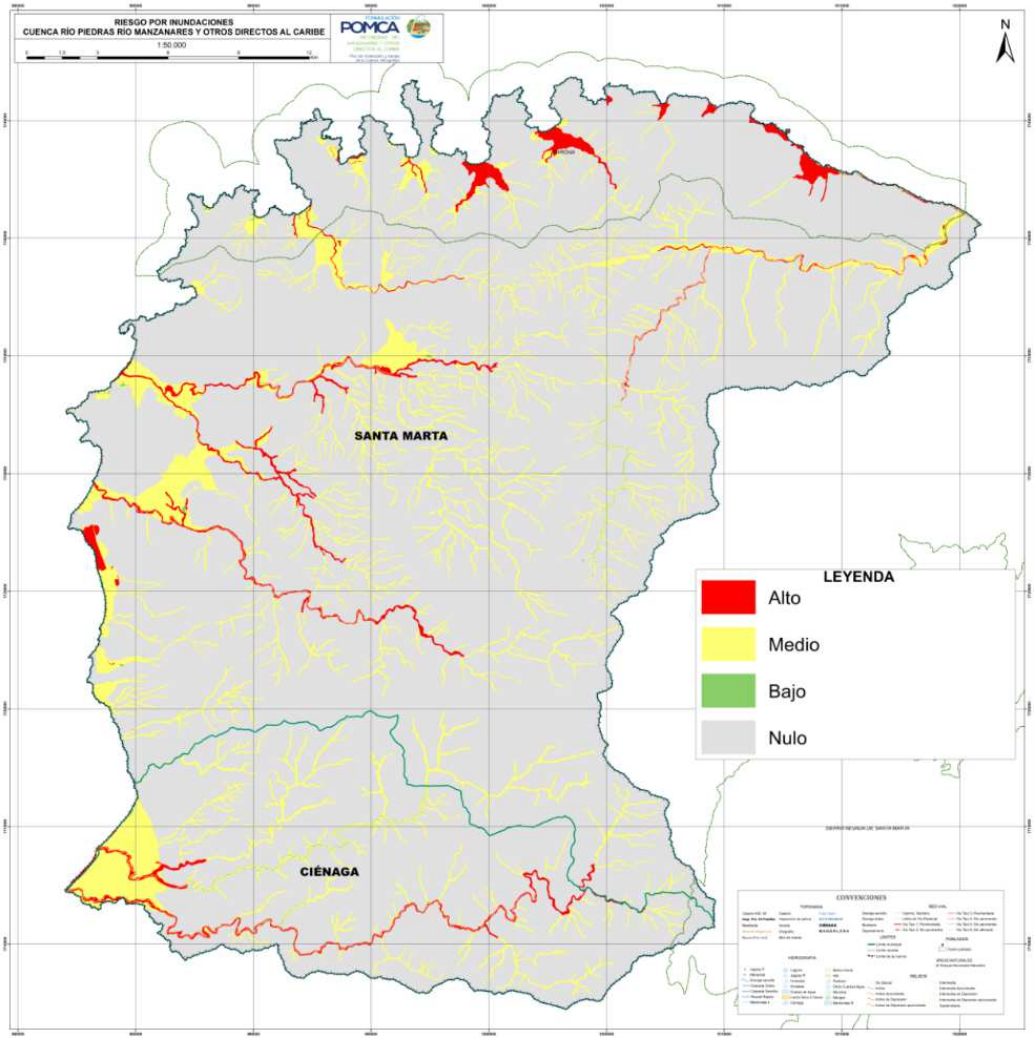
De acuerdo con los resultados obtenidos, el riesgo por inundaciones es predominantemente nulo, esto se debe a que la mayor parte de la cuenca presenta un relieve ondulado y montañoso, situación que facilita la escorrentía, en este sentido el 87,71% del área de la cuenca, se encuentra dentro de esta categorización, y es predominante en todos los dos municipios de la cuenca. Para el caso del riesgo medio se identificó que el 10,28% del territorio presenta esta categoría, de igual manera las áreas de riesgo alto por inundación ocupan el 1,91% del total de la cuenca, siendo las zonas en cercanías a los ríos Manzanares, Piedras, Gaira, Córdoba y Toribio; donde hay mayor extensión de este escenario (ver Figura 6.27). En las zonas donde el riesgo es nulo, predomina la vulnerabilidad baja y las condiciones de amenaza nula, siendo característico de las áreas geomorfológicas que no presentan procesos morfodinámicos asociados a desbordamientos o encharcamientos.

Figura 6.27. **Distribución porcentual de las categorías de riesgo por inundaciones**



Los escenarios de riesgo alto, se configuraron como resultado de la combinación de las categorías de amenaza y vulnerabilidad alta y media, su localización geográfica está asociada a las rondas hídricas de los ríos Manzanares, Piedras, Gaira, Córdoba y Toribio; afectando los sectores de Cordobita, Jolonura, La Reserva, Mamonal y Región Córdoba, para el Distrito Turístico de Santa Marta algunos sectores de las veredas Cañaveral (Agua Fría), Calabazo, Curvalito, El Rodadero, El Trompito, La Revuelta, Playa Grande, Taganga, Tigrera, Valle de Gaira y de los corregimientos de Bonda, Guachaca, Minca y Taganga.

Figura 6.28. **Riesgo por inundaciones**



La categoría de riesgo medio, presenta mayor extensión en los corregimientos de Bonda, Guachaca, Minca y Taganga y en las veredas Cañaveral (Agua Fría), Calabazo, El Rodadero, El Trompito, La Revuelta, Las Colinas de Calabazo, Méjico, Tigrera y Valle de Gaira; en el municipio de Ciénaga el riesgo medio por inundación se presenta en sectores como Cantarana, Jolonura, La Reserva,

Lourdes, Mamonal y Región Córdoba, caracterizado por los siguientes niveles de amenaza y vulnerabilidad.

- 3,19% amenaza alta y vulnerabilidad baja
- 18,81% amenaza media y vulnerabilidad media
- 77,69% amenaza baja y vulnerabilidad media
- 0,32% amenaza baja y vulnerabilidad alta

El nivel de riesgo bajo, presenta áreas dominadas por pendientes topográficas ligeramente ecarpadas a fuertemente escarpadas y unidades geomorfológicas denudacionales o estructurales. El 84,76% de esta categoría, cuenta con niveles de amenaza y vulnerabilidad bajas; el 15,24% restante es el resultado de la combinación de condiciones de amenaza media y vulnerabilidad baja. Este escenario de riesgo se configura en los sectores de: Jolonura, Mamonal y Región Córdoba para el municipio de Ciénaga y en Cañaveral (Agua Fría) y en los corregimientos de Bonda, Guachaca, Minca y Taganga en el Distrito Turístico de Santa Marta.

Dentro del categoría de riesgo alto por inundación, las coberturas que predominan con mayor área, son los bosques densos bajos de tierra firme, bosques fragmentados con vegetación secundaria, bosques de galería y vegetación secundaria baja, los cuales constituyen más del 50% del área de la cobertura contenida en esta categoría; en las zonas de riesgo medio por su parte las coberturas predominantes son los bosques densos, vegetación secundaria baja y mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos. Por último, para el caso de las coberturas que se encuentran con mayor área dentro de la categoría de riesgo bajo por inundación son las playas y bosques fragmentados, con un porcentaje de 17,02% respectivamente.

El índice de pérdida de las coberturas vegetales, denota que se presentan mayores afectaciones en los mosaicos de cultivos, exhibiendo valores de pérdida cercanos al 30%, tal como lo muestra la Tabla 6.13. Esta situación, impacta directamente el nivel y calidad de vida de las comunidades asentadas en esta zona, comprometiendo la seguridad alimentaria de las mismas. Cabe resaltar que, durante los paneles de gestión del riesgo, los asistentes aludieron como factor principal de riesgo por inundaciones, la ocupación ilegal e indebida de las rondas hídricas para usos residenciales, siendo una dinámica muy recurrente dentro de la cabecera municipal de Santa Marta en cercanías al río Manzanares.

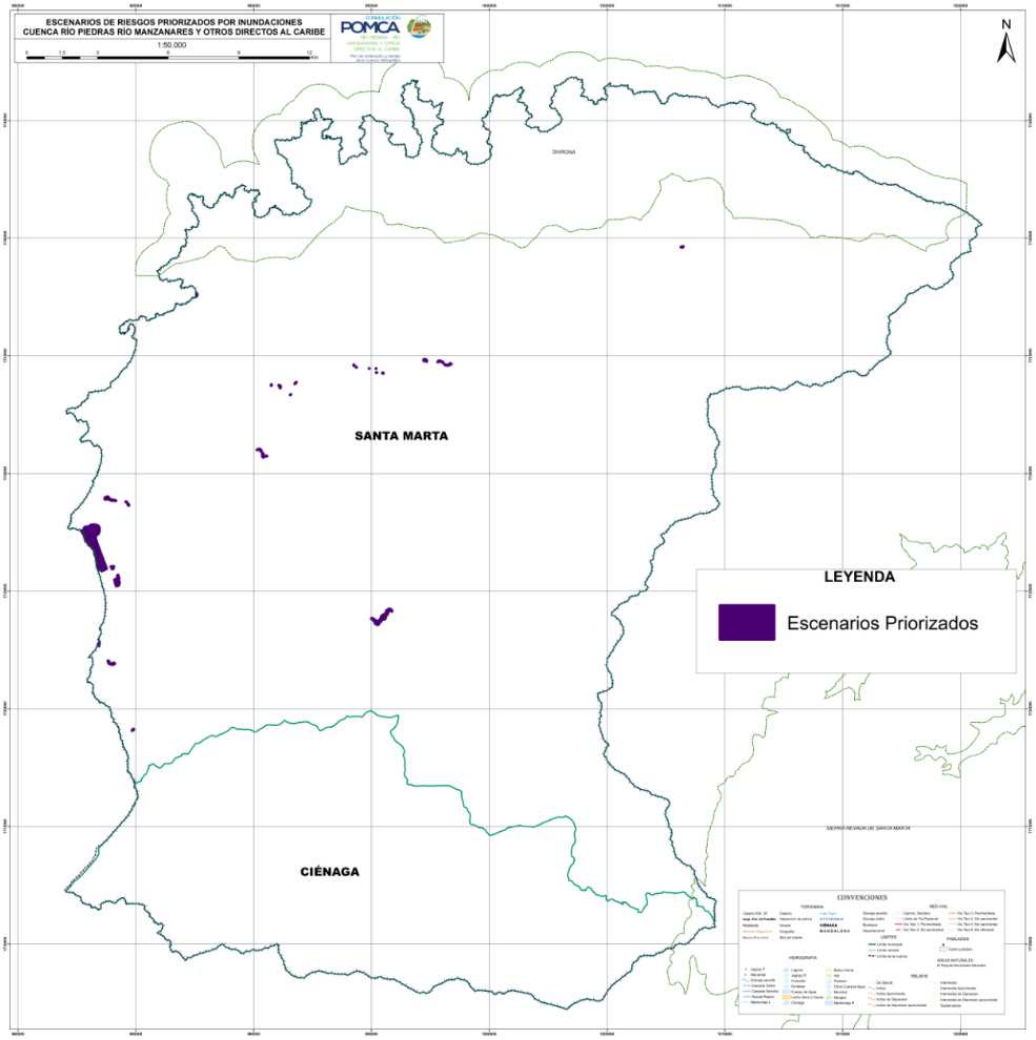
Tabla 6.13. Índice de pérdida de las coberturas vegetales más representativas en el escenario de riesgo por inundaciones

Cobertura	Índice de pérdida
Bosque de galería y/o ripario alto	0,094
Bosque de galería y/o ripario bajo	0,091
Bosque denso bajo de tierra firme	0,091
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	0,091
Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos	0,286
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbustivos	0,286
Playas	0,091

Cobertura	Índice de pérdida
Ríos	0,000
Vegetación secundaria alta	0,091
Vegetación secundaria baja	0,091
Total	**1,211**

De acuerdo con los alcances técnicos del POMCA, los escenarios de riesgo a priorizar deben considerar las categorias de amenaza media y alta para condiciones de vulnerabilidad alta; para la cuenca hidrográfica objeto de ordenación, los escenarios priorizados por inundaciones, ocupan el 5,46% del área total del territorio en ordenación y se localizan en el municipio de Santa Marta, en los corregimientos de Minca, Bonda y en la cabecera municipal (ver Figura 6.29).

Figura 6.29. Escenarios de riesgo priorizados por inundaciones



Los principales daños y/afectaciones en los escenarios de riesgo priorizados, se presentan en los elementos de tipo lineal y puntual; en el primer caso, las vías de orden 5, las cercas y las vías férreas presentan mayor vulnerabilidad, comprometiendo 2.82, 1,04 y 0.60 km respectivamente (Ver Tabla 6.14). Por otra parte, los elementos puntuales se agrupan en dos categorías: Puente vehicular y otras construcciones[24]; siendo esta última la que presenta mayor número de instalaciones afectadas; debido a la incidencia de la cabecera municipal.

Tabla 6.14. Estimación daños en los elementos expuestos lineales -Riesgo por Inundación

Elemento	Km
Cerca	1,04
Camino, Sendero	0,52
Vía Férrea	0,60
Vía Tipo 1	0,23
Vía Tipo 3	0,09
Vía Tipo 4	0,33
Vía Tipo 5	2,82

Tabla 6.15. Estimación daños en los elementos expuestos puntuales -Riesgo por Inundación

Elemento	Número
Otras construcciones	195
Puente Vehicular	1

6.4.3. Riesgo por Avenidas Torrenciales

Para la cuenca del Río Piedras, río Manzanares y Otros Directos al Caribe, se tienen que frente a avenidas torrenciales el riesgo de la cuenca se presenta en el 6,55% en grado bajo, el 85,74% en grado medio y el 7,66% en grado alto. En zonas en donde el riesgo es representativamente bajo, predomina las condiciones de amenaza y vulnerabilidad bajas; en el municipio de ciénaga son Jolonura, Mamonal y Región Córdoba las veredas con mayor área expuesta a esta categoría de riesgo, mientras que en el Distrito Turístico de Santa Marta se presenta en algunos sectores como Cañaveral (Agua Fría), El Trompito, La Revuelta y en los corregimientos de Bonda, Guachaca, Minca y Taganga. Estas áreas, se caracterizan por presentar coberturas vegetales de bosque denso de tierra firme y bosques fragmentados con vegetación secundaria o pastos y cultivos.

El riesgo medio se presenta con mayor incidencia en zonas donde la categoría de amenaza es baja y el nivel de vulnerabilidad medio (Ver Tabla 6.16), localizándose en las veredas como Cantarana, Cordobita, Jolonura, La Reserva, Lourdes, Mamonal y Región Córdoba para el municipio de Ciénaga y en los Corregimientos de Bonda, Guachaca, Minca y Taganga y en las veredas Cañaveral (Agua Fría), Calabazo, Curvalito, El Rodadero, El Trompito, La Revuelta, Las Colinas de Calabazo, Méjico, Minca, Playa Grande, Santa Marta, Taganga, Tigrera, Valle de Gaira del Distrito Turístico de Santa Marta. El suelo de esta categoría de riesgo, predominan las coberturas bosque denso bajo de tierra firme, arbustal denso alto y bosque fragmentado con vegetación secundaria.

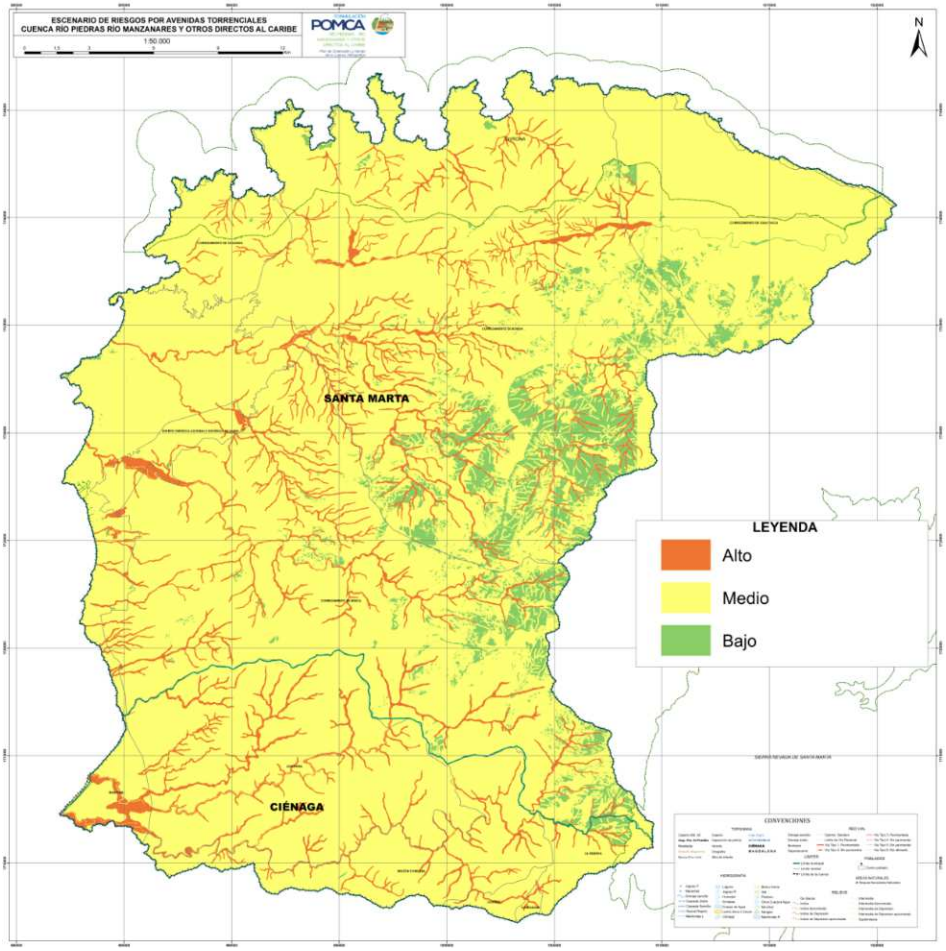
[24] Dentro de la categoría de otras construcciones, se incluyeron las siguientes infraestructuras: cementerio, hotel, iglesia, industria, instalación minera, seguridad, sitio de interés y tanque.

Tabla 6.16. Riesgo vs Vulnerabilidad y amenaza por avenidas torrenciales

Riesgo	Amenaza			Vulnerabilidad		
	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja
Alto	7,56	0,09	0,00	0,14	7,52	0,00
Medio	0,21	4,44	81,15	0,23	85,36	0,21
Bajo	0,00	0,09	6,46	0,00	0,00	6,55

Arbustal denso, bosque denso y bosque fragmentado, representan las coberturas de la cuenca con una mayor área en categoría de riesgo alto, con el 18,73%, 10,50% y 10,77% del territorio, localizadas en las veredas como Cantarana, Cordobita, Jolonura, La Reserva, Lourdes, Mamonal y Región Córdoba del municipio de Ciénaga y las veredas Calabazo, Curvalito, El Rodadero, Las Colinas de Calabazo, Méjico, Minca, Tigrera, Valle de Gaira, zona urbana y los Corregimientos de Bonda, Guachaca, Minca, Taganga del Distrito Turístico, Cultural e Histórico de Santa Marta

Figura 6.30. **Riesgo por avenidas torrenciales**



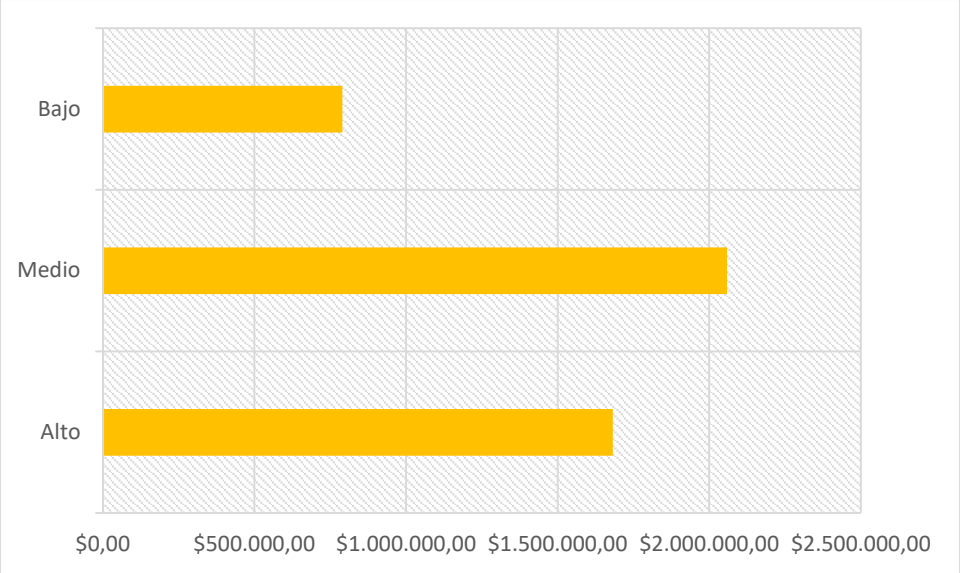
Los valores de reposición de las principales coberturas vegetales afectadas oscilan entre $5.834,78 y $203.670,53, costo que no incorpora en su totalidad la importancia ecosistemica que tiene para la región, la presencia de áreas ambientalmente estrategicas como el Parque Natural Nacional Tayrona.

Tabla 6.17. Valor de reposición en las coberturas vegetales más representativas en el escenario de riesgo por avenidas torrenciales

Cobertura Vegetal	Valor de reposición
Arbustal denso alto	$58.993,32
Arbustal denso bajo	$22.344,90
Bosque abierto bajo de tierra firme	$28.459,05
Bosque de galería y/o ripario alto	$8.853,51
Bosque de galería y/o ripario bajo	$5.834,78
Bosque denso alto de tierra firme	$203.670,53
Bosque denso alto inundable heterogéneo	$21.574,20
Bosque denso bajo de tierra firme	$154.092,41
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	$17.215,68
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	$17.605,69
Pastos arbolados	$11.151,74
Pastos enmalezados	$12.568,84
Pastos limpios	$14.757,73
Vegetación secundaria alta	$24.813,13
Vegetación secundaria baja	$12.977,34

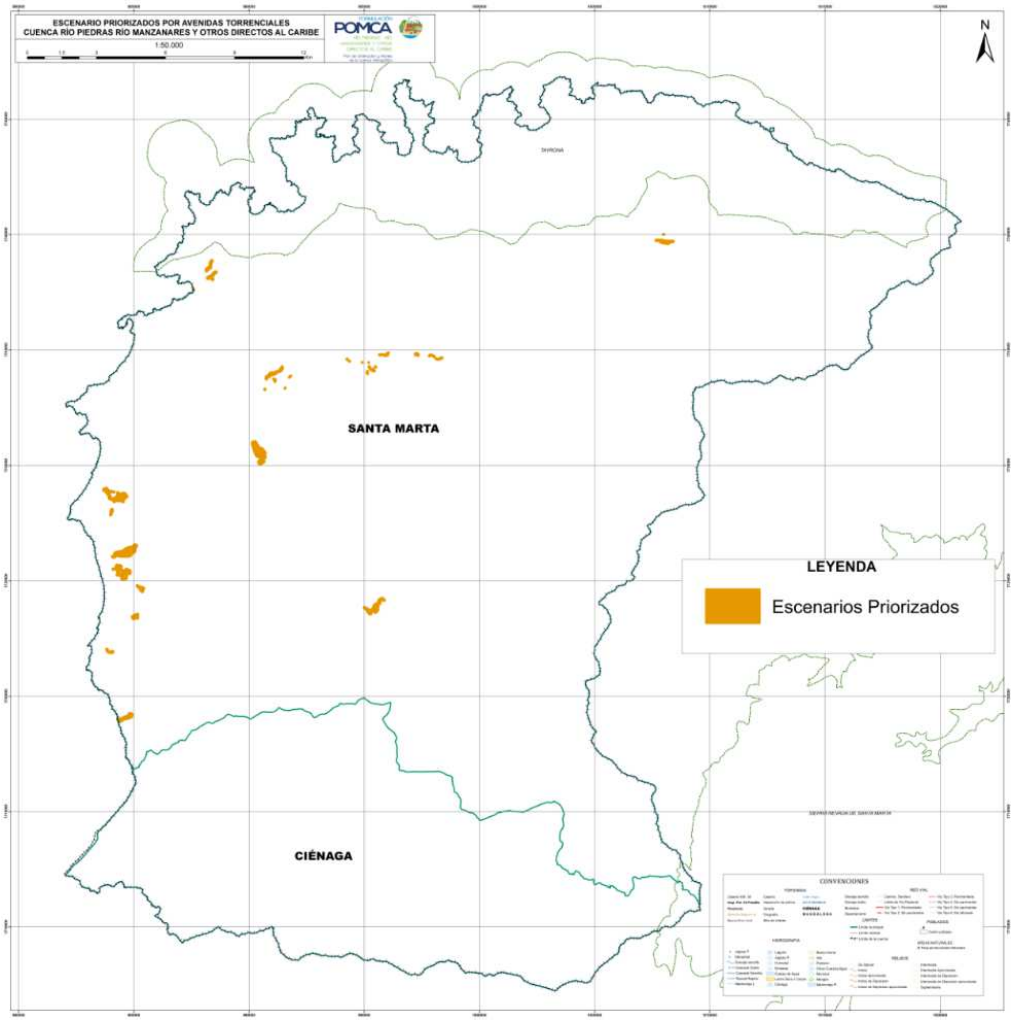
Con relación a las categorías de riesgo, se estima que los valores de reposición se encuentran en $1.681.472,06, $2.059.270,07 y $789.997,43 para las condiciones de amenaza alta, media y baja respectivamente, evidenciando mayores niveles de pérdida en la configuración de los escenarios de riesgo moderado; situación que está influenciada por la extensión del índice de vulnerabilidad medio en la cuenca.

Figura 6.31. **Valores de reposición categoría de riesgo por avenidas torrenciales**



Los escenarios de riesgo por avenidas torrenciales priorizados ocupan el 1,78% de la superficie total del territorio en ordenación y se encuentran localizados en los corregimientos de Minca, Bonda y Taganga dentro de la jurisdicción del municipio de Santa Marta.

Figura 6.32. **Escenarios de riesgos priorizados por avenidas torrenciales**



La configuración de estos escenarios de riesgos, ocasionaria daños y/o afectaciones sobre la infraestructura vial, elementos para la delimitación de los predios (cercas), redes de alta tensión, tuberías, puentes y otras construcciones. Al respecto, se estima que alrededor de 6,18 km de vías y 118 construcciones, poseen alta vulnerabilidad ante la ocurrencia de este evento amenazante (Ver Tabla 6.18 y Tabla 6.19)

Tabla 6.18. Estimación daños en los elementos expuestos lineales -Riesgo por avenidas torrenciales

Elemento	Km
Cerca	2,88
Red de alta tensión	0,16
Tubería	0,11
Vías	6,14
Vía Férrea	0,80

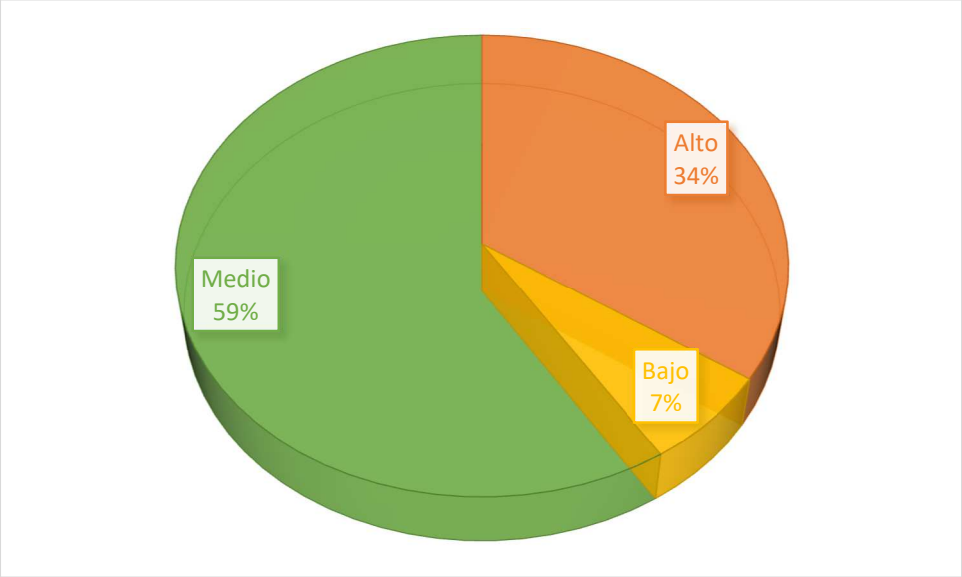
Tabla 6.19. Estimación daños en los elementos expuestos puntuales -Riesgo por avenidas torrenciales

Elemento	Número
Otras construcciones	118
Puente Vehicular	3

6.4.4. Riesgo por incendios forestales

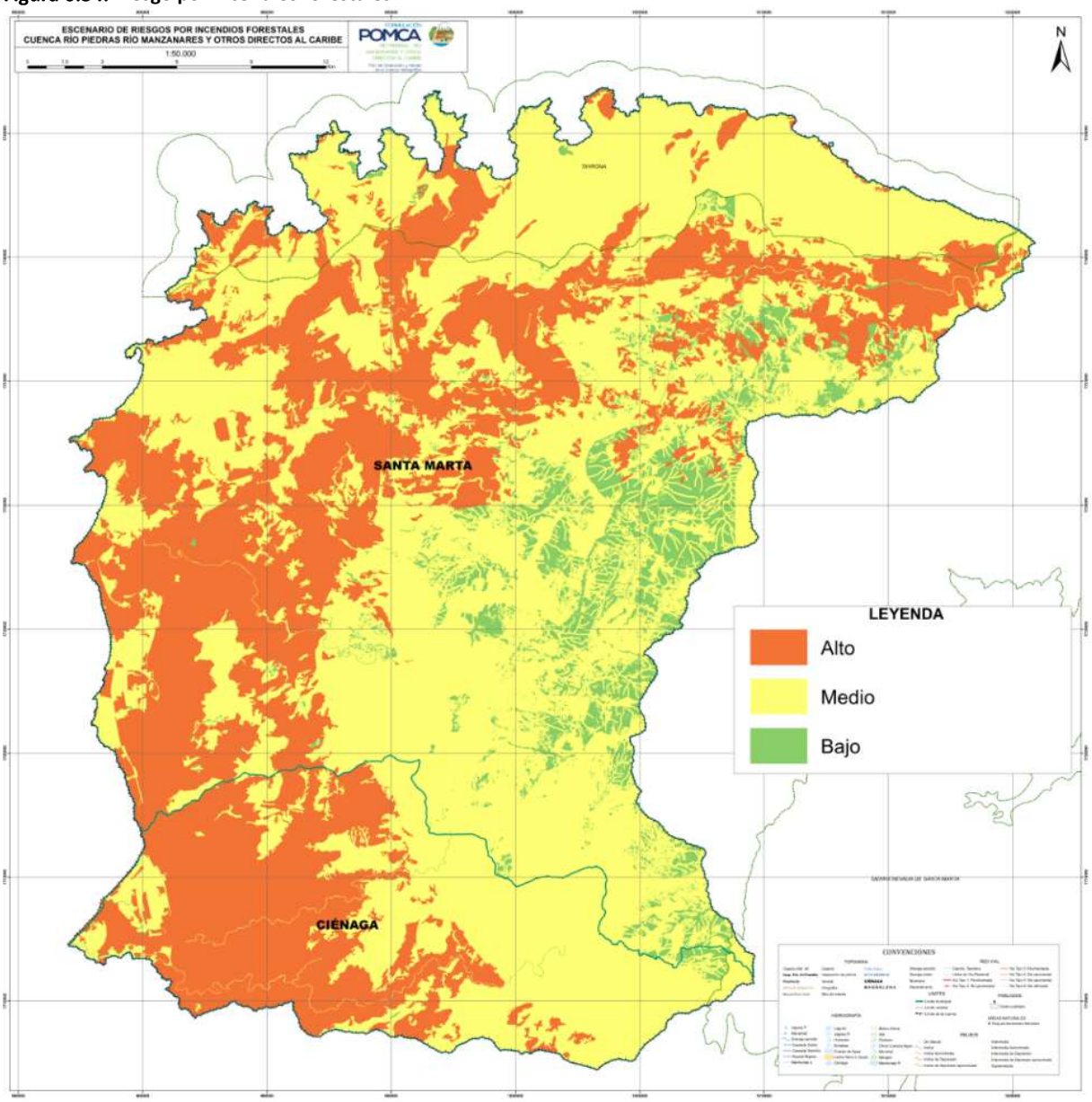
Para la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros Directos al Caribe, el riesgo frente a incendios forestales, se presenta en el 34,46% en nivel alto, el 59,02% en nivel medio, el 6,52% en nivel bajo (ver Figura 6.33). En las zonas donde el riesgo es bajo, predomina la vulnerabilidad baja y las condiciones de amenaza baja, localizado en sectores como Jolonura, Mamonal, Región Córdoba para el municipio de Ciénaga y La Revuelta, corregimientos de Bonda, Guachaca, Minca y Taganga para el Distrito de Santa Marta.

Figura 6.33. Porcentaje de área en riesgo por incendios forestales



Teniendo en cuenta las variables de amenaza y vulnerabilidad, la categoría de riesgo alto por Incendios forestales se caracteriza porque alrededor del 34% del área presenta una amenaza alta, con condiciones de vulnerabilidad media (Ver Tabla 6.20), ubicandose en las veredas de Jolonura, Lourdes, Mamonal y Región Córdoba del municipio de Ciénaga y en los corregimientos de Bonda, Guachaca, Minca y Taganga del Distrito de Santa Marta.

Figura 6.34. Riesgo por incendios forestales



El 66,34% de la categoría de riesgo medio, se configura como resultado de las condiciones de amenaza baja y el índice de vulnerabilidad media, concentrándose en algunos sectores de los corregimientos de Bonda, Guachaca, Minca y Taganga y de las veredas Cañaveral (Agua Fría), Calabazo, Curvalito, El Rodadero, El Trompito, La Revuelta, Las Colinas de Calabazo, Méjico, Taganga, Tigrera y Valle de Gaira.

Tabla 6.20. Riesgo vs vulnerabilidad y amenaza por incendios forestales

Riesgo	Amenaza			Vulnerabilidad		
	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja
Alto	34,32%	0,14%	0,00%	0,18%	34,27%	0,00%
Medio	0,24%	19,45%	39,33%	0,18%	58,61%	0,24%
Bajo	0,00%	0,29%	6,23%	0,00%	0,00%	6,52%

De otro lado teniendo en cuenta las coberturas de la cuenca, se tienen las siguientes consideraciones:

Dentro del categoría baja de riesgo por incendios forestales las coberturas que predominan con mayor área, son los bosques densos y los bosques fragmentados, los cuales alrededor del 45% del área de la cobertura contenida en esta categoría; en las zonas de riesgo medio por su parte las coberturas predominantes son los bosques densos, bosques fragmentados con vegetación secundaria y café con sombrío. Por ultimo, para el caso de las coberturas que se encuentran con mayor área dentro de la categoría de riesgo alto por incendios forestales son los arbustales densos con un 22,06% y los mosaicos de pastos con espacios naturales arbustivos con un porcentaje de 12,68% respectivamente.

Al evaluar el valor de reposición de las coberturas vegetales, se establece que los tipos de cobertura con mayores niveles de pérdida son bosque denso alto de tierra firme, bosque denso bajo de tierra firme, explotación de hidrocarburos y café con sombrío. En contraposición, los herbazales abiertos rocosos, cultivos permanentes arbustivos y tierras erosionadas reportan los valores de reposición más bajos para toda la cuenca hidrográfica en ordenación.

Tabla 6.21. Valores de reposición de las coberturas vegetales

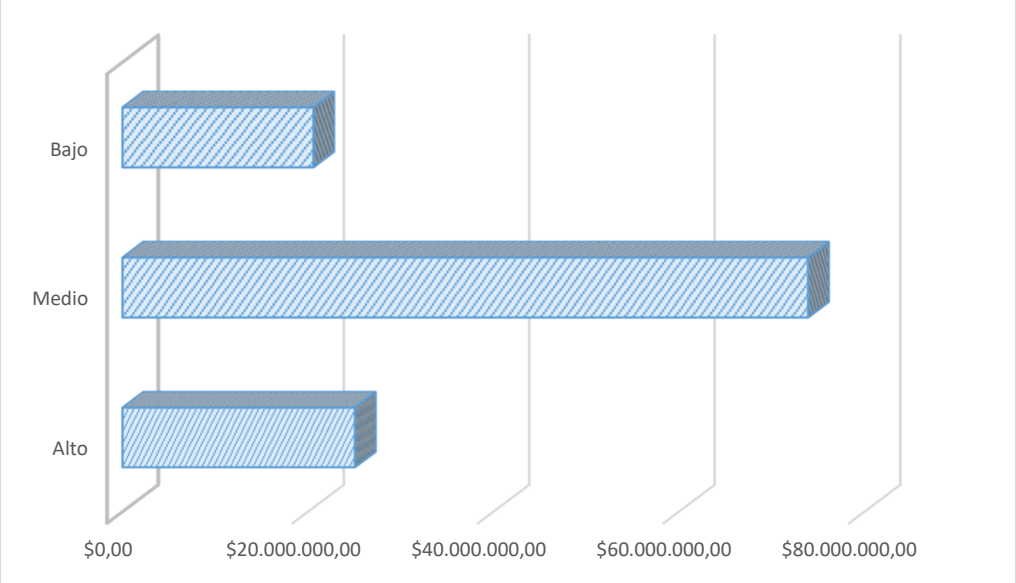
Tipo de cobertura	Total
Aeropuerto con infraestructura asociada	$119.478,27
Afloramientos rocosos	$7.829,35
Arbustal abierto esclerófilo	$13.849,07
Arbustal abierto mesófilo	$12.183,90
Arbustal denso alto	$58.993,32
Arbustal denso bajo	$22.344,90
Áreas culturales	$96.699,04
Áreas deportivas	$65.127,84
Áreas turísticas	$12.721,95
Avicultura	$12.422,59
Bosque abierto bajo de tierra firme	$28.459,05
Bosque de galería y/o ripario alto	$8.853,51
Bosque de galería y/o ripario bajo	$5.834,78
Bosque denso alto de tierra firme	$203.670,53
Bosque denso alto inundable heterogéneo	$21.574,20

Tipo de cobertura	Total
Bosque denso bajo de tierra firme	$154.092,41
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	$17.215,68
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	$17.605,69
Café a plena exposición	$34.092,96
Café con semisombra sombrío	$44.791,64
Café con sombrío	$114.740,73
Cítricos	$9.590,31
Cuerpos de agua artificiales	$7.967,37
Explotación de hidrocarburos	$173.890,64
Explotación de materiales de construcción	$49.402,09
Herbazal abierto rocoso	$3.284,85
Herbazal denso de tierra firme arbolado	$5.271,90
Herbazal denso de tierra firme con arbustos	$9.187,68
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	$7.363,88
Instalaciones recreativas	$24.332,65
Lagunas costeras	$3.627,92
Mango	$11.830,44
Mares y océanos	$1.114,71
Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos	$54.117,25
Mosaico de cultivos y espacios naturales arbustivos	$26.047,21
Mosaico de cultivos y espacios naturales herbáceos	$45.311,32
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbustivos	$22.366,69
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos	$15.627,38
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales herbáceos	$30.006,87
Mosaico de pastos con espacios naturales arbóreos	$10.686,28
Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos	$15.208,54
Mosaico de pastos con espacios naturales herbáceos	$11.310,46
Mosaico de pastos y cultivos	$31.786,31
Nube, sombras o ausencia de insumo	$16.464,28
Otras zonas verdes urbanas	$18.641,25
Otros cultivos permanentes arbóreos	$28.482,13
Otros cultivos permanentes arbustivos	$1.319,28
Otros cultivos transitorios	$6.380,88
Palma de aceite	$12.125,63
Pastos arbolados	$11.151,74
Pastos enmalezados	$12.568,84
Pastos limpios	$14.757,73
Plantación de coníferas	$68.483,79
Plátano y banano	$17.702,99
Playas	$6.174,88
Red vial y territorios asociados	$4.117,57
Remoción en masa	$31.001,91

Tipo de cobertura	Total
Ríos	$1.232,11
Tierras desnudas y degradadas	$8.190,84
Tierras erosionadas	$2.997,89
Vegetación secundaria alta	$24.813,13
Vegetación secundaria baja	$12.977,34
Zonas comerciales	$20.208,31
Zonas industriales	$41.353,46
Zonas industriales o comerciales	$56.977,21
Zonas Pantanosas	$9.071,29
Zonas portuarias fluviales	$22.322,79

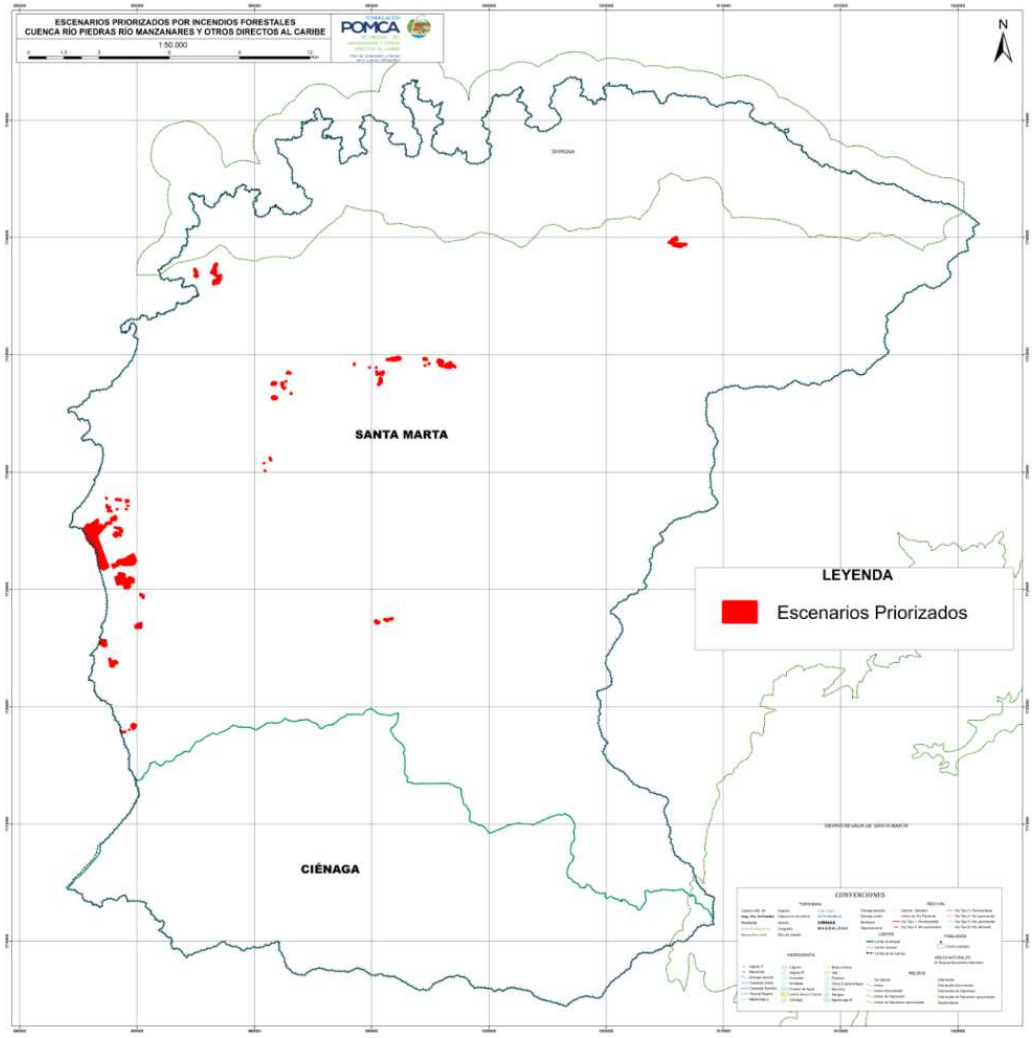
Los daños y afectaciones varían con relación a la extensión de las categorías de amenaza definidas presentando diferencias en los valores de reposición; es así como, los costos promedios asociados a las condiciones de amenaza moderada por incendios forestales alcanzan los $73.946.122,48 millones de pesos, en comparación con los $25.078.230,25 y $20.595.442,15 reportados para las categorías de amenaza alta y baja respectivamente.

Figura 6.35. **Valores de reposición por categorías de amenaza**



Los escenarios de riesgo por incendios forestales priorizados ocupan el 0,54% de la superficie total del territorio en ordenación, se encuentran localizados en los corregimientos de Bonda, Minca y Taganga, pertenecientes al Distrito de Santa Marta.

Figura 6.36. Escenarios de riesgo priorizados por incendios forestales



Las afectaciones derivadas de la configuración de estos escenarios de riesgos, están asociadas principalmente con la pérdida de cobertura vegetal, siendo los arbustales densos y los mosaicos de pastos los más impactados por este fenómeno amenazante. Su valor de reposición se estima en $4.299.575.370,77.

6.5. NECESIDADES DE INFORMACIÓN

La evaluación de las condiciones de riesgo para la cuenca hidrográfica del río Piedras, río Manzanares y Otros Directos al Caribe, está supeditada a la calidad de la información proveniente del análisis de amenaza y vulnerabilidad; toda vez que las necesidades de información de estos componentes sean solucionadas, se logrará un análisis de riesgo que refleja de manera más acertada la dinámica actual del territorio en ordenación.

Respecto a los análisis de riesgo, resulta indispensable contar con información de cobertura y uso detallada para precisar los daños y/o pérdidas de cada una de las coberturas presentes en la zona de estudio, debido a que este factor es determinante para la caracterización de los escenarios de riesgo. De igual manera, se requiere contar con una base cartográfica actualizada, que permita inventariar acertadamente las afectaciones a los elementos expuestos por cada tipo de evento amenazante evaluado.

6.6. RECOMENDACIONES FINALES

Dada la configuración de escenarios de riesgo alto y medio por inundaciones en la cabecera municipal del distrito de Santa Marta y en los centros poblados de Valle de Gaira, El Rodadero, Bonda, Playa Grande, Tigrera y Minca, se sugiere incluir los estudios detallados en estas áreas dentro de los instrumentos de planificación, con el propósito de reducir las condiciones de riesgos actuales y orientar el desarrollo o expansión del municipio hacia zonas más seguras.

Control por parte de las autoridades municipales y ambientales para la delimitación y reforestación de las rondas hídricas. Los procesos de ocupación actuales, elevan los niveles de vulnerabilidad y riesgos de las comunidades, debido a la pérdida de bienes y/o activos económicos, principalmente asociados a áreas agropecuarias.

Establecer dentro de los Planes y Esquemas de ordenamiento territorial de los municipios de Santa Marta y Ciénaga, condiciones y/o restricciones de uso para las zonas categorizadas como riesgo alto o medio por inundaciones, con el propósito de reducir las condiciones de vulnerabilidad de las comunidades asentadas en el territorio.

Considerando que los niveles de riesgo (medio y alto) por inundaciones, se configuraron principalmente a causa de las condiciones de vulnerabilidad media y alta, se deben implementar programas de capacitación y concientización para las comunidades, a fin de evitar los procesos de ocupación de las zonas con condición de amenaza.

Teniendo en cuenta, la configuración de escenarios de riesgo por avenidas torrenciales, es importante implementar medidas para el monitoreo de los cauces de los ríos Gaira, Còrdoba, Toribio, Manzanares y Piedras y de las quebrada Tamaca, Matogiro, Marinca y La Sierrita, reduciendo de esta manera los niveles de riesgo presentes en el territorio.

Desarrollar planes de reforestación en las riberas de los cauces y afluentes principales de la cuenca donde no se tiene control natural de taludes, con el fin de mantener estables las laderas con pendientes abruptas y no ocasionar bloqueos en los ríos y quebradas, evitando la ocurrencia de eventos por avenidas torrenciales en zonas caracterizadas como de amenaza media y alta, debido a las condiciones de torrencialidad identificadas en el área de la cuenca.

De acuerdo con el análisis de los niveles de vulnerabilidad y riesgo por avenidas torrenciales para la cuenca del río Piedras, río Manzanares y Otros Directos al Caribe se recomienda realizar estudios detallados para sectores de la zona urbana del municipio de Santa Marta y de los centros poblados de Bonda, Playa Grande, Tigrera y Minca.

En el control de los movimientos en masa se sugiere la implementación de obras estabilización de taludes en algunos tramos de la vía que comunica al corregimiento de Minca con El Campano y Vista Nieves.; así mismo, es importante la revegetalización de los suelos expuestos, permitiendo con esto la recuperación del terreno, evitando la infiltración del agua, y el incremento en su deterioro.

Implementar programas de capacitación en técnicas de uso y manejo en laderas afectadas por movimientos en masa lentos, a fin de reducir la configuración de escenarios de riesgo por este tipo de eventos amenazantes.

Implementar programas de asistencia técnica agropecuaria para reconvertir las prácticas de renovación de cultivos, reduciendo de esta manera los niveles de vulnerabilidad y riesgo del territorio en ordenación.

Fortalecimiento de los sistemas de alerta temprana, para controlar oportunamente la propagación del fuego. De igual manera, se requiere que los organismos de socorro, cuenten con el recurso humano, técnico y físico necesario para la atención de emergencias.

Incorporación de los escenarios de riesgo en los instrumentos de planificación territorial, para establecer medidas estructurales orientadas a la prevención y mitigación del riesgo existente, evitando la generación de nuevas condiciones de riesgo. Las estrategias formuladas en el presente Plan deben articularse con las políticas, programas y/o proyectos diseñados por los entes territoriales con jurisdicción en la cuenca del río Piedras, río Manzanares y Otros Directos al Caribe.

Realizar por parte de las administraciones municipales un control más fuerte sobre la construcción de viviendas o infraestructura en las áreas categorizadas como riesgo alto por cualquiera de los eventos amenazantes evaluados en el POMCA: movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales e incendios forestales.

6.7. CONCLUSIONES SOBRE RIESGO EN LA CUENCA.

El riesgo frente a movimientos en masa, se presenta en el 20% en nivel alto, el 74% en nivel medio, el 6% en nivel bajo. La mayor extensión de la categoría de riesgo alto, se localiza en sectores Cañaveral (Agua Fría), Calabazo, Curvalito, El Trompito, La Revuelta, Las Colinas de Calabazo, Méjico, Playa Grande, Tigrera, Valle de Gaira y los corregimientos de Bonda, Guachaca, Minca y Taganga para el distrito de Santa marta y en Cantarana, Jolonura, La Reserva, Lourdes, Mamonal y Región Córdoba dentro del municipio de Ciénaga.

En la cuenca hidrográfica del río Piedras, río Manzanares y Otros Directos al Caribe, el riesgo por inundaciones es predominantemente nulo, esto se debe a que la mayor parte de la cuenca presenta un relieve ondulado y montañoso, situación que facilita la escorrentía, en este sentido el 87,71% del área de la cuenca, se encuentra dentro de esta categorización. Para el caso del riesgo medio se identificó que el 10,28% del territorio presenta esta categoría, de igual manera las áreas de riesgo alto por inundación ocupan el 1,91% del total de la cuenca, siendo las áreas cercanas a los ríos en ordenación, donde hay mayor extensión de esta categoría.

Los escenarios de riesgo frente a incendios forestales, se presentan en el 34,46% en nivel alto, el 59,02% en nivel medio y el 6,52% en nivel bajo, localizado en sectores como Jolonura, Mamonal, Región Córdoba para el municipio de Ciénaga y La Revuelta, corregimientos de Bonda, Guachaca, Minca y Taganga para el Distrito de Santa Marta.

El riesgo medio por avenidas torrenciales, se presenta con mayor incidencia en zonas donde la categoría de amenaza es baja y el nivel de vulnerabilidad medio, localizándose en las veredas como Cantarana, Cordobita, Jolonura, La Reserva, Lourdes, Mamonal y Región Córdoba para el municipio de Ciénaga y en los Corregimientos de Bonda, Guachaca, Minca y Taganga y en las veredas Cañaveral (Agua Fría), Calabazo, Curvalito, El Rodadero, El Trompito, La Revuelta, Las Colinas de Calabazo, Méjico, Minca, Playa Grande, Santa Marta, Taganga, Tigrera, Valle de Gaira del Distrito Turístico de Santa Marta.

Los elementos expuestos con mayores afectaciones debido a la configuración de los escenarios de riesgos son las construcciones y la infraestructura vial. De otra parte, las coberturas vegetales asociadas a pastos, mosaicos de cultivos, vegetación secundaria y bosques densos, presentan alta susceptibilidad de ser afectadas ante la ocurrencia de un evento amenazante.

7. ANÁLISIS SITUACIONAL

Una vez se ha surtido la etapa de caracterización de la Cuenca en todas las variables que comprende la dimensión biofísica, social, económica, cultural, político-administrativa, funcional y de gestión del riesgo para la Cuenca, se procede a consolidar el Análisis Situacional de la Unidad hidrográfica, entendido este como la precisión de las potencialidades, limitantes y condicionamientos que tiene la Cuenca, la evaluación de los conflictos ambientales, y el análisis de los territorios funcionales.

El análisis de potencialidades, limitantes y condicionamientos para la Cuenca pretende determinar los elementos clave que van a permitir la construcción de los escenarios durante la fase de Prospectiva y Zonificación. Para ello se retoma el Análisis Inicial construido en la fase de Aprestamiento y se contrasta con la información obtenida durante la fase del Diagnóstico, para validar o actualizar las afirmaciones positivas o negativas en cada uno de los temas principales objeto de evaluación.

En los conflictos, la evaluación está centrada en la identificación de las áreas que presentan una interacción negativa con las actividades que se desarrollan en ellas y que pueden comprometer en el corto, mediano, o largo plazo la capacidad del ecosistema de mantener su oferta ambiental en el suelo, recurso hídrico y biodiversidad.

Finalmente, el análisis de territorios funcionales pretende mostrar de una manera sucinta los equilibrios o desequilibrios que puedan darse en la Cuenca por la interacción de los diferentes subsistemas que la componen; y permite así tener los elementos de juicio en el establecimiento de escenarios deseables de futuro para la Cuenca.

En el presente numeral se describen los aspectos más relevantes encontrados en el análisis de la gestión del riesgo, los cuales fueron complementados con los aportes de los actores durante las Rutas Veredales y las Mesas Zonales de Trabajo realizadas en la fase de Diagnóstico. El análisis situacional final de la cuenca hidrográfica río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe, se presenta en el Volumen IV del presente informe de diagnóstico, con sus respectivas salidas cartográficas.

7.1. *POTENCIALIDADES*

En el proceso del POMCA, las potencialidades de los territorios son los capitales y recursos naturales, humanos, sociales, económicos y de infraestructura ya sean utilizados o no. Así, las potencialidades se refieren a condiciones inherentes a la cuenca y su entorno, las cuales con algún manejo son opciones que favorecen el desarrollo sostenible de la misma. Esto demanda capacidad institucional, sectorial y de las organizaciones de base para innovar y ser capaces de aprovechar los cambios del entorno, así como las fortalezas de los subsistemas de la cuenca para lograr cambios de comportamiento en los actores y desarrollos tecnológicos que favorezcan el acceso, uso y

aprovechamiento de los recursos naturales sin detrimento de su capacidad para mantener la funcionalidad de la cuenca.

En este sentido y de acuerdo con sus características naturales, la Cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe, presenta tendencias a menor nivel de amenazas a fenómenos de remoción en masa y avenidas torrenciales. Las áreas de amenaza baja por movimientos en masa ocupan el 61,16% de la superficie total de la cuenca, localizados en terrenos con pendientes topográficas de ligeramente plana a fuertemente inclinada. La mayor extensión de esta categoría se presenta en el borde occidental de la cuenca, en cercanías a los centros urbanos de Santa Marta y Gaira.

Por su parte, el 87,62% de la cuenca presenta amenaza baja por avenidas torrenciales, las cuales se ubican de manera homogénea en la cuenca, especialmente en pendientes topográficas de ligeramente plana a fuertemente inclinada.

7.2. *LIMITANTES Y CONDICIONAMIENTOS*

Las limitantes a analizar en el proceso de construcción del POMCA incluyen no sólo aquellas de orden biofísico para el manejo de los ecosistemas en la Cuenca, sino además las limitantes y restricciones de índole social y legal que puedan existir para la ocupación del territorio y el uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables de acuerdo con los resultados del diagnóstico.

En el caso del componente de gestión del riesgo, el análisis efectuado en la cuenca revela que las principales amenazas que preocupan a la comunidad están relacionadas con fenómenos de inundación e incendios de la cobertura vegetal, dadas sus afectaciones en el Distrito de Santa Marta y Centros Poblados. Las áreas con amenaza alta por inundación, corresponden a las superficies próximas a los cauces, con diferencias altitudinales menores a 50 m, y pendiente topográfica plana a suavemente inclinada (< 5°); se caracterizan por tener niveles de 0,536 m y velocidades de flujo de hasta 67 m/s. La categoría representa el 2,15% de área total en ordenación y se presenta en las veredas de Córdoba, Mamonal, Jolonura y La Reserva del municipio de Ciénaga, y en los corregimientos de Guachaca, Bonda, Taganga y Minca pertenecientes al municipio de Santa Marta.

De otra parte, el 34,56% de la superficie de la cuenca corresponde a la categoría alta por incendios forestales, identificando que el territorio con mayor afectación, se localiza en los corregimientos de Bonda, Guachaca, Taganga, La Tigrera y Gaira y en zonas aledañas a la cabecera municipal de Santa Marta; por su parte, en el municipio de Ciénaga, la categoría de amenaza alta se extiende a lo largo de las veredas Jolonura y Mamonal.

7.3. *SÍNTESIS DE LAS POTENCIALIDADES, LIMITANTES Y CONDICIONAMIENTOS PARA LA CUENCA*

Se describen a continuación las potencialidades y limitantes más relevantes encontradas en el análisis de la Cuenca de acuerdo con las categorías contempladas en el Anexo A. Diagnóstico de la Guía para la Formulación de POMCAS del MADS.

Tabla 7.1. Síntesis de las potencialidades, limitantes y condicionamientos

COMPONENTE		POTENCIALIDADES	LIMITANTES y CONDICIONAMIENTOS
BIOFÍSICO	Capacidad de uso de las tierras	❖ 92% del área de la cuenca cuenta con suelos profundos, aptos para la introducción de una gran variedad de material vegetal tanto cultivos comerciales como especies forestales y nativas para conservación	❖ 66% del área de la Cuenca presenta suelos con bajas condiciones de fertilidad. ❖ 35% de los territorios de la Cuenca se ubican en rangos de pendiente superiores al 25%, los cuales presentan limitaciones para su aprovechamiento en diferentes tipos de actividades agropecuarias.
	Hidrología	❖ El Río Piedras cuenta, especialmente en su parte alta con rendimientos hídricos moderados que ofrecen más de 1 m^3/s que deben ser ordenados para aprovechar su máximo potencial de uso. ❖ Cauces con calidad del agua entre aceptable y buena en la mayor parte de las áreas rurales de la Cuenca o con categorías de protección ambiental	❖ Bajos niveles de oferta hídrica, sometidos a condiciones de uso que superan el 100% de la oferta hídrica disponible, especialmente en las cuencas de los ríos Manzanares, Córdoba y Toribio. ❖ Fuerte presión por contaminación del recurso hídrico en la Cuenca que afectará en el mediano plazo las condiciones de aprovechamiento de este recurso para las actividades humanas.
	Biodiversidad	❖ Grandes extensiones de la Cuenca con potencial para la reforestación de especies nativas, así como el establecimiento de cultivos sostenibles de acuerdo con la capacidad de uso. ❖ 60,77% del área de la Cuenca cuenta con coberturas naturales en diferentes categorías, lo cual es estratégico para el sostenimiento de la oferta ambiental en la Cuenca. ❖ Presencia de categorías de protección y conservación de la Cuenca, propicias ❖ Multiplicidad de servicios ecosistémicos que representan una capacidad de soporte potencial para un mejor modelo de desarrollo para la Cuenca, diseñado de manera integral y sostenible, que puede incluir hasta actividades ecoturísticas	❖ 19,53% de la Cuenca con condiciones de fragmentación entre moderada a extrema, que se combinan con un 38,93% en amenaza de baja sostenibilidad, lo que configura un escenario donde se deben aplicar acciones en el corto y mediano plazo para resolver los conflictos por el uso de los recursos naturales.
	Gestión del riesgo	❖ 61,16% del área de la cuenca se categoriza como de amenaza baja por movimientos en masa ❖ Las áreas con amenaza baja por avenidas torrenciales representan el 87,62% del área total de la Cuenca.	❖ 34,56% de la cuenca en amenaza alta por incendios de la cobertura vegetal, localizado en los corregimientos de Bonda, Guachaca, Taganga, La Tigrera y Gaira y en zonas aledañas a la cabecera municipal de Santa Marta; por su parte, en el municipio de Ciénaga, la categoría de amenaza alta se extiende a lo largo de las veredas Jolonura y Mamonal

COMPONENTE		POTENCIALIDADES	LIMITANTES y CONDICIONAMIENTOS
			❖ Áreas con amenaza alta por inundación que representan el 2,15% de área total en ordenación y se presenta en las veredas de Cordoba, Mamonal, Jolonura y La Reserva del municipio de Ciénaga, y en los corregimientos de Guachaca, Bonda, Taganga y Minca pertenecientes al municipio de Santa Marta
SOCIOECONÓMICO Y CULTURAL	Socioeconómico	❖ Altos niveles población con por lo menos niveles básicos de escolaridad, que se reflejan en solo un 8,75% de analfabetismo en la Cuenca ❖ Alto potencial humano orientable a la productividad, dados los bajos niveles de mortalidad general y la concentración en grupos de edades inferiores a 45 años. ❖ Cobertura alta del servicio de aseo, y niveles moderados para gas natural, acueducto y alcantarillado, los cuales son prioridad en los planes de las administraciones municipales. ❖ Alta capacidad logística y portuaria que consolida el sector terciario de la economía, acompañado del impulso del sector turístico y ecoturístico	❖ 8,98% de la población se encuentra en condiciones con Necesidades Básicas Insatisfechas, cuyos factores más incidentes corresponden a los habitantes en condiciones de miseria y/o hacinamiento en sus viviendas. ❖ Alto porcentaje de hogares con déficit cualitativo de vivienda (más del 50%), es decir que presentan carencias en estructura, espacio o cobertura de servicios públicos. ❖ Presión sobre los recursos naturales relacionada con la actividad turística y portuaria en expansión; esta presión requiere acciones en el corto plazo tendientes al uso racional y recuperación de la calidad del agua, el control de la pérdida de cobertura vegetal, un manejo adecuado de los suelos, y la reducción en la generación de los residuos sólidos.
	Cultural	❖ Alto sentido de pertenencia de los actores de la Cuenca que se refleja en el interés por la implementación de mecanismos de regulación de la ocupación del territorio y el uso de los recursos naturales para garantizar la sostenibilidad en la Cuenca. ❖ Reconocimiento de los valores tradicionales indígenas por parte de la población general de la cuenca, considerada como relevante para el logro del desarrollo territorial sostenible. ❖ Impulso voluntario desde la población rural a la implementación de prácticas productivas sostenibles que sean armónicas con el entorno y su conservación	❖ El crecimiento acelerado de la población, sumado a los altos niveles de inmigración de población tanto fija como flotante, vienen reduciendo paulatinamente el nivel de sentido de pertenencia y conocimiento de los valores tradicionales en la comunidad, lo cual afectaría en el mediano o largo plazo la cultura ambiental en la cuenca. ❖ Se debe revisar en las áreas rurales de la Cuenca los modelos de ocupación del territorio para evitar la sobreexplotación de los recursos naturales.

COMPONENTE		POTENCIALIDADES	LIMITANTES y CONDICIONAMIENTOS
POLÍTICO-ADMINISTRATIVO	Político-Administrativo	❖ Pluralidad de organizaciones de la comunidad con proyectos ambientales orientados a la conservación de los recursos naturales, y su interés por articularse con la gestión estatal ❖ Oferta institucional abundante y existencia de diferentes instrumentos de planificación ambiental que pueden ser articulados en beneficio del desarrollo sostenible local	❖ Limitantes presupuestales tanto en las organizaciones comunitarias como en las instituciones del estado que condicionan la ejecución de proyectos ambientales, así como la puesta en marcha de los diferentes instrumentos de planificación existentes.

7.4. *ANÁLISIS DE TERRITORIOS FUNCIONALES*

Desde una perspectiva urbano-regional, los territorios de la Cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe se articulan y están influenciados por dos nodos del Eje Regional Caribe del Sistema Nacional de Ciudades: la aglomeración urbana de Barranquilla (conformada por 16 municipios), y Santa Marta como entidad uninodal capital de departamento con más de 100.000 habitantes. Estos dos polos del sistema urbano forman parte, como se dijo, de un eje regional que concentra más de 2'500.000 habitantes, configurándose en un elemento estructurante de la actual red nacional. La presencia de este eje en la Cuenca motiva fuertes transformaciones en la medida que la atracción hace que las demandas de bienes y servicios ecosistémicos, así como los patrones de aprovechamiento de los recursos naturales se adapten a las necesidades de los nodos de jerarquía superior.

Así, confirmando lo que se ha evidenciado en el análisis de los demás componentes del presente Diagnóstico, la tendencia en la Cuenca es a una mayor demanda de recursos, no sólo para satisfacer el autoabastecimiento de los centros poblados rurales sino para la provisión de las cabeceras municipales que se están especializando en otros sectores de la economía y no cuentan con capacidad de autosustento. Adicionalmente, se da un flujo importante de bienes y servicios hacia los polos atractores, para luego ser distribuidos según la conectividad así lo permita, al resto de los territorios de la Cuenca. Este comportamiento se evidencia al comparar, por ejemplo, las áreas cultivadas; entre 2006 y 2010 estas áreas dentro de la cuenca tuvieron un crecimiento no superior a 150 Ha, principalmente para la habilitación de cultivos permanentes, crecimiento soportado en la oferta ambiental ya que esa misma área presenta rendimientos hídricos entre 20 y 30 L/s/Km^2 (DNP, 2014) lo cual permite, bajo un adecuado manejo, extender la presión al recurso para intensificar la producción del sector económico primario.

En este orden de ideas, el patrón de integración urbano-regional de la cuenca está experimentando actualmente un comportamiento de importación de productos -ya que la oferta de cultivos a gran escala no es tan elevada-, con concentraciones de actividades agrícolas en la zona rural, y de tipo logístico, industrial y comercial en las zonas urbanas. Esto plantea una serie de retos en el corto, mediano y largo plazo relacionados con la necesidad de realizar una planificación del desarrollo que pueda ser sostenible; esta área posee ventajas estratégicas por su ubicación geográfica tan cercana al eje de desarrollo regional principal, además de la oferta de servicios ecosistémicos que posee; pero por esta misma razón podrían presentarse cambios en las coberturas naturales y en las

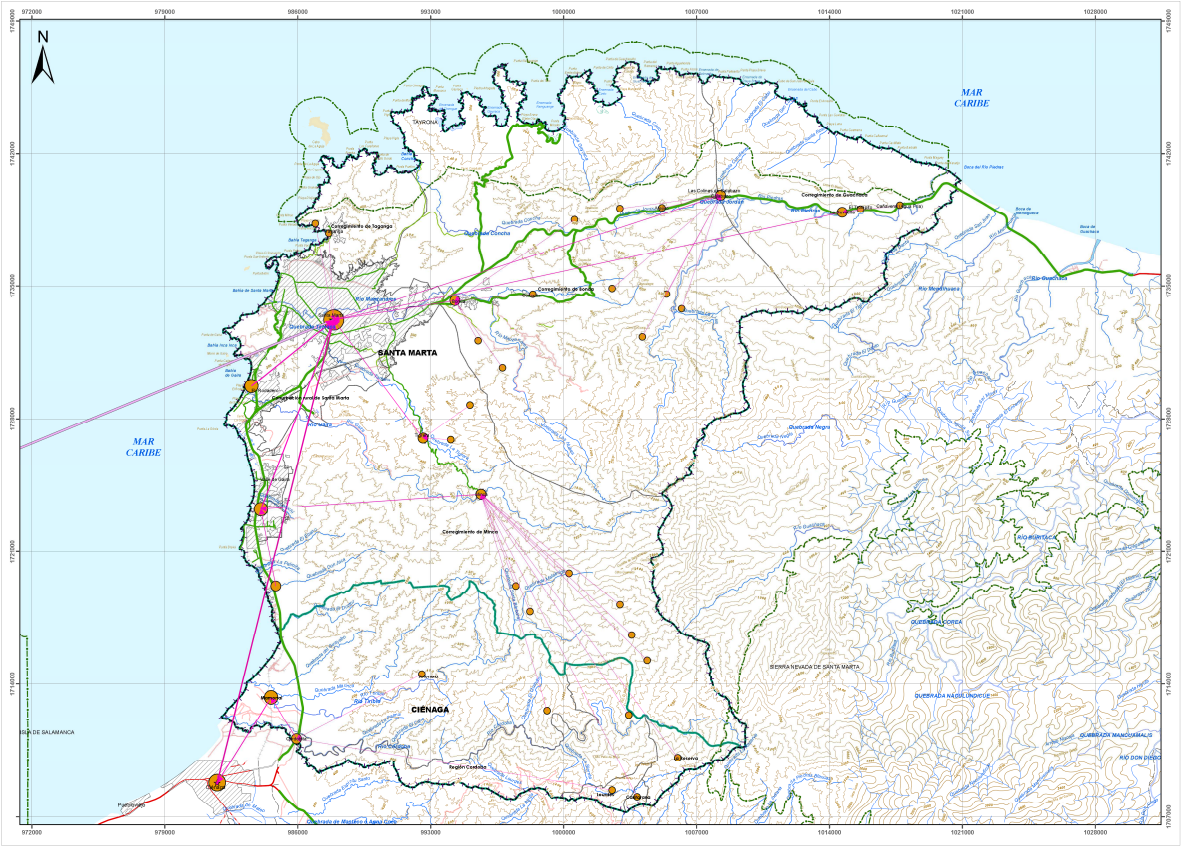
matrices de producción que afecten de manera negativa el equilibrio de los ecosistemas estratégicos y ponen en riesgo la posibilidad del cierre de brechas socioeconómicas, como ocurrió hace algunos años en que el Distrito experimento una fuerte recesión económica.

En la Figura 7.1 se representan los diferentes centros urbanos identificados en el área de la Cuenca, con su correspondiente nivel de relación predominante y las relaciones urbano-rurales de tipo socioeconómico que se presentan entre ellos. Puede observarse que existen tres agrupaciones nodales importantes en la Cuenca: (i) agrupación subregional con centro en Santa Marta, que concentra casi toda la oferta de servicios socioeconómicos y administrativos para las entidades territoriales de la Cuenca, además de ser en sí misma un polo de desarrollo económico de la región enfocado en la infraestructura de transporte marítimo, (ii) agrupación rural con centro en Minca, que debido al reciente crecimiento acelerado de la cabecera corregimental, se convierte en el principal acceso a servicios por parte de los habitantes del suroriente de la Cuenca, y (iii) agrupación rural con centro en Calabazo, de menor incidencia que las dos anteriores, pero que sirve como punto de articulación de las veredas en la parte alta del río Piedras, con la red vial y la capital magdalenense.

En lo relacionado con la demanda de recurso hídrico, se indicó ya previamente que el distrito de Santa Marta abastece su cabecera por medio de un sistema de acueducto cuyas fuentes son principalmente los ríos Manzanares, Piedras y Gaira, y se complementa con la extracción de agua subterránea de pozos en el área de influencia del Distrito en épocas secas. En el caso de los centros poblados y áreas rurales dispersas las poblaciones se abastecen de los ríos y quebradas que tienen cerca, generalmente por medio de mangueras y captaciones no reguladas. Lo anterior indica que las condiciones de la red hídrica de la Cuenca actualmente permiten a los habitantes hacer un uso local del recurso hídrico, gracias a los moderados excedentes de agua reflejados en el Índice de Aridez; sin embargo, la presión actual y futura de los diferentes usos identificados para la Cuenca, combinados con la mala capacidad de retención y regulación hídrica de la Cuenca ya están configurando escenarios de conflicto por uso, requiriéndose en el corto y mediano plazo medidas eficaces en torno al ahorro y uso eficiente del agua.

En materia de vertimientos, el Distrito de Santa Marta descarga sus aguas residuales al mar Caribe mediante un emisario submarino. Para los centros poblados rurales, las descargas son realizadas al suelo o a los cuerpos de agua contiguos, los cuales van conectándose hasta efectuar su descarga total a los diferentes ríos que conforman la Cuenca. Estas descargas domésticas sin tratamiento adecuado, sumadas a las escorrentías y vertimientos generados por las actividades productivas representan una carga considerable a los cuerpos de agua de la Cuenca como se observó en la estimación del Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua. Si se toma como referencia los valores determinados en la evaluación del Índice de Calidad del Agua se observa que las áreas que presentan una mayor afectación actual por vertimientos y contaminación son las desembocaduras de los cinco ríos principales de la Cuenca, y se está expandiendo la afectación por el crecimiento de las cabeceras corregimentales y la dinámica que introduce el Distrito de Santa Marta, generando un escenario de afectación al equilibrio tanto de los ecosistemas continentales, como de la franja marina que recibe las descargas de toda la Cuenca.

Figura 7.1. Relaciones urbano-rurales en el área de la Cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe



Fuente: Elaboración propia.

Dicho de otra manera, el metabolismo hídrico de la Cuenca plantea que existe una relación urbano-rural centrada en el abastecimiento de recurso hídrico que está entrando en condiciones de competencia debido al desarrollo de actividades socioeconómicas en áreas dentro de la Cuenca alejadas del centro samario. Esto también se ve actualmente favorecido por el desánimo de la población rural a integrarse con el Distrito, de manera que se exhibe una ligera tendencia centrífuga que genera conflictos con la relación administrativa subsidiaria.

Como se indicó también, los municipios aún no han podido resolver de manera cabal su situación de disposición de residuos sólidos. El Distrito de Santa Marta realiza la disposición en el relleno sanitario Parque Ambiental Palangana a una tasa aproximada de 480,23 t/día. Este relleno se encuentra ubicado a 1,7 Km del PNN Tayrona, generando olores molestos a los turistas que ingresan al sector occidental del PNN y habitantes del corregimiento de Taganga; adicionalmente, el relleno fue construido en medio del Parque Distrital Bondigua que había sido definido en el POT 2000-2009 como área de protección ambiental por su riqueza biótica. De acuerdo con la comunidad, era responsabilidad del alcalde e INTERASEO -empresa prestadora del servicio de aseo- presentar más alternativas para la ubicación del relleno sin afectar a las comunidades ni al ecosistema. En una mejor situación, se encuentra el municipio de Ciénaga que cuenta con el Relleno Sanitario “La

María" operado también por INTERASEO, localizado a 3 Km del casco urbano del municipio, y sirve para la disposición de los residuos de los municipios de Ciénaga y Puebloviejo -este último forma parte de la cuenca del Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta-. Como ya se indicó, este relleno presenta como situaciones a mejorar la presencia de recicladores en el área de las celdas sanitarias y el perfeccionamiento del sistema de tratamiento de lixiviados.

Finalmente, en lo que respecta a las coberturas de áreas agrícolas y pecuarias en la Cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe, se observa una capacidad de la misma para el abastecimiento de productos básicos de consumo; el suelo agrícola está dedicado en su gran mayoría a los cultivos de café y banano, con presencia de algunos mosaicos de cultivos permanentes y transitorios que incluyen ají, ñame, cilantro, papaya, cacao y cítricos. En este sentido, el relacionamiento urbano-regional genera dependencia frente al abastecimiento de productos de la canasta básica provenientes de las Centrales de Abastos de Barranquilla -GRANABASTOS- y Valledupar -MERCABASTOS-, así como la provisión de productos cárnicos desde el sur provenientes principalmente de Pivijay. Se ha identificado que por efecto de cercanías y accesibilidad es más fuerte la dependencia con el Distrito de Barranquilla, con quien se presenta una relación de dependencia funcional de mayor nivel.

8. SÍNTESIS AMBIENTAL

Las condiciones que definen la situación de la cuenca están enmarcadas en múltiples factores que se analizan de manera distinta por cada uno de los actores; sin embargo, la consolidación de los factores que permiten el análisis y la síntesis de la cuenca se ve reflejada en la presentación tanto de los problemas y conflictos que desde los aspectos técnicos se han identificado como los que se definen prioritarios por parte de los actores.

En el presente numeral se describen los aspectos más relevantes de la síntesis ambiental para la cuenca hidrográfica río Piedras, río Manzanares y Otros Directos al Caribe. La síntesis ambiental final, se presenta en el Volumen V del presente informe de diagnóstico, con sus respectivas salidas cartográficas.

8.1. *IDENTIFICACIÓN Y PRIORIZACIÓN DE PROBLEMAS Y CONFLICTOS*

8.1.1. Análisis Situacional Inicial (Fase de Aprestamiento)

Durante el desarrollo de la fase de aprestamiento, en los núcleos territorial se llevó a cabo el análisis situacional inicial de la cuenca mediante la identificación de las potencialidades, conflictos y problemas a partir de la percepción de los diferentes grupos enfocados de actores a saber: Los que somos de la cuenca, los que gobernamos en la cuenca, los que producimos en la cuenca y los que servimos en la cuenca.

Este ejercicio se llevó a cabo mediante la espacialización en cartografía base de la cuenca. Como producto de este espacio de participación, el equipo profesional obtuvo información complementaria para el diseño de las rutas veredales, y un primer escenario de los factores detonantes de las diversas problemáticas ambientales. La información resultante sistematizada y retomada como insumo para las rutas del diagnóstico y para las mesas de trabajo.

En síntesis, la información que sirvió como punto de partida en cada componente temático fue:

Tabla 8.1. Síntesis Análisis Situacional Inicial

COMPONENTE	SITUACIÓN PROBLÉMICA
Geología e Hidrogeología	❖ Alta susceptibilidad por procesos de remoción en masa ❖ Reservas potencias de acuíferos para abastecimiento de las comunidades
Geomorfología	❖ Susceptibilidad a inundaciones marinas y movimientos en masa
Hidrología	❖ Susceptibilidad importante por inundaciones y avenidas torrenciales en las unidades hidrográficas de los ríos Gaira, Piedras y Manzanares ❖ Vulnerabilidad importante por desabastecimiento hídrico en condiciones secas debido al crecimiento acelerado de la actividad productiva sobre la demanda hídrica
Calidad de agua	❖ Alto grado de contaminación actual y potencial de los cuerpos de agua superficial en las zonas cercanas al litoral (donde se presenta el mayor desarrollo habitacional, comercial e industrial)

COMPONENTE	SITUACIÓN PROBLÉMICA
Capacidad de uso del suelo	❖ Conflictos por sub y sobreutilización desbalanceada del suelo debido a la topografía en áreas de la Cuenca cercanas a la Sierra Nevada
Flora, Fauna y Biodiversidad	❖ Especies amenazadas por factores edáficos y pérdida de ecosistemas ❖ Alto grado de endemismo ❖ Insostenibilidad de actividades pesqueras por la baja diversidad de especies
Cobertura del suelo	❖ Conflicto entre la aptitud del suelo y el uso actual con prácticas que degradan de manera acelerada el recurso y generan altos costos en la producción de alimentos.
Riesgos	❖ Amenaza y riesgo por inundaciones, deslizamientos, avalanchas, sequías, desecamiento de fuentes hídricas, desertificación, rotura de ductos de gas natural, Incendios forestales y contaminación de fuentes hídricas por lixiviados.
Aspectos socioculturales	❖ Necesidad de implementar mecanismos efectivos de conciliación y consenso entre los diferentes actores sociales, incluyendo familias indígenas con incidencia en la Cuenca, aunque no vivan en ella ❖ Falta de articulación y visibilidad de las autoridades públicas territoriales y la Corporación en el territorio
Aspectos económicos	❖ Conflictos permanentes de intereses entre los pequeños productores agropecuarios y las medianas y grandes empresas agroindustriales, industriales, y portuarias

8.1.2. Rutas Veredales (Fase de diagnóstico)

El aporte de los actores que viven y desarrollan actividades en la cuenca, se convierte en una herramienta estratégica para la validación de información, así como para la complementación del trabajo técnico multidisciplinar. Es así como a través del formato de "Diario de Ruta" se sintetizaba por el grupo de actores que lo diligenciaron la información relevante a cada componente en términos de problemas y fortalezas.

La consolidación y análisis de las problemáticas y conflictos ambientales manifestados por los habitantes de la cuenca mediante los diarios de ruta, fue procesado e incorporado a la documentación técnica de cada componente del POMCA. Las principales problemáticas identificadas se describen a continuación:

Figura 8.1. **Síntesis de problemas y fortalezas identificadas en la ruta veredal**

Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe		
RUTA	**Principales Problemas**	**Principales Fortalezas**
Ruta del Agua	• Causes de los ríos y quebradas bajos • Vertimiento de aguas negras a los afluentes • Captan agua por medio de mangueras de altas pulgadas para las fincas • Agua no apta para el consumo • Mala infraestructura de planta de tratamiento • Falta de control y vigilancia de CORPAMAG • Concesiones indiscriminadas	• Fácil acceso al recurso hídrico • Aumento de conciencia ambiental • Diversidad de ecosistemas acuáticos
Ruta de la Tierra	• Pendientes pronunciadas • Malas prácticas en el cultivo de café • Deforestación • Perdida de los nutrientes del suelo por sobreexplotación • Presencia de suelos arcillosos por lo que se seca muy rápido el suelo después de invierno	• Terrenos fértiles para cultivos • Iniciativas de carácter privado para la conservación de os recursos naturales • Comunidad organizada • Se está organizando el comité de gestión del riesgo • Comunidad capacitada

Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe		
RUTA	**Principales Problemas**	**Principales Fortalezas**
	• Ganadería en pendientes pronunciadas • Incendios en verano • Extracción de arena en los cerros • Debilitamiento del talud por los arreglos de la vía - Capa freática saturada y hay deslizamientos • Construcción de viviendas en zonas de invasión	
Ruta Funcional	• Contaminación por residuos solidos • Invasión ronda de cuerpos de agua • No existe acueducto (La Tigrera) • Vertimientos de aguas negras desde Minca • Extracción de material de arrastre	• Compromiso de la comunidad • Zonas en conservación • Grupos que organizan jornadas de limpieza • Potencial productivo y ecoturismo • Microclimas y biodiversidad

8.1.3. Mesas Zonales de trabajo (Fase de Diagnóstico)

Consideradas como la base de la estructura de participación a nivel local, los actores convocados al finalizar la fase a las mesas de trabajo de los núcleos territoriales, siguiendo el guion metodológico se realizaron conjuntamente el análisis de problemas y conflictos, partiendo de la información de resultados presentada. En las mesas de trabajo realizada se recibieron los aportes de los diferentes grupos de actores para la definición de áreas críticas y se priorizaron los problemas y conflictos con los aportes de los actores en cada mesa de trabajo.

El ejercicio de retroalimentación evidenció a los actores que asistieron a la primera mesa de trabajo la trazabilidad de la información suministrada de su parte en la construcción de los escenarios actuales de la cuenca en sus diferentes componentes técnicos. Los productos obtenidos de esta mesa de trabajo se convirtieron en el insumo de trabajo para el equipo profesional.

Mediante el diligenciamiento de matrices se realizó una enriquecedora compilación de información, que con el acompañamiento de los profesionales se logró hacer de la manera más detallada posible en el contexto de espacio y tiempo. Se identificaron además aquellos factores dinamizadores de las economías locales de la cuenca y su relación con los impactos por acceso, uso y calidad del capital ambiental de la cuenca.

Una vez depurada y procesada la información, se realizó un análisis de frecuencia con el ánimo de identificar los patrones de priorización realizados por los actores durante las mesas de trabajo, arrojando como resultado lo siguiente:

PROBLEMÁTICAS Y CONFLICTOS PRIORIZADOS CUENCA DE RÍO PIEDRAS, RÍO MANZANARES Y OTROS DIRECTOS AL CARIBE
1. Recurrencia de Movimientos en masa en épocas de lluvia en el área rural del Distrito de Santa Marta parte alta y media de la cuenca. 2. Derrumbes por movimientos en masa en las vías de comunicación entre el Distrito y algunos corregimientos de la parte alta y media. 3. Deficiencia e ineficiencia de los sistemas de tratamiento de agua residual en toda la cuenca

PROBLEMÁTICAS Y CONFLICTOS PRIORIZADOS CUENCA DE RÍO PIEDRAS, RÍO MANZANARES Y OTROS DIRECTOS AL CARIBE
4. Infraestructura y sistemas para el tratamiento de residuos sólidos deficiente y contribuye en el deterioro de los recursos naturales
5. Deforestación progresiva de áreas boscosas para la introducción de actividades económicas y construcciones.
6. Manejo insostenible y sin control de actividades productivas pequeñas y medianas que ocasionan contaminación de los recursos agua y suelo.
7. Pérdida de regulación de los ríos a causa de los niveles de sedimentación
8. Inundaciones por invasión y deforestación de áreas inundables en las principales corrientes tributarias en la cuenca (Río Manzanares, Gaira, Toribío, Córdoba, Bonda)
9. Agudización de los efectos y ampliación del periodo de los eventos climáticos extremos (Sequías , Inundación, Incendios Forestales)
10. Aumento del número de incendios forestales de origen antrópico y natural afectando la flora y fauna, y los diferentes sectores económicos del territorio
11. Pérdida de credibilidad por manejo de procesos y recursos en el ejercicio de la autoridad ambiental de la cuenca (Corporación Autónoma Regional del Magdalena)
12. Actividades no compatibles con la aptitud del suelo generando pérdida de productividad y detrimento irreversible del recurso.
13. Ausencia de regulación de la autoridad ambiental en las áreas de biodiversidad estratégica, generando la pérdida de capital natural y sostenimiento de los sistemas hídricos
14. Deficiente consciencia ambiental y de valoración de los recursos naturales de la cuenca

8.1.4. Aporte del Consejo de Cuenca en la priorización de problemas y conflictos

Como parte del proceso de articulación del equipo multidisciplinar con los actores y sus aportes, se realizó el análisis de la información suministrada durante el proceso de visita en campo, espacios de participación. Los resultados que fueron además procesados para representarlos en salidas cartográficas fueron presentados durante la segunda sesión del Consejo de Cuenca llevada a cabo el día 05 de Diciembre de 2016 en la Cruz Roja Colombiana – Santa Marta.

Con el listado de problemas priorizados en las mesas de trabajo el cual resultó de un análisis simple de frecuencias, como insumo, se procedió a calificar en un el instrumento denominado Matriz de priorización que como lo cita la guía técnica, busca "*otorgar orden y relevancia, asignando pesos de importancia según criterios como: urgencia, alcance, gravedad, tendencia o evolución, oportunidad, entre otros."* (MADS, 2014). Para el caso de la cuenca objeto de ordenación, se diseñó de la siguiente manera:

Tabla 8.2. Matriz de priorización de problemas y conflictos

GRAVEDAD		FRECUENCIA		TENDENCIA	
Considerando la magnitud de las consecuencias que genera este problema califique su gravedad siendo		Qué tan recurrente es este problema en los territorios de la cuenca. Califique según su frecuencia		El problema analizado en los últimos tiempos	
Valor	**Descripción**	**Valor**	**Descripción**	**Valor**	**Descripción**
4	El más grave	4	Es el más recurrente	4	Crece aceleradamente
3	Grave	3	Recurrente	3	Crece de manera sostenible
2	No tan grave	2	Esporádico	2	Se ha mantenido como siempre
1	El menos grave	1	muy poco frecuente	1	Ha venido disminuyendo

Por medio de esta matriz se tiene por objeto la identificación y priorización de los principales problemas y conflictos que afectan la disponibilidad y calidad de los recursos naturales renovables en la cuenca (causas, efectos y soluciones) (MADS, 2014).

Los miembros del Consejo de Cuenca solicitaron al equipo profesional, el desarrollo de la matriz a modo personal; consideraron importante reflejar dicha calificación con mayor nivel de detalle y de acuerdo a los intereses que representan ante la instancia. En la siguiente tabla se relaciona la lista de consejeros que realizaron la calificación.

A continuación se presenta la calificación y priorización de los problemas y conflictos descritos desde los aspectos técnicos.

Tabla 8.3. Problemáticas Y Conflictos Priorizados Desde Los Aspectos Técnicos

TEMA	PRINCIPALES PROBLEMAS	CALIFICACIÓN			
		Gravedad	**Frecuencia**	**Tendencia**	**Resultado**
GEOLOGÍA	Inestabilidad en las laderas: derrumbes, deslizamientos, debido a las condiciones de los materiales parentales	3	3	4	3,3
GEOMORFOLOGÍA	Inundaciones y desbordamientos frecuentes debido a las condiciones topográficas y de pendiente. Geoformas con procesos activos dentro de la cuenca, que sumados a la condición de los materiales parentales incrementan la susceptibilidad a procesos de remoción en la cuenca	4	4	4	4,0
FAUNA	La entrada del hombre a los ecosistemas pristinos de la sierra, así como la desordenada ocupación mediante fincas y explotaciones ganaderas generan el detrimento de la fauna nativa, así como la reducción del hábitat natural de múltiples especies. El aumento en los sistemas de cultivo sean estos permanentes o transitorios genera fuertes presiones sobre la fauna y flora nativa de la cuenca	4	4	4	4,0

TEMA	PRINCIPALES PROBLEMAS	CALIFICACIÓN			
		Gravedad	Frecuencia	Tendencia	Resultado
FLORA	Se presenta una alta reducción de la diversidad faunística debido a la afectación de los espacios naturales mediante los sistemas productivos especialmente café en la parte media y alta de la cuenca, así como en los ecosistemas de bosques secos en la parte baja por las actividades ganaderas. También es una limitante especial el aumento de las áreas urbanas circundantes a Santa Marta hacia los sectores de Bonda, MInca y La Revuelta	3	3	4	3,3
COBERTURA Y USO DEL SUELO	Existe una alta reducción de las coberturas naturales en la cuenca, así como un aumento en los conflictos de uso debido al incremento de las actividades ganaderas en la parte media y baja de la cuenca. También se presentan usos desordenados, sobre todo en la construcción de viviendas y lugares de paso para infraestructura turística en sectores muy sensibles debido a su particularidad ecosistémica, máxime cuando estos son puntos de cambio de las condiciones secas a húmedas de la cuenca, específicamente en la zona del corregimiento de MInca	3	3	3	3,0
CLIMA E HIDROLOGÍA	La pérdida del equilibrio climático evidencia la entrada cada vez más intensiva de los ecosistemas secos de la parte baja y cercana a la zona litoral de la sierra, lo cual contrasta frente a los ricos sistemas húmedos de la parte media y alta de la cuenca. Esta condición es especialmente notoria en la vereda cordobita del municipio de Santa Marte, desde la carretera nacional, hasta el sector de Loma Linda en la parte alta. La ausencia de estaciones impide el correcto monitoreo de las condiciones y limita las medidas de manejo que se puedan desarrollar a través del análisis climático	3	3	3	3,0

TEMA	PRINCIPALES PROBLEMAS	CALIFICACIÓN			
		Gravedad	Frecuencia	Tendencia	Resultado
CALIDAD DE AGUA Y SANEAMIENTO BÁSICO	La infraestructura insuficiente para el manejo de las aguas servidas en las áreas rurales de Santa Marta y Ciénaga, sumado al incremento constante de la población flotante atraída por los servicios de turismo y el desarrollo de actividades agropecuarias han incrementado los niveles de contaminación (especialmente de origen fecal) en los cuerpos de agua en las zonas altas de las subcuencas que componen esta subzona hidrográfica. Adicionalmente, el acelerado ritmo de desarrollo del Distrito provoca en su periferia la aparición de vertimientos no controlados y el manejo inadecuado de residuos sólidos que afectan aún más los cauces que allí circulan, en especial los ríos Manzanares y Gaira, y la quebrada Tamacá	4	4	4	4,0
ECONÓMICO	El crecimiento de la actividad logística que impulsa actualmente la economía en el área de la Cuenca, junto con la presencia de empresas multinacionales del sector agrícola (como el bananero) genera conflictos de intereses basados en el aprovechamiento del recurso hídrico, que de una u otra manera limitan finalmente la productividad de las pequeñas unidades agropecuarias que existen en la Cuenca. Asimismo, se observa que persisten impactos negativos sobre la población originados por las actividades portuarias, en particular el transporte de carbón a través de la cuenca hacia los muelles en la bahía de Santa Marta o el muelle portuario de Drummond Es relevante el cambio generado en las condiciones económicas de la cuenca en torno al ingreso de las condiciones del turismo como herramienta del desarrollo de la población, más aun si se tiene en cuenta el proceso de desplazamiento de los habitantes campesinos de la zona mediante la compra de predios que realizan extranjeros	3	2	3	2,7
FUNCIONAL	La dinámica de atracción del polo funcional del Distrito de Santa Marta genera una concentración de bienes y servicios que está modificando los patrones socioculturales y económicos de las áreas vecinas a una rapidez en la cual las comunidades manifiestan no poder adaptarse, generando conflictos de interés Sin embargo, el funcionamiento de la zona entorno a los servicios turísticos y ecosistémicos viene generando una migración de las condiciones funcionales, lo cual se evidencia en los fuertes desarrollos de Minca, Bonda y la Revuelta, lo cual se convierte en una condición especialmente problemática para la conservación de esta parte de la cuenca	4	3	3	3,3

8.2. *DETERMINACIÓN DE ÁREAS CRÍTICAS*

8.2.1. Áreas críticas en las rutas veredales

Los aportes realizados por los actores, en los recorridos realizados durante las rutas veredales ejecutadas, a la identificación de áreas críticas se evidencian en el diligenciamiento del diario de ruta instrumento dentro del cual el o los acompañantes que lo diligenciaran podrían consignar sus aportes al respecto. Mediante este formato se integró el conocimiento de la población sobre la localización de eventos, a la caracterización de campo realizada por el equipo profesional en todos los componentes técnicos, para ser posteriormente procesada y representada en salidas cartográficas.

Tabla 8.4. Descripción de áreas críticas en la cuenca mediante Diario de Ruta

Río Piedras, Río Manzanares y otros directos al Caribe		
RUTA	**LUGAR**	**DESCRIPCION DEL AREA**
Ruta del Agua	Cordobita – Ciénaga	Es necesario mejorar la infraestructura del acueducto para prestar un servicio de buena calidad ya que hoy en día es deficiente
	Calabazo – Santa Marta	De un tiempo para acá se ha observado que los suelos son más secos de lo normal y que en los cauces el caudal ha disminuido notablemente.
Ruta de la Tierra	Vereda Bajoagualinda	En épocas pasadas se presentaron incendios por altas temperaturas con pérdida de varias hectáreas y algunos derrumbes en la época de invierno.
	Vía Minca – Santa Marta	En la época de lluvias los deslizamientos son frecuentes en distintos puntos de la vía
	Proaves, finca el Dorado	Lugar específico de conservación para la fauna principalmente aves.
	Bonda – Santa Ana	Se presenta tala indiscriminada de árboles lo cual ha afectado directamente los ecosistemas de la zona.
Ruta Funcional	Minca – Santa Marta	Contaminación a las fuentes hídricas por residuos sólidos y líquidos principalmente por la ocupación de las rondas hídricas.
	Bonda – Santa Marta	Existe una gran problemática de contaminación por los balnearios que se encuentran en la zona; adicional a ello se tiene la tala indiscriminada y por ello algunos procesos erosivos. Se presenta la captación ilegal de agua para el riego de cultivos.

8.2.2. Áreas críticas en las mesas zonales de trabajo

Se definieron las áreas críticas a partir de la confluencia de la presencia de problemáticas de varios componentes en la misma área así:

- Áreas muy críticas donde confluyen problemáticas de 4 o más componentes temáticos.
- Área altamente crítica donde confluyen problemáticas de al menos 3 componentes temáticos.
- Áreas medianamente críticas donde confluyen problemáticas de al menos 2 componentes temáticos.
- Áreas poco críticas donde existen problemáticas de un único componente.
- Áreas no críticas sin problemáticas identificadas de ningún componente.

Figura 8.2. Mapa de áreas críticas con aporte de actores de la cuenca

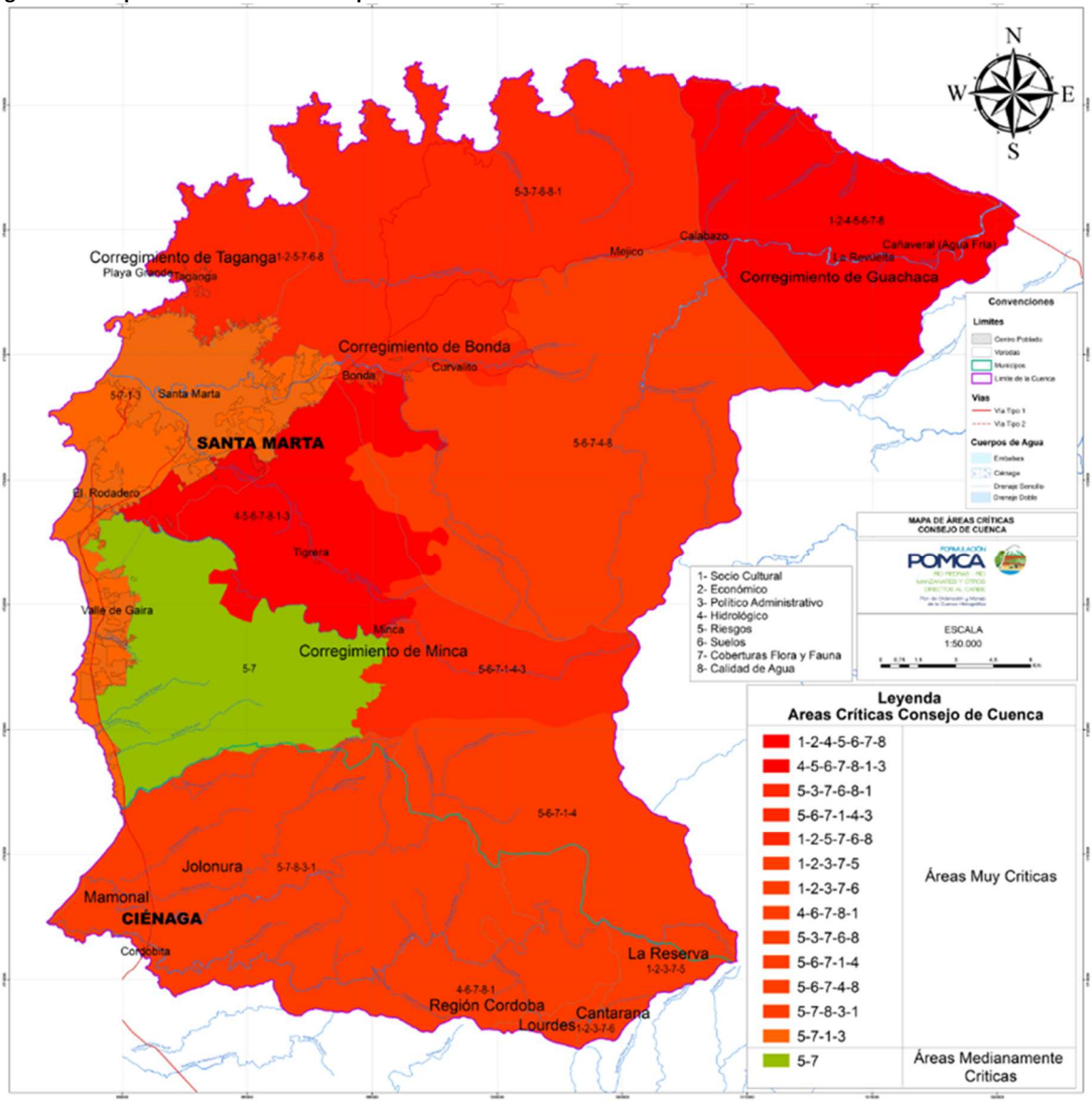
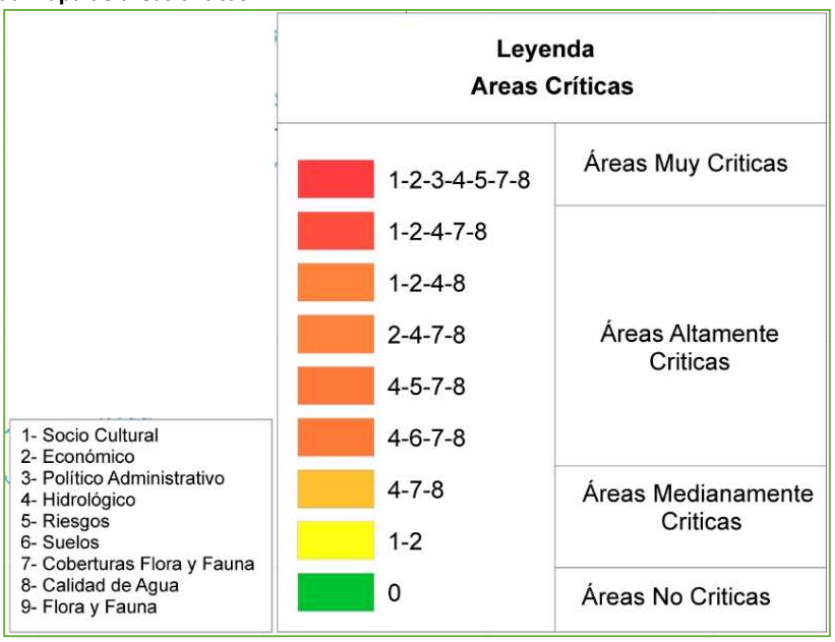


Figura 8.3. Leyenda mapa de áreas críticas



La leyenda del mapa de áreas críticas refleja cuatro categorías que recogen los grupos de problemáticas ambientales en aspectos económicos, político, social y biofísico de la cuenca a saber: *áreas muy críticas* que poseen siete problemáticas, *área altamente crítica* con cuatro a cinco problemáticas y *áreas medianamente críticas* y *no críticas* con cero a tres problemáticas manifestadas por la población. Los componentes bajo los cuales se realizó el análisis, establecimiento de rangos y proceso de cartografía abarcaron desde el ámbito sociocultural, económico, político y los diferentes componentes temáticos propios del análisis del POMCA.

8.2.3. Áreas críticas desde los aspectos técnicos

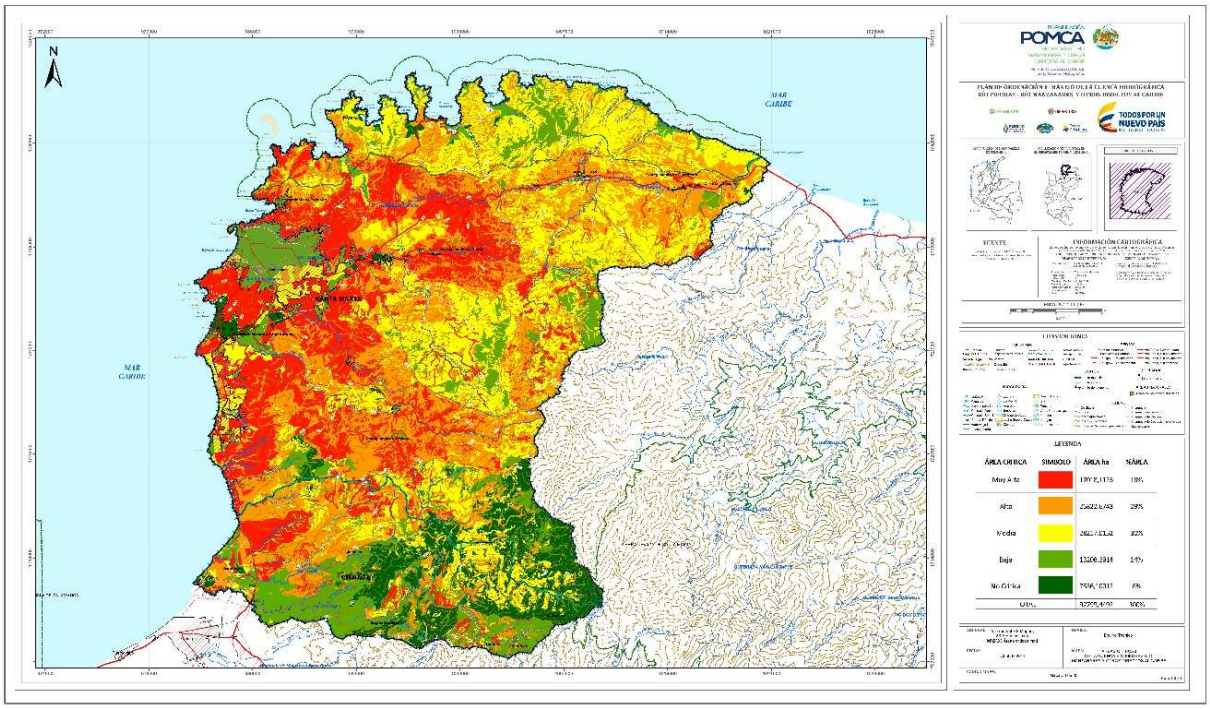
La definición de las áreas críticas se complementa en el siguiente análisis mediante los aportes descritos en la guía que surgen del proceso técnico del cruce cartográfico de las siguientes capas:

- Áreas deforestadas por quema y/o erosión y áreas en proceso de desertificación
- Áreas con sobreutilización del suelo
- Laderas con procesos erosivos moderados y severos
- Zonas de amenaza alta
- Áreas de asentamientos humanos en zonas de amenaza
- Deficiente cantidad de agua para los diferentes tipos de uso
- Áreas donde se superponen por lo menos dos tipos de conflictos

Teniendo en cuenta este análisis cartográfico, podemos observar como las diferentes percepciones de los habitantes respecto a la criticidad de las áreas por los diversos aspectos temáticos como calidad del agua, coberturas, procesos se ven evaluadas indicando que muchas de las mismas no solo se ven afectadas por estas razones, sino por otras que desde los elementos técnicos permiten reflejar de mejor manera la realidad de la cuenca.

Mediante este análisis podemos dar inicio a la construcción de los elementos prospectivos que sustentaran las condiciones de la zonificación.

Figura 8.4. Áreas críticas determinadas desde los aspectos técnicos

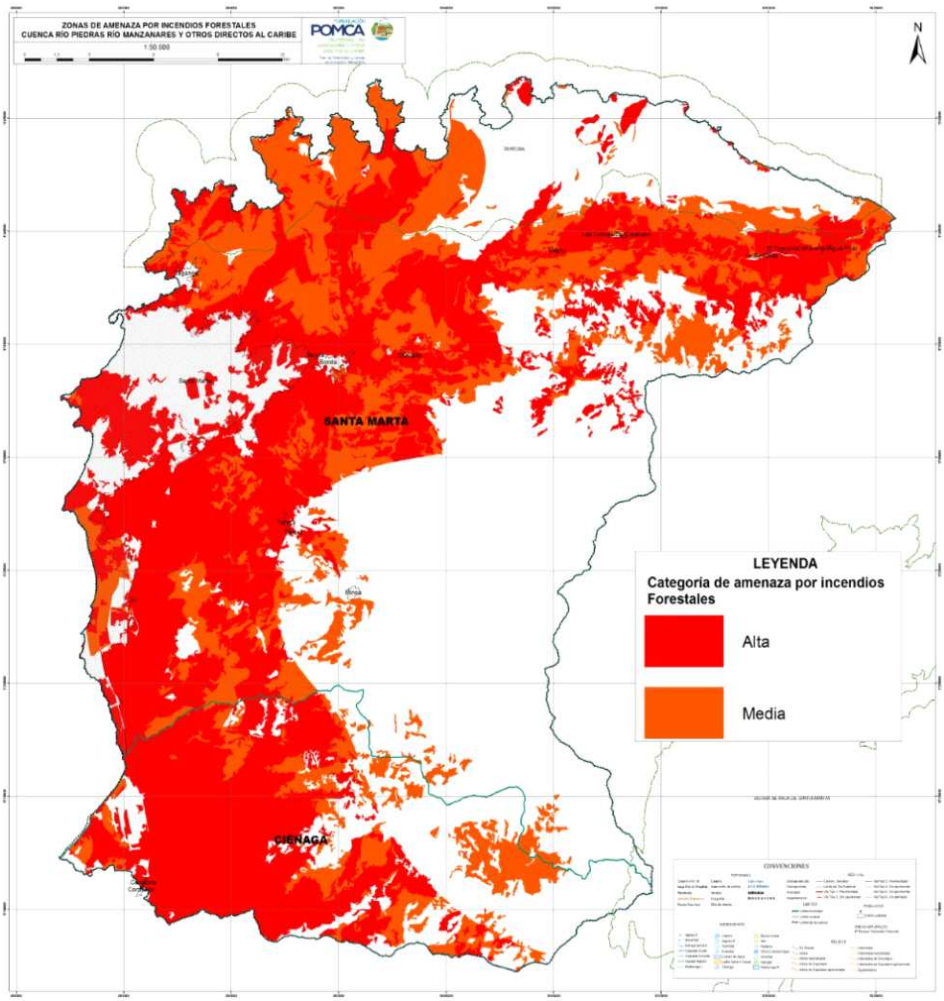


8.3. *LÍNEA BASE DE INDICADORES*

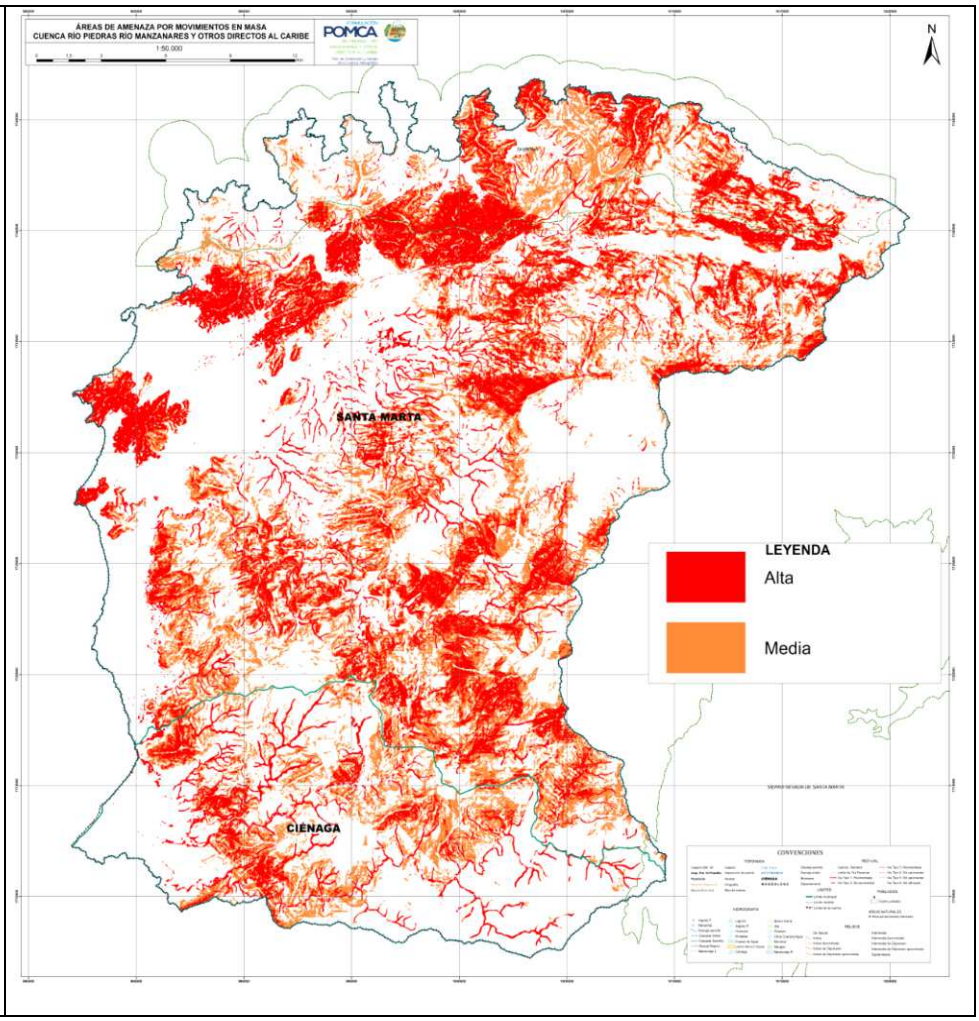
ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
Nombre y Sigla	**PORCENTAJES DE ZONAS DE AMENAZA (ALTA Y MEDIA) POR INCENDIOS FORESTALES.**
Objetivo	Evaluar el grado de incidencia de amenaza alta y media en la cuenca hidrográfica por incendios forestales.
Definición	Define la probabilidad de ocurrencia de eventos de incendios forestales en la cuenca.
Fórmula	PHβ = (PPi /Pu) * 100
Variables y Unidades	PHβ = Porcentaje de área en zona de amenaza (i) por tipo de amenaza PP i = Área en zona de amenaza (i) Pu = Área de la cuenca i = Nivel de amenaza (Alta y Media)
Insumos	Mapas de amenaza por incendios forestales.
Resultados	De acuerdo con la zonificación de amenaza por incendios forestales para la cuenca hidrográfica río Piedras, río Manzanares y Otros Directos al caribe, se observa que el 34,56% de la cuenca presenta categoría de amenaza alta, mientras que el 19,87% del territorio cuenta con categoría media.

Categoría de Amenaza	Área (ha)	%A
Alta	32.071,49	34,56
Media	18.439,25	19,87

Considerando la espacialización de este fenómeno amenazante, se identificó que el territorio con mayor afectación, se localiza en los corregimientos de Bonda, Guachaca, Taganga, La Tigrera, Gaira y en zonas aledañas a la cabecera municipal de Santa Marta; por su parte, en el municipio de Ciénaga, la categoría de amenaza alta se extiende a lo largo de las veredas Jolonura y Mamonal.

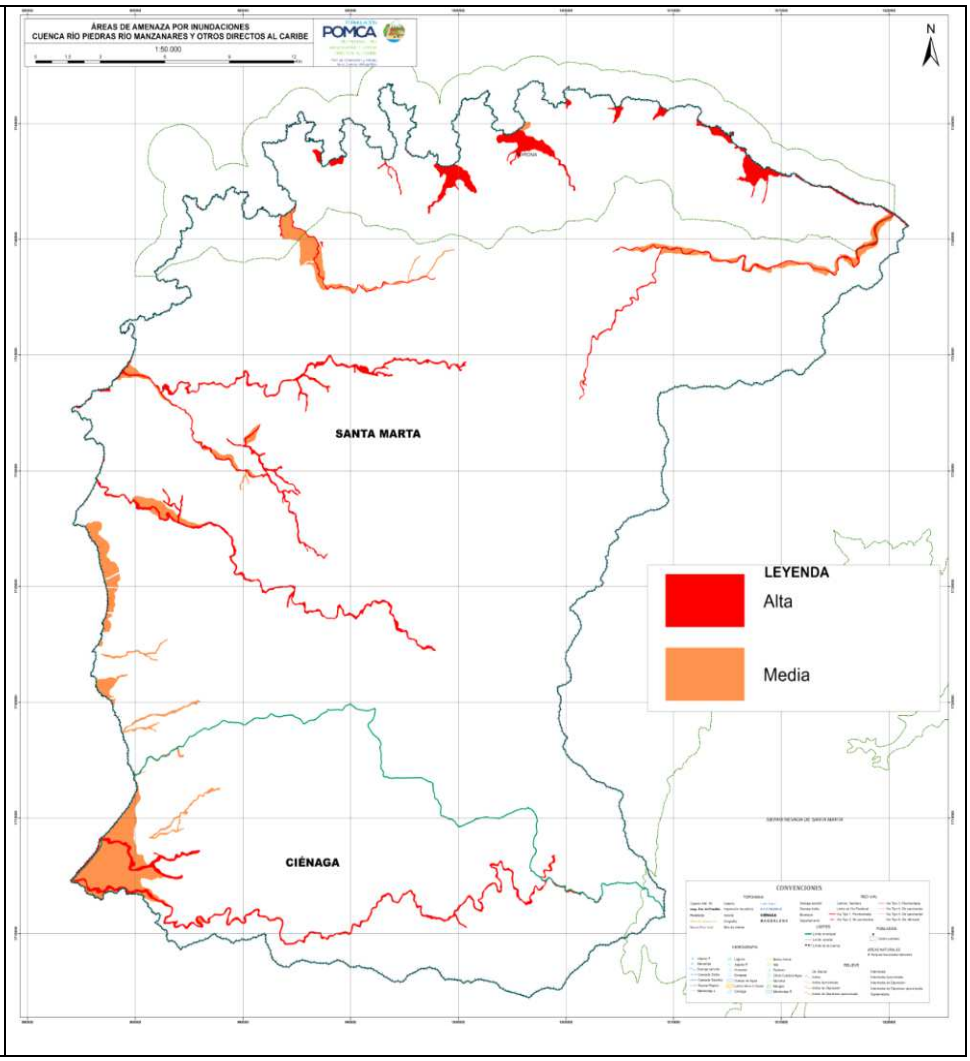


ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
Nombre y Sigla	**PORCENTAJES DE ZONAS DE AMENAZA (ALTA Y MEDIA) POR MOVIMIENTOS EN MASA**
Objetivo	Evaluar el grado de incidencia de amenaza alta y media en la cuenca hidrográfica por movimientos en masa
Definición	Define la probabilidad de ocurrencia de eventos de movimientos en masa en la cuenca.
Fórmula	PHβ = (PPi /Pu) * 100
Variables y Unidades	PHβ = Porcentaje de área en zona de amenaza (i) por tipo de amenaza PP i = Área en zona de amenaza (i) Pu = Área de la cuenca i = Nivel de amenaza (Alta y Media)
Insumos	Mapas de amenaza por movimientos en masa
Resultados	***Amenaza Alta por movimientos en masa*** Corresponde al 19,9% del área de la cuenca, asociada a geoformas de origen denudacional, estructurales y fluviales, se distribuye en toda el área de la cuenca, en las zonas topográficamente accidentadas en los corregimientos de Guachaca, Bonda, Taganga, Minca y en sectores del casco urbano pertenecientes al municipio de Santa Marta, y en las veredas Jolonura, Mamonal, Región Córdoba, Lourdes, Cantarana, y La Reserva del municipio de Ciénaga. ***Amenaza Media por movimientos en masa*** Corresponde al 18,94% del área de la cuenca, se asocia a georfomas que presentan fenómenos de remoción en masa de origen denudacional, moderadamente en rocas blandas localizada distribuidamente en el área de la cuenca en los municipios de Santa Marta y Ciénaga.



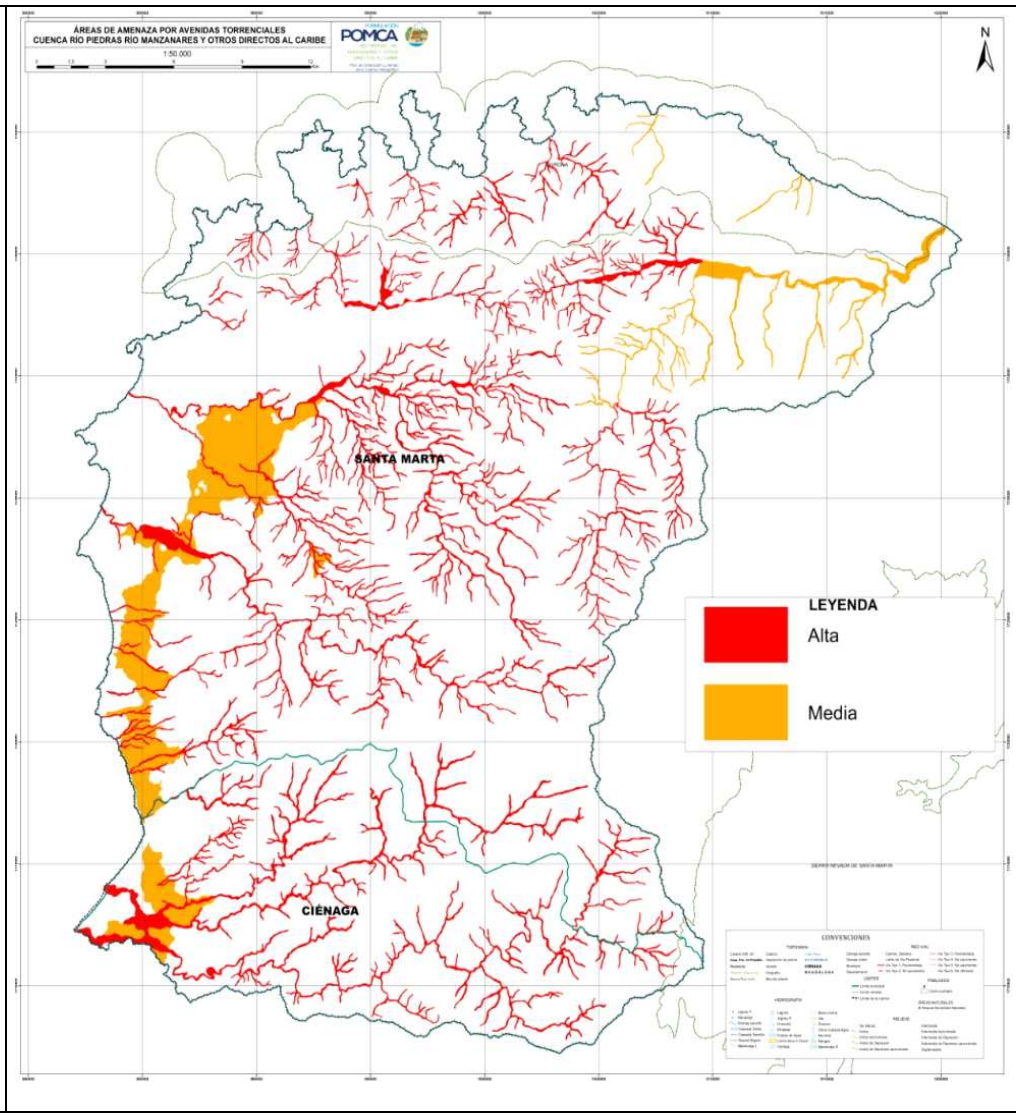
Calle 99 Nº 49 – 19
Telefax: (57-1) 322 38 72
Bogotá, D.C., Colombia
www.pomca.org
e-mail: info@pomca.org

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
Nombre y Sigla	**PORCENTAJES DE ZONAS DE AMENAZA (ALTA Y MEDIA) POR INUNDACIONES**
Objetivo	Evaluar el grado de incidencia de amenaza alta y media en la cuenca hidrográfica por inundaciones
Definición	Define la probabilidad de ocurrencia de eventos de inundaciones en la cuenca.
Fórmula	PHβ = (PPi /Pu) * 100
Variables y Unidades	PHβ = Porcentaje de área en zona de amenaza (i) por tipo de amenaza PP i = Área en zona de amenaza (i) Pu = Área de la cuenca i = Nivel de amenaza (Alta y Media)
Insumos	Mapas de amenaza de inundaciones
Resultados	***Amenaza Alta por inundaciones*** Corresponde a las superficies próximas a los cauces, con diferencias altitudinales menores a 50 m, y pendiente topográfica plana a suavemente inclinada (< 5°); se caracteriza por tener niveles de 0,536m y velocidades de flujo de hasta 67m/s. La categoría representa el 2,15% de área total en ordenación y se presenta en las veredas de Córdoba, Mamonal, Jolonura y La Reserva del municipio de Ciénaga, y en los corregimientos de Guachaca, Bonda, Taganga y Minca pertenecientes al municipio de Santa Marta. ***Amenaza Media por inundaciones*** Zona comprendida entre las manchas de inundación de los periodos de retornos de 15 a 100 años, con diferencias altitudinales menores a 50 m, y pendiente topográfica plana a suavemente inclinada (< 5°); se caracteriza por tener niveles de 0,789m y velocidades de flujo de hasta 84m/s. La categoría representa el 2,04% de área toral de la cuenca, y se encuentra distribuida en toda la cuenca, en las veredas Mamonal, Jolonura del municipio de Ciénaga y en los corregimientos de Guachaca y Taganga del municipio de Santa Marta.



Calle 99 Nº 49 – 19
Telefax: (57-1) 322 38 72
Bogotá, D.C., Colombia
www.pomca.org
e-mail: info@pomca.org

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
Nombre y Sigla	**PORCENTAJES DE ZONAS DE AMENAZA (ALTA Y MEDIA) POR AVENIDAS TORRENCIALES**
Objetivo	Evaluar el grado de incidencia de amenaza alta y media en la cuenca hidrográfica por avenidas torrenciales
Definición	Define la probabilidad de ocurrencia de eventos de avenidas torrenciales en la cuenca.
Fórmula	PHβ = (PPi /Pu) * 100
Variables y Unidades	PHβ = Porcentaje de área en zona de amenaza (i) por tipo de amenaza PP i = Área en zona de amenaza (i) Pu = Área de la cuenca i = Nivel de amenaza (Alta y Media)
Insumos	Mapas de amenaza de avenidas torrenciales
Resultados	***Amenaza Alta por avenidas torrenciales*** La amenaza por avenidas torrenciales en el área de la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y otros directos al Caribe, presenta categoría alta con un porcentaje de 7,77% del área total de la cuenca, en los sectores donde se identificaron los cauces de quebradas, planicies de inundación y geoformas que muestran procesos morfodinámicos activos, distribuida sobre los cauces con mayor pendiente en toda el área de la cuenca, principalmente en las veredas mamonal, Jolonura, La reserva, Cantarana, Lourdes y región Córdoba en el municipio de Ciénaga al sur de la cuenca, y en los corregimientos de Minca, Bonda, Taganga, Guacháca y Conurbación rural en el municipio de Santa Marta. ***Amenaza Media por avenidas torrenciales*** Se presenta categoría media con un porcentaje de 4,61% del área total de la cuenca, localizada en las veredas Mamonal y Jolonura del municipio de Ciénaga y en los corregimientos de Minca, Bonda y Guacháca en el municipio de Santa Marta.



Calle 99 Nº 49 – 19
Telefax: (57-1) 322 38 72
Bogotá, D.C., Colombia
www.pomca.org
e-mail: info@pomca.org

BIBLIOGRAFÍA

Cadena M., Amenazas costeras, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, Bogotá, mayo 2010.

Castro, J. A. 2007. Deslizamientos y Avenidas Torrenciales. En: Cosmos, Año 10, No. 41, agosto 2007.

Correa, A. 1988. Análisis geomorfológico del evento de la quebrada La Hueso el 20 de octubre de 1984 y su significado para planificadores de obra en el Valle de Aburrá. En: Memorias 2da Conferencia sobre riesgos geológicos en el Valle de Aburra. Medellín.

Consorcio Evaluación de Riesgos Naturales – América Latina – ERN- (2011). Informe Técnico ERN-CAPRA-T1-3: Modelos de evaluación de amenazas y selección. Bogotá, D.C.: ERN

Colmenares F., Mesa A., Roncancio H., Et al. Geología de las Planchas 11,12,13,14,18,19,20,21,25,26,27,33 y 34. Proyecto "Evolución Geohistorica de la Sierra Nevada de Santa Marta". Bogotá, INGEOMINAS, 2007.

Congreso de la república de Colombia. Ley 1523 de 24 de 2012. Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones.

Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de las Cuencas Hidrográficas POMCAS. Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá. 2014.

Guzmán W., Posada B., Guzmán G., Programa Nacional de Investigación para la Prevención, Mitigación y Control de la Erosión Costera en Colombia – PNIEC. Invemar, Santa Marta. 2009.

INGEOMINAS, 1996. Inventario Nacional de Desastres Naturales. INGEOMINAS, Medellín, Informe Interno 1920 - 1996.

INGEOMINAS, 2009. Formulación de una guía metodológica para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa tipo flujo: caso piloto cuenca quebrada La Negra, Utica – Cundinamarca.

INGEOMINAS, 2010. Universidad Nacional De Colombia, Mapa Nacional de Amenaza Sísmica. Periodo de retorno 475 años, escala 1: 1.500.000.

Metodologías de análisis de Riesgo. Resolución 004/09 del FOPAE. Alcaldía Mayor de Bogotá. 2014.

Metodologías de análisis de Riesgo. Resolución 004/09 del FOPAE. Alcaldía Mayor de Bogotá. 2014.

Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible, Ministerio De Hacienda, Fondo De Adaptación. Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas. Bogotá D.C., 2014

OSSO – La Red, 2003. Guía metodológica de DesInventar. Sistema de Inventario de Desastres.

Posada B., Henao W. Diagnóstico de la Erosión en la zona costera del Caribe Colombiano. INVEMAR. Santa marta, Colombia 2007.

Protocolo Para la Incorporación de la gestión del riesgo en los planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas, 2014. MINAMBIENTE, MINHACIENDA, Fondo De Adaptación.

Rangel N., Contribución Antropogénica a los cambios geomorfológicos y evolución reciente de la costa Caribe Colombina. Revista Gestión y Ambiente Vol. 12- No.2. Medellín, Mayo a agosto de 2009.

Rendón, G. 1997. La Hidráulica Torrencial. En: DYNA, vol. 22.

Urrea, H. y Vásquez, G. 1996. Caracterización, cartografía y estrategias de manejo de las cuencas hidrográficas torrenciales del municipio de Guatapé. Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Wilches G. La vulnerabilidad Global, 1993.

ANEXOS.

Capítulo 3. Caracterización Histórica de Amenazas y Eventos Amenazantes

ANEXO 1.	Encuesta comunidades.
ANEXO 2.	Inventario eventos amenazantes.
ANEXO 3.	Recolección datos MM.
ANEXO 4	Registro fotográfico.
ANEXO 5.	Catálogo eventos amenazantes.
ANEXO 6	Localización preliminar eventos históricos.

Capítulo 4. Identificación, Clasificación y Caracterización de Fenómenos Amenazantes y Evaluación de la Amenaza.

ANEXO 7.	Análisis estadístico Movimientos en Masa.
ANEXO 8.	Susceptibilidad por Movimientos en Masa
ANEXO 9.	Susceptibilidad por inundaciones.
ANEXO 10.	Susceptibilidad por incendios forestales.
ANEXO 11.	Susceptibilidad por avenidas torrenciales.
ANEXO 12.	Amenaza por Movimientos en Masa
ANEXO 13.	Amenaza por inundaciones
ANEXO 14.	Amenaza por Incendios Forestales
ANEXO 15.	Amenaza por Avenidas Torrenciales
ANEXO 16.	Memoria Calculo Amenaza Sequía
ANEXO 17.	Erosión Costera

Capítulo 5. Vulnerabilidad.

ANEXO 18.	Panel Gestión del Riesgo
ANEXO 19.	Análisis de Vulnerabilidad

Capítulo 6. Vulnerabilidad.

ANEXO 20.	Análisis de Riesgos