



# POMCA

## RÍO SUCIO ALTO



## **FASE DE DIAGNÓSTICO**

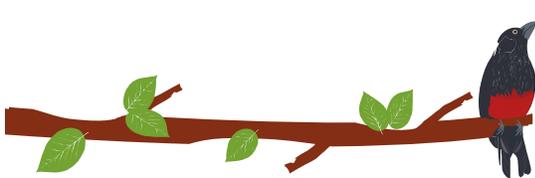
### **CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE RIESGO**

JUNIO DE 2018

CONTRATO No: 200-10-01-09-0240-2017

CONESTUDIOS S.A.S  
NIT.811.044.748-1  
PBX: 456 18 27

Carrera 46#45 #10. Oficinas 211-212. Bello, Antioquia



## FASE DE DIAGNÓSTICO

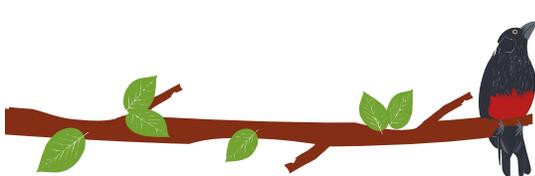
### TOMO II

#### REGISTRO DE APROBACIÓN:

Versión N°	Elaboró:	Revisó: (Pendiente)	Aprobó: (Pendiente)	Fecha:
		CONESTUDIOS S.A.S	CORPOURABA	Entidad: Funcionario: Cargo:

#### REGISTRO DE MODIFICACIONES:

REVISIÓN		DESCRIPCIÓN DE LAS MODIFICACIONES
Número	Fecha	
1	00/00/2018	Ajustes de acuerdo a concepto técnico de CORPOURABA n° _____ del (dd/mm/aaaa) _____
2	00/00/2018	Ajustes de acuerdo a concepto técnico de CORPOURABA n° _____ del (dd/mm/aaaa) _____



## TABLA DE CONTENIDO

<b>7</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL RIESGO .....</b>	<b>11</b>
7.1	OBJETIVO .....	12
7.2	ALCANCES Y LIMITACIONES.....	12
7.3	DEFINICIONES BASICAS .....	14
7.4	CARACTERIZACIÓN HISTÓRICA DE AMENAZAS Y EVENTOS AMENAZANTES ...	20
7.4.1	<i>Metodología .....</i>	<i>20</i>
7.4.2	<i>Registro y análisis de eventos históricos .....</i>	<i>22</i>
7.4.3	<i>Bases de datos consultadas.....</i>	<i>23</i>
7.4.4	<i>Identificación de eventos históricos .....</i>	<i>31</i>
7.5	CARACTERÍSTICAS DE LA AMENAZA EN LA CUENCA DEL RÍO SUCIO ALTO .....	43
7.5.1	<i>Identificación, clasificación y caracterización de fenómenos amenazantes y evaluación de la amenaza por movimientos en masa .....</i>	<i>43</i>
7.5.2	<i>Identificación, clasificación y caracterización de fenómenos amenazantes y evaluación de la amenaza por inundación.....</i>	<i>145</i>
7.5.1	<i>Identificación, clasificación y caracterización de fenómenos amenazantes y evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales .....</i>	<i>162</i>
7.5.2	<i>Identificación, clasificación y caracterización de fenómenos amenazantes y evaluación de la amenaza por incendios forestales .....</i>	<i>185</i>
7.6	ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE VULNERABILIDAD.....	213
7.6.1	<i>Exposición.....</i>	<i>214</i>
7.6.2	<i>Fragilidad.....</i>	<i>219</i>
7.6.1	<i>Falta de Resiliencia (IR).....</i>	<i>234</i>
7.6.2	<i>ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD.....</i>	<i>235</i>
7.7	ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE RIESGO.....	240
7.7.1	<i>Zonas de amenaza y riesgo por movimientos en masa .....</i>	<i>243</i>
7.7.2	<i>Zonas de amenaza y riesgo por inundaciones .....</i>	<i>244</i>
7.7.3	<i>Zonas de amenaza y riesgo por avenidas torrenciales.....</i>	<i>247</i>
7.7.4	<i>Zonas de amenaza por incendios de coberturas vegetales.....</i>	<i>249</i>
7.8	RECOMENDACIONES E IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES DE INFORMACIÓN	252
7.8.1	<i>Generales de vulnerabilidad y riesgo .....</i>	<i>254</i>

### Listado de Tablas

Tabla 168.	Afectaciones presentadas en la cuenca .....	30
Tabla 169.	Factores de propensividad a la generación de inestabilidad en la Cuenca del Río Sucio Alto.....	45
Tabla 170.	Calificación y categorización de curvatura del terreno.....	56
Tabla 171.	Calificación y categorización de curvatura del terreno con respecto al perfil .....	59
Tabla 172.	Calificación y categorización de la orientación de la ladera .....	64
Tabla 173.	Calificación y categorización de la distancia a cuerpos de agua .....	70
Tabla 174.	Calificación y categorización de la distancia a vías.....	70
Tabla 175.	Calificación y categorización de la distancia a canteras .....	74



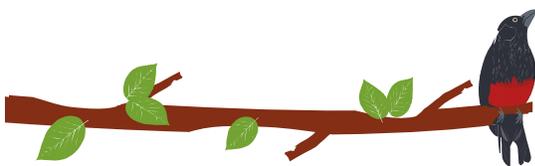


Tabla 176. Propensividad a inestabilidad según origen o del tipo de unidad geológica	76
Tabla 177. Propensividad a inestabilidad según tipo de subunidad geomorfológica ....	79
Tabla 178. Propensividad a inestabilidad según tipo de cobertura vegetal .....	81
Tabla 179. Prueba de Kolmogorov-Smirnov de la muestra .....	91
Tabla 180. Análisis factorial y matriz de correlación .....	92
Tabla 181. Prueba T (estadísticas de grupo).....	93
Tabla 182. Prueba ANOVA .....	93
Tabla 183. Parámetros geotécnicos obtenidos para las UGS de la cuenca Río Sucio Alto. .....	102
Tabla 184. Valores de precipitación utilizados en los escenarios de análisis en la evaluación de amenaza por MM para la Cuenca Río Sucio Alto.....	109
Tabla 185. Registro de eventos por movimientos en masa en la cuenca Río Sucio Alto fuente: desinventar 2018, SIMMA, levantamiento en campo. ....	112
Tabla 186. Escenarios de análisis de escenarios de evaluación de amenaza por MM	117
Tabla 187. Clasificación de los perfiles de suelo .....	120
Tabla 188. Tipo de perfil por Unidad Geológica Superficial .....	121
Tabla 189. Valores propuestos coeficiente Fa. ....	122
Tabla 190. Clasificación grupo de uso.....	122
Tabla 191. Grados de estabilidad según rangos del FS para MM.....	125
Tabla 192. Criterio para la clasificación de la amenaza en función de la probabilidad anual de falla.....	130
Tabla 193. Categorías de la amenaza por movimientos en masa presente en la Cuenca Río Sucio Alto.....	139
Tabla 194. Información usada en la modelación de susceptibilidad y amenaza por inundación.....	146
Tabla 195. Susceptibilidad por subunidades geomorfológicas a inundaciones.....	149
Tabla 196. Susceptibilidad por unidades de terreno a inundaciones.....	152
Tabla 197. Categorización de la recurrencia de los eventos de inundación.....	159
Tabla 198. Información utilizada para la modelación de susceptibilidad y amenaza por avenidas torrenciales en la Cuenca Río Sucio Alto. ....	163
Tabla 199. Relaciones para categorizar el índice morfométrico .....	164
Tabla 200. Relaciones entre variables morfométricas para la categorización del índice .....	165
Tabla 201 . Cálculo del índice morfométrico para las subcuencas jerarquizadas .....	166
Tabla 202. Clasificación del índice de vulnerabilidad (IV) .....	169
Tabla 203. Susceptibilidad de subunidades geomorfológicas a eventos torrenciales.	170
Tabla 204. Susceptibilidad de unidades del terreno a eventos torrenciales .....	173
Tabla 205. Categorización de la recurrencia de los eventos de avenidas torrenciales	175
Tabla 206. Categorización de la recurrencia de los eventos de avenidas torrenciales	181

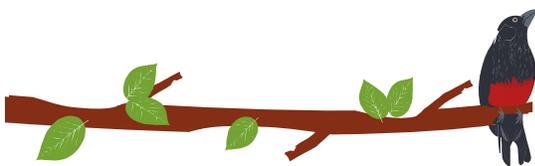


Tabla 207. Tipo de combustible predominante .....	188
Tabla 208. Calificación de la duración de combustibles .....	191
Tabla 209. Tipo de cobertura y su carga de combustible .....	194
Tabla 210. Calificación de la precipitación media anual de la cuenca .....	200
Tabla 211. Calificación de la temperatura media anual de la cuenca .....	202
Tabla 212. Distribución de los porcentajes de pendientes de la cuenca. ....	204
Tabla 213. Calificación de las pendientes de la cuenca.....	204
Tabla 214. Categorías de la amenaza por la accesibilidad. ....	206
Tabla 215. Matriz de comparación por pares para variables de exposición.....	217
Tabla 216. Pesos asignados para variables de exposición (vector de valores propios) .....	217
Tabla 217. Fragilidad física .....	219
Tabla 218. Valores ICV y categorías para la evaluación de coberturas "tejido urbano" y "tejido urbano discontinuo".....	224
Tabla 219. Categorías para la evaluación de la "fragilidad cultural". ....	224
Tabla 220. Indicador de la fragilidad de ecosistemas estratégicos. ....	230
Tabla 221. Indicador de fragilidad propuesto.....	232
Tabla 222. Indicador de la Falta de resiliencia económica. ....	234
Tabla 223. Niveles de vulnerabilidad propuestos para POMCAS.....	238
Tabla 224. Matriz propuesta para la Categorización de niveles de riesgo del IRt para la zona de estudio con amenaza determinística Referencia. ....	242

### Listado de Figuras

Figura 21. Esquema conceptual y metodológico seguido para la incorporación de la gestión del riesgo en el POMCA Ríosucio Alto. Recuperado de (Fondo Adaptación, 2014). .....	21
Figura 22. Formato para el catalogo. Recuperado de (Fondo Adaptación, 2014). ....	22
Figura 23. Esquema metodológico utilizado para realizar el inventario de eventos históricos en el POMCA Río Sucio Alto. Recuperado de Fondo de Adaptación (2014)..	22
Figura 24. Ubicación de los registros históricos de movimientos en masa, periodo 1942– 2016. Elaboración propia. ....	25
Figura 25. Ubicación de los registros históricos de avenidas torrenciales, periodo 1969– 2014. Elaboración propia. ....	26
Figura 26. Ubicación de los registros históricos de vendavales, periodo 2015–2016. Elaboración propia. ....	27
Figura 27. Ubicación de los registros históricos de inundaciones, periodo 1982 - 2012. Elaboración propia. ....	28
Figura 28. Ubicación de los registros históricos de sismos, periodo 1982 - 2012. Elaboración propia. ....	29



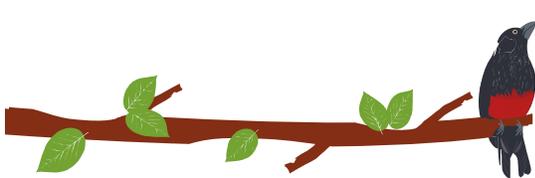


Figura 29. Avenida torrencial municipio de Frontino (23/04/2011). El Colombiano, 2011. ....	32
Figura 30. Deslizamiento municipio de Dabeiba (11/10/2016). Recuperado de: El Colombiano, 2016. ....	35
Figura 31. Localización de movimientos en masa consultados de SIMMA. Recuperado de Servicio Geológico Colombiano (2018). ....	36
Figura 32. Metodología para obtener susceptibilidad a movimientos en masa .....	44
Figura 33. Muestra de sitios estables e inestables .....	47
Figura 34. Modelo de Elevación Digital-DEM. Fuente: elaboración propia .....	50
Figura 35. Factores condicionantes derivados de las características geométricas de la ladera .....	51
Figura 36. Propensividad a inestabilidad por pendiente de la ladera .....	53
Figura 37. Propensividad a inestabilidad por pendiente senoidal de la ladera .....	54
Figura 38. Propensividad a inestabilidad por rugosidad .....	55
Figura 39. Propensividad a inestabilidad por curvatura del terreno .....	57
Figura 40. Propensividad a inestabilidad por curvatura del terreno con respecto al perfil .....	58
Figura 41. Propensividad a inestabilidad por curvatura del terreno respecto al plano horizontal .....	60
Figura 42. Propensividad a inestabilidad por insolación .....	62
Figura 43. Propensividad a inestabilidad por orientación de la ladera .....	63
Figura 44. Propensividad a inestabilidad por acumulación de la cuenca .....	65
Figura 45. Propensividad a inestabilidad por longitud de cuenca acumulada .....	66
Figura 46. Factores condicionantes derivados de las variables con relación de proximidad .....	68
Figura 47. Propensividad a inestabilidad por proximidad de la distancia a drenajes Fuente:Elaboración propia .....	69
Figura 48. Distancia euclidiana desde cada punto del terreno hasta la vía mas cercana .....	71
Figura 49. Densidad de fracturamiento. Fuente: Elaboración propia .....	72
Figura 50. Propensividad a inestabilidad por proximidad de la distancia a fallas y lineamientos fotogeológicos .....	73
Figura 51. Propensividad a inestabilidad por proximidad de la distancia a canteras ...	74
Figura 52. Factores condicionantes derivados de las variables categóricas .....	76
Figura 53. Propensividad por origen o del tipo de unidad geológica .....	78
Figura 54. Propensividad por tipo de unidad geomorfología .....	79
Figura 55. Propensividad por tipo de cobertura .....	83
Figura 56. Propensividad por tipo de unidad UGS .....	85
Figura 57. Histogramas de distribución de las variables de entrada de la función discriminante .....	91



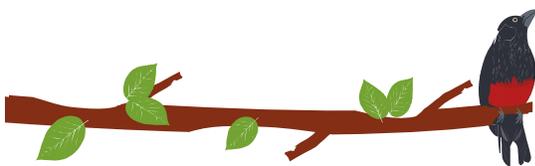


Figura 58. Susceptibilidad a movimientos en masa de la cuenca Río Sucio Alto.....	99
Figura 59. Mapa conceptual para la evaluación de la amenaza por MM en POMCA (parte 1).....	101
Figura 60. Clasificación de suelos de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS) y espesor de las Unidades Geológicas Superficiales presentes en la cuenca Río Sucio Alto.....	103
Figura 61. Cohesión, ángulo de fricción, peso unitario y capacidad de almacenamiento para los suelos de la cuenca Río Sucio Alto. ....	104
Figura 62. Precipitación media anual para la Cuenca Río Sucio Alto. ....	107
Figura 63. Curva I-D-F estación Hacienda Cotove .....	108
Figura 64. Capacidad de recarga/descarga de los materiales presentes en la Cuenca Río Sucio Alto. ....	110
Figura 65. Posición del nivel freático (Zw) para diferentes períodos de retorno. ....	111
Figura 66. Valores de aceleración sísmica para la cuenca Río Sucio Alto (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010). ....	119
Figura 67. Reclasificación de la pendiente mostrando las zonas de cambios topográficos con pendientes mayores de 40° Fuente: Elaboración propia a partir del DEM. ....	123
Figura 68. Amplificación sísmica, calculada a partir de valores de aceleración máxima horizontal a nivel de terreno firme (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010). ....	124
Figura 69. Factor de seguridad para escenarios seco sin sismo y con sismo.....	127
Figura 70. Factor de seguridad para escenarios de 2 años saturado sin sismo y con sismo. ....	127
Figura 71. Factor de seguridad para escenarios 20 años saturado sin sismo y con sismo. ....	128
Figura 72. Factor de seguridad para escenarios de 50 años saturado sin sismo y con sismo.....	128
Figura 73. Factor de seguridad para periodo de retorno de 100 años saturado sin sismo y con sismo. ....	129
Figura 74. Probabilidad de ocurrencia de un movimiento en masa en la Cuenca Río Sucio Alto, para el escenario con sismo, sin sismo.....	130
Figura 75. Amenaza Relativa por Movimientos en masa en la Cuenca del Río Sucio Alto. ....	133
Figura 76. Deslizamiento de tipo rotacional en la cuenca alta del río Cañasgordas, donde se evidencia el escarpe o zona de inicio (e), cuerpo o zona de depósito (d) sobre suelo residual de las litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu), estación GJAM-09, vía Nacional Medellín – Turbo, vereda El Madero, municipio de Cañasgordas, Antioquía, coordenadas (1119730E - 1235601N). ....	134
Figura 77. Movimiento en masa tipo deslizamiento, donde se evidencia el escarpe o zona de inicio (e), cuerpo o zona de depósito (d) sobre suelo residual de las litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu), estación GJAM-11, vía Nacional Medellín – Turbo, Cañasgordas, Antioquía, coordenadas (1116082E - 1238881N). ....	135



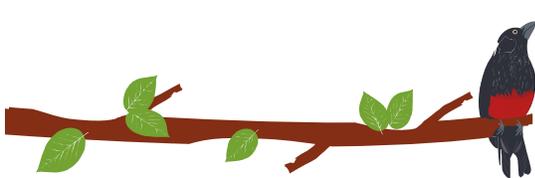


Figura 78. Deslizamiento de gran magnitud presentado sobre un lomo denudado ubicado en el corregimiento de Camparrusia, municipio de Dabeiba, Antioquía. Estación GJAM-47, cuyas coordenadas son: N 1265800, E 1114838. ....	136
Figura 79. Flujos de detritos sobre la vía San José de Urama-Camparrusia. Estación GJAM-46, cuyas coordenadas son: N 1266055, E 1115105. ....	137
Figura 80. Zonificación final de la amenaza por los movimientos en masa en la Cuenca del Río Sucio Alto. ....	138
Figura 81. Deslizamiento rotacional estabilizado sobre la vía Dabeiba-Mutatá, en los cuales se observa la magnitud del mismo. Estación GJAM-23, cuyas coordenadas son: N 1267077, E 1087173. ....	140
Figura 82. Cono de talus (Dct), en los cuales se observa la acumulación de bloques. escarpe o zona de inicio (e) del deslizamiento, cuerpo o zona de depósito (d). Estación GJAM-18, cuyas coordenadas son: N 1255644, E 1111860. ....	141
Figura 83. Flujos de detritos sobre la vía San José de Urama-Camparrusia. Estación GJAM-46, cuyas coordenadas son: N 1266055, E 1115105. ....	141
Figura 84. Flujos de lodo y tierra (Dlfl) sobre la vía Abriaquí-Corcovado. Estación GJAM-37, cuyas coordenadas son: N 1265800, E 1114838. ....	142
Figura 85. Diagrama de flujo para la evaluación de la susceptibilidad por inundaciones fluviales lentas. Fuente: Recuperado de (Fondo Adaptación, 2014). ....	146
Figura 86. Variables que determinan a la zonificación de la susceptibilidad a la amenaza por inundaciones ....	148
Figura 87. Susceptibilidad por subunidades geomorfológicas a inundaciones. ....	151
Figura 88. Susceptibilidad por unidades de terreno a inundaciones. ....	153
Figura 89. Susceptibilidad a inundaciones por eventos históricos en subunidades geomorfológicas ....	154
Figura 90. Susceptibilidad a inundaciones por eventos históricos en unidades de terreno. Fuente: Elaboración propia. ....	155
Figura 91. Susceptibilidad por inundaciones. ....	157
Figura 92. Variables para la modelación de la amenaza por inundaciones. Fuente: Elaboración propia. ....	158
Figura 93. Amenaza por inundación en la cuenca del Río Sucio Alto ....	161
Figura 94. Diagrama de flujo para la evaluación de la susceptibilidad por avenidas torrenciales.....	162
Figura 95. Distribución espacial del Índice Morfométrico de Torrencialidad en las subcuencas del RSA. ....	168
Figura 96. Susceptibilidad por unidades geomorfológicas a avenidas torrenciales....	172
Figura 97. Susceptibilidad de unidades del terreno a eventos torrenciales.....	174
Figura 98. Susceptibilidad a avenidas torrenciales por eventos históricos en subunidades geomorfológicas. ....	176
Figura 99. Susceptibilidad a avenidas torrenciales por eventos históricos en unidades de terreno.....	177
Figura 100. Susceptibilidad por avenidas torrenciales.....	179
Figura 101. Variables para la modelación de la amenaza por avenidas torrenciales .	181



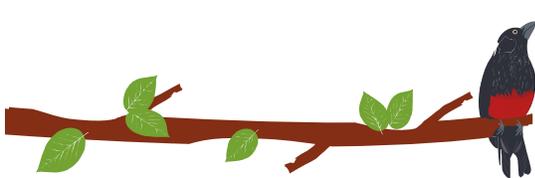


Figura 102. Amenaza por avenidas torrenciales. ....	183
Figura 103. Variables que determinan a la zonificación de la susceptibilidad de la cobertura vegetal a sufrir incendios forestales .....	187
Figura 104. Tipo de combustible predominante en la cuenca Río Sucio Alto. ....	190
Figura 105. Duración combustible. ....	193
Figura 106. Carga total combustible. ....	196
Figura 107. Mapa de susceptibilidad por incendios forestales. ....	198
Figura 108. Variables para la modelación de la amenaza por incendios forestales ...	199
Figura 109. Propensividad de acuerdo con la precipitación media anual. ....	201
Figura 110. Propensividad de acuerdo con la temperatura media anual. ....	203
Figura 111. Propensividad de acuerdo con los porcentajes de pendiente de la cuenca. ....	205
Figura 112. Calificación de la accesibilidad en función a la amenaza a incendios forestales. ....	207
Figura 113. Espacialización de eventos históricos por incendios forestales en el periodo 2000-2013. ....	209
Figura 114. Calificación del factor histórico en función a la amenaza a incendios forestales. ....	210
Figura 115. Amenaza por incendios forestales. ....	212
Figura 116. Variables que incluyen la exposición de función a la vulnerabilidad .....	214
Figura 117. Valor de uso o valor físico. ....	215
Figura 118. Valor de ocupación. ....	216
Figura 119. Índice de exposición. ....	218
Figura 120. Variable que incluyen la fragilidad de función a la vulnerabilidad .....	219
Figura 121. Fragilidad física por inundación. Fuente: Elaboración propia .....	220
Figura 122. Fragilidad física por movimienntos en masa. ....	221
Figura 123. Fragilidad física por avenidas torrenciales. ....	222
Figura 124. Fragilidad física por incendios forestales. ....	223
Figura 125. Índice de calidad de vida ICV. ....	225
Figura 126. Índice de necesidades básicas insatisfechas NBI. Fuente: Elaboración propia .....	226
Figura 127. Porcentaje de no escolaridad en la población .....	228
Figura 128. Índice de fragilidad sociocultural. Fuente: elaboración propia .....	229
Figura 129. Índice de fragilidad ecosistémica. ....	231
Figura 130. Índice de fragilidad. Fuente Elaboración propia .....	233
Figura 131. Índice de resiliencia. Fuente: Elaboración propia .....	235
Figura 132. Esquema metodológico seguido para analizar la vulnerabilidad en la Cuenca Río Sucio Alto. ....	236



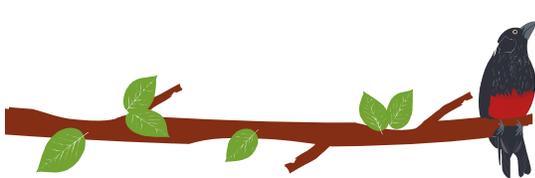


Figura 133. Mapa conceptual para el análisis de la vulnerabilidad en la cuenca Río Sucio Alto (tomado del documento de protocolo). ..... 238

Figura 134. Espacialización del índice de vulnerabilidad general..... 239

Figura 135. Esquema metodológico seguido para analizar el riesgo en el POMCA Río Sucio Alto ..... 241

Figura 136. Riesgos por movimientos en masa. .... 244

Figura 137. Riesgos por inundación..... 246

Figura 138. Riesgos por avenidas torrenciales. .... 248

Figura 139. Riesgos por incendios forestales. .... 250

ETAPA DE PUBLICIDAD



## 7 CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL RIESGO

El presente análisis técnico corresponde a la fase de diagnóstico del proyecto de actualización del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Sucio Alto incluida dentro del plan de incorporación del componente de gestión del riesgo como determinante ambiental del ordenamiento territorial en los procesos de formulación y/o actualización de planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas afectadas por el fenómeno de la niña 2010-2011, en jurisdicción de la Corporación para el Desarrollo Sostenible de Uraba (CORPOURABA). Lo presentado a continuación se centra en la identificación y evaluación de las diferentes amenazas que afectan el área de la cuenca hidrográfica del río Sucio junto con los diferentes factores de vulnerabilidad con el propósito de establecer y delimitar condición de riesgo por cada una de las amenazas presentes en la subzona hidrográfica.

En la medida que cada territorio desarrolle sus instrumentos de ordenamiento con un buen componente de gestión del riesgo, este podrá conocer mejor sus dinámicas y determinar zonas con mayor susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo a los diversos eventos amenazantes. Esto permite formar a los habitantes, asignar recursos financieros y personal para prevenir, mitigar, alertar, responder, rehabilitar y recuperarse ante cualquier evento catastrófico en el marco de la legislación actual si se considera la importancia de la prevención del riesgo en la planeación territorial.

El desarrollo de las metodologías de la gestión del riesgo para el manejo de las cuencas hidrográficas cuenta con un marco normativo que se fue desarrollando desde la Ley 99 de 1993, que incluye dentro de las funciones de las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) la integración de la gestión del riesgo dentro de los procesos de ordenamiento y cuencas. Por otra parte, la Ley 1523 de 2012 designa responsabilidades, principios, definiciones y establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD) y en el específico de cuencas hidrográficas se encuentra el Decreto 1640 de 2012 por el cual "reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos..." y se incluye el componente de gestión del riesgo en la fase de formulación de los respectivos planes de ordenación.

Este documento da cuenta de la Fase de Diagnóstico de acuerdo con el anexo técnico del POMCA de la cuenca hidrográfica del río Sucio, estructurándose de la siguiente forma: Inicialmente se puntualiza el alcance y se determinan las definiciones básicas sobre las que se orienta el desarrollo de la metodología; después se hace una caracterización histórica de amenazas y eventos amenazantes (donde se describe la metodología, se definen las variables a considerar de manera independiente para cada uno de los eventos y posteriormente se realiza un análisis de la zonificación por susceptibilidad y amenaza de acuerdo con las características de la zona evaluada) y finalmente se hace un análisis de las condiciones de vulnerabilidad relacionadas con fragilidad socioeconómica, falta de resiliencia y capacidad de respuesta dentro del análisis de riesgo. Lo anterior se realiza con el fin de establecer la inclusión de cada una de las temáticas en el modelo general para determinar la zonificación de las condiciones y escenarios de riesgo, realizando finalmente las recomendaciones e identificación de necesidades de información e investigación.

## 7.1 OBJETIVO

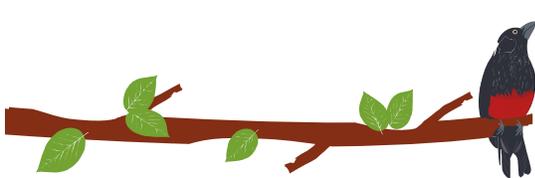
- Aportar para el desarrollo de conocimiento de las condiciones de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de origen natural y socionatural que aporten a la reducción y recuperación en áreas que ha sido o pueden ser afectadas por dichas condiciones.
- Generar herramientas que permitan coordinar y articular entidades públicas y privadas de los sistemas nacional y territoriales de gestión de riesgo y cambio climático desde los aspectos ambientales para realizar acciones tendientes a la protección de la población, sus bienes y sus actividades ante la probabilidad de ocurrencia de eventos de origen natural.
- Identificar, caracterizar y especializar fenómenos que puedan convertirse en una amenaza para mantener el equilibrio entre el aprovechamiento social y económico del suelo, agua, flora y fauna y la conservación de la estructura físico – biótica de la cuenca, particularmente del recurso hídrico.
- Categorizar las zonas de amenazas en baja, media y alta para atender la necesidad de identificar las áreas que requieren intervención correctiva del riesgo existente y prospectiva para anticiparse a nuevas configuraciones de riesgo.
- Incorporar dentro del análisis de amenazas los efectos de la variabilidad climática y cambio climático en términos de consideración de eventos extremos.
- Priorizar acciones dirigidas al conocimiento, reducción del riesgo y recuperación ambiental de los territorios afectados por la manifestación de los fenómenos amenazantes.
- Proporcionar las herramientas técnicas de identificación de amenazas y riesgos para su incorporación en una completa zonificación ambiental de toda la cuenca y soportar las medidas de gestión de riesgo y adaptación a los efectos del cambio climático que se formulen en los programas y proyectos que se desarrollen en adelante.

## 7.2 ALCANCES Y LIMITACIONES

- La evaluación de amenazas, vulnerabilidad y riesgos se realiza en el marco de lo establecido en el Protocolo para la incorporación de la gestión del Riesgo en los POMCA del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Hacienda y Fondo de Adaptación publicado en el año 2014 y es una actualización al POMCA realizado en 2005 que en el componente de riesgos tuvo alcance conceptual y no tuvo como alcance la elaboración de modelos cualitativos o cuantitativos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo.
- La estimación de susceptibilidad a movimientos en masa surge de la evaluación de factores de propensividad como geología, geomorfología, cobertura de suelo, pendiente, insolación, rugosidad, curvatura, presencia de quebradas, vías, fallas geológicas, entre otros, dentro de un análisis multivariante discriminante para la

asignación de coeficientes o pesos dentro de una función discriminante ajustada por una variable agrupación definida como sitios estables e inestables considerando la metodología planteada por Carrara (1991), Baeza (1996), Nuria (2001), Santacana (2003), Cardona (2013) y Perico (2017).

- El cálculo de amenaza por movimientos en masa se acota a la estimación de posibilidad de deslizamiento traslacional superficial mediante métodos determinísticos en función del comportamiento geomecánico de resistencia al corte de suelos en varios escenarios que combinan condiciones de lluvia y sismo.
- El cálculo de susceptibilidad y amenaza por avenidas torrenciales desarrolla el método sugerido por el Protocolo para la incorporación de la gestión del Riesgo en los POMCA.
- La zonificación de susceptibilidad y amenaza por incendios forestales se ejecuta con la metodología del IDEAM sugerida por el Protocolo para la incorporación de la gestión de riesgo en los POMCA.
- La zonificación de susceptibilidad y amenaza de inundación considera los fenómenos de inundaciones lentas evaluadas a partir de criterios geomorfológicos y recurrencia de eventos históricos e inundaciones rápidas por recurrencia de eventos en las quebradas. El fenómeno que se analiza es inundación por desbordamiento de cauces y no por encharcamiento o sobrepaso de la capacidad hidráulica de la red de drenaje urbana, por ello las quebradas que han sido canalizadas en los cascos urbanos se consideran como red de drenaje pluvial urbana y deben aplicar para un análisis de mayor detalle en integralidad con la consolidación del centro poblado. No se emplea información de mayor detalle por no tener cobertura espacial suficiente a lo largo de todo el cauce que permita realizar modelación hidrológica e hidráulica del cauce principal del río Sucio, sin embargo, se considera entre los insumos los estudios realizados por Corpouraba que aplican para escalas regionales y estudios de detalle para las cabeceras municipales.
- La referencia de eventos históricos permite reconocer la recurrencia y afectaciones de los diferentes eventos amenazantes, pero no logra con mucho detalle ser un insumo para análisis espaciales y su incorporación con el rigor necesario en los modelos de cálculo de amenazas, toda vez que su referencia espacial no logra un detalle local. No obstante, es información útil para fortalecer el contexto de cada una de los fenómenos amenazantes identificados en la cuenca.
- La evaluación de vulnerabilidad se calcula y presenta como se solicita en el protocolo para la incorporación del riesgo en los POMCAs con estimación de fragilidad física por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales como variable de diferenciación único de vulnerabilidad para los distintos fenómenos. En el desarrollo del documento se presentan de manera separada las fragilidades y vulnerabilidades para cada evento amenazante, pero se estima la condición de riesgo con la vulnerabilidad general para no redundar variables dentro del modelo de riesgo. Los argumentos técnicos se desarrollan en el



capítulo del modelo de riesgo justificando la conveniencia de no considerar la fragilidad física sugerida por el protocolo.

### 7.3 DEFINICIONES BASICAS

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

**a. Adaptación:** comprende el ajuste de los sistemas naturales o humanos a los estímulos climáticos actuales o esperados o a sus efectos, con el fin de moderar perjuicios o explotar oportunidades beneficiosas. En el caso de los eventos hidrometeorológicos la adaptación al cambio climático corresponde a la gestión del riesgo de desastres en la medida en que está encaminada a la reducción de la vulnerabilidad o al mejoramiento de la resiliencia en respuesta a los cambios observados o esperados del clima y su variabilidad.

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

**c. Análisis discriminante:** técnica estadística que permite identificar las características que diferencian (discriminan) a dos o más grupos y de esta manera crear una función capaz de distinguir con la mayor precisión posible a los miembros de uno u otro grupo.

**d. Avenida torrencial:** creciente súbita que por las condiciones geomorfológicas de la cuenca está compuesta por un flujo de agua con alto contenido de materiales de arrastre, con un gran potencial destructivo debido a su alta velocidad. Son uno de los tipos más comunes de amenazas y son extremadamente peligrosas debido a su naturaleza rápida. Sus características son: corta duración, pequeña extensión de área de influencia, alto caudal pico y flujo rápido generalmente causantes de daños importantes a la propiedad. Ocurren a causa de tormentas de alta intensidad, en áreas de altas pendientes en las cuencas y cobertura vegetal pobre y se ven afectadas de

manera importante cuando el índice de infiltración se reduce por tormentas previas. Se pueden subdividir de acuerdo con el material de arrastre de la corriente (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

**e. Evento:** cualquier acontecimiento que probablemente pueda ocurrir en una posición y momento determinados, que lo definen como un punto en el espacio-tiempo y que representa a la fuente en términos de las respectivas características, dimensiones y localización geográfica (Portilla M. , 2001).

**f. Exposición (elementos expuestos):** se refiere a la presencia de personas, medios de subsistencia, servicios ambientales y recursos económicos y sociales, bienes culturales e infraestructura que por su localización pueden ser afectados por la manifestación de una amenaza.

**g. Factores condicionantes:** cualquier acontecimiento, circunstancia, suceso o situación previa que predispone o prepara las condiciones de la fuente ante la materialización de un evento. La caracterización de estos factores, así como la identificación de sus interacciones, permite la incorporación en la zonificación de la susceptibilidad y de esta manera en la evaluación de la respectiva amenaza para un área determinada (Glade & Crozier, 2005).

**h. Factores detonantes:** también llamados desencadenantes y corresponden a cualquier acontecimiento, circunstancia, suceso o caso posible que genere una perturbación de la fuente y conlleve a la materialización de un evento (Portilla M. , 2012).

**i. Fuente:** lugar o sitio donde se puede generar un evento.

**j. Gestión del riesgo:** de acuerdo al artículo 4, numeral 11 de la Ley 1523 de 2012, "es el proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia del mismo, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación, entiéndase: rehabilitación y reconstrucción. Estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible".

**k. Inundaciones:** las inundaciones son fenómenos hidrológicos resultado de la dinámica de una corriente. Se producen por lluvias persistentes y generalizadas ocasionando un aumento progresivo del nivel de las aguas que sobrepasa la capacidad de retención del suelo y supera la altura de las orillas naturales o artificiales, ocasionando

un desbordamiento y dispersión de las aguas sobre las llanuras de inundación y zonas aledañas a los cursos de agua normalmente no sumergidas.

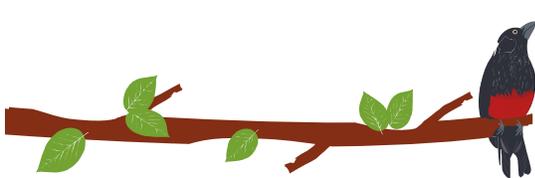
**Inundaciones lentas:** son las que ocurren en las zonas planas de los ríos y con valles aluviales extensos, los incrementos de nivel diario son de apenas del orden de centímetros, reportando afectaciones de grandes extensiones, pero usualmente pocas pérdidas de vidas humanas, el tiempo de afectación puede fácilmente llegar a ser del orden de meses (Modificado de (IDEAM, 2016)).

**Inundaciones rápidas:** son las que ocurren en las zonas confinadas de los cuerpos de agua tras la ocurrencia de crecientes súbitas de caudal generándose desbordamiento de los cauces, el cual ocurre y desaparece rápidamente.

**I. Inventario:** es una base de datos que contiene información de los eventos históricos en un área determinada, básicamente corresponde a registros identificados combinados con información de su descripción como resultado de la ocurrencia de un evento y se utiliza como insumo de información básica para el análisis de la susceptibilidad junto con los factores condicionantes y extrínsecos o detonantes de los eventos amenazantes identificados. Dentro de las limitaciones que presenta la elaboración de un inventario se encuentra el determinar si este es confiable, suficiente y completo (Turcotte & Malamud, 2000); (Guzzetti, Reichenbach, Cardinali, & Galli, 2005), ya que se encuentra sujeto a la calidad y cantidad de información que se recopile y se interprete durante el proceso de elaboración del mismo. En consecuencia, un inventario incompleto o poco confiable puede dar como resultado una evaluación errónea de la susceptibilidad, la amenaza o el riesgo.

**m. Movimiento en masa:** equivale a definiciones como procesos de remoción en masa, fenómenos de remoción en masa, deslizamientos o fallas de taludes y laderas. La terminología y clasificación de movimientos en masa para este documento es conforme a la Guía para la evaluación de amenazas por movimientos en masa propuesta por el Proyecto Multinacional Andino (PMA), adoptada por Colombia (PMA: GCA, 2007), en la que movimientos en masa incluye todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad (Ávila, y otros, 2015).

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



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

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

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

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

**n. Susceptibilidad:** es el grado de predisposición que tiene una fuente a que en él se genere un evento (Escobar, 2007). La susceptibilidad en los estudios de análisis y evaluación de amenazas, constituye la base inicial y el primer paso para el análisis y zonificación de amenazas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

**o. Incendios forestales:** fenómeno que se presenta cuando el fuego consume de forma incontrolada la cobertura vegetal (siendo esta el material combustible dentro del proceso de propagación y duración del fuego), cuya quema no estaba prevista (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, s.f.).

**p. Intervención correctiva:** proceso cuyo objetivo es reducir el nivel de riesgo existente en la sociedad a través de acciones de mitigación, en el sentido de disminuir o reducir las condiciones de amenaza, cuando sea posible, y la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

**q. Intervención prospectiva:** proceso cuyo objetivo es garantizar que no surjan nuevas situaciones de riesgo a través de acciones de prevención, impidiendo que los elementos expuestos sean vulnerables o que lleguen a estar expuestos ante posibles eventos peligrosos. Su objetivo último es evitar nuevos riesgos y la necesidad de intervenciones correctivas en el futuro. La intervención prospectiva se realiza primordialmente a través de la planificación ambiental sostenible, el ordenamiento territorial, la planificación sectorial, la regulación y las especificaciones técnicas, los estudios de prefactibilidad y diseño adecuados, el control y seguimiento y en general todos aquellos mecanismos que contribuyan de manera anticipada a la localización, construcción y funcionamiento seguro de la infraestructura, los bienes y la población.

**r. Mitigación del riesgo:** medidas de intervención prescriptiva o correctiva dirigidas a reducir o disminuir los daños y pérdidas que se puedan presentar a través de reglamentos de seguridad y proyectos de inversión pública o privada cuyo objetivo es reducir las condiciones de amenaza, cuando sea posible, y la vulnerabilidad existente (Ley 1523 de 2012).

**s. Ordenamiento territorial:** el ordenamiento del territorio municipal y distrital comprende un conjunto de acciones político-administrativas y de planificación física concertadas, emprendidas por los municipios o distritos y áreas metropolitanas, en ejercicio de la función pública que les compete, dentro de los límites fijados por la Constitución y las leyes, en orden a disponer de instrumentos eficientes para orientar el desarrollo del territorio bajo su jurisdicción y regular la utilización, transformación y ocupación del espacio, de acuerdo con las estrategias de desarrollo socioeconómico y en armonía con el medio ambiente y las tradiciones históricas y culturales (Ley 388 de 1997).

**t. Paleoinundaciones:** método que identifica zonas de amenaza por inundaciones mediante la disposición y tipología de las formas del terreno y los depósitos generados durante o tras un evento de inundación las cuales no disponen de información histórica registrada o datada. Con ello se pueden delimitar áreas geomorfológicamente activas dentro del cauce fluvial y sus márgenes, y por tanto susceptibles a ser inundadas en el

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

**u. Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica (POMCA):** instrumento a través del cual se realiza la planeación del uso coordinado del suelo, de las aguas, de la flora y la fauna y el manejo de la cuenca entendido como la ejecución de obras y tratamientos, en la perspectiva de mantener el equilibrio entre el aprovechamiento social y económico de tales recursos y la conservación de la estructura físico biótica de la cuenca y particularmente del recurso hídrico (Decreto 1640 de 2012, Art. 18).

**v. Plan de gestión del riesgo de desastres:** es el instrumento que define los objetivos, programas, acciones, responsables y presupuestos, mediante las cuales se ejecutan los procesos de conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y de manejo de desastres, en el marco de la planificación del desarrollo.

**w. Proceso analítico jerárquico:** es el proceso que permite establecer la importancia que tiene cada uno de los factores tenidos en cuenta para la toma de una decisión, cuantificando esta jerarquía de una manera decreciente según la relevancia descrita. Por lo tanto la definición de los factores es el punto de partida que permite una visión global de las relaciones entre los mismos con respecto a la situación a evaluar, indiferente a el tipo de caracterización que represente cada una, lo que permite integrar diferentes temáticas.

**x. Reducción del riesgo:** es el proceso de la gestión del riesgo, está compuesto por la intervención dirigida a modificar o disminuir las condiciones de riesgo existentes, entiéndase: mitigación del riesgo y a evitar nuevos riesgos en el territorio, entiéndase: prevención del riesgo. Son medidas de mitigación y prevención que se adoptan con antelación para reducir la amenaza, la exposición y disminuir la vulnerabilidad de las personas, los medios de subsistencia, los bienes, la infraestructura y los recursos ambientales, para evitar o minimizar los daños y pérdidas en caso de producirse los eventos físicos peligrosos. La reducción del riesgo la componen la intervención correctiva del riesgo existente, la intervención prospectiva de nuevo riesgo y la protección financiera.

**y. Resiliencia:** la capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, lo que incluye la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas.

**z. Riesgo de desastres:** corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, siconatural, tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente, el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad.

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

#### 7.4 CARACTERIZACIÓN HISTÓRICA DE AMENAZAS Y EVENTOS AMENAZANTES

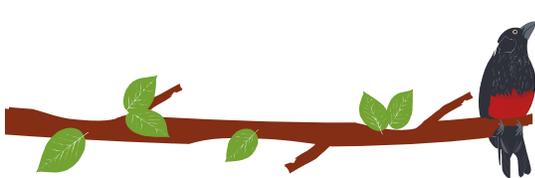
Para la caracterización histórica de amenazas y eventos amenazantes y realizar el análisis situacional de cuenca se enfocó primordialmente a identificar las posibilidades de afectación en la cuenca por la ocurrencia de eventos amenazantes

La presente caracterización de los eventos históricos se realizó de acuerdo a las orientaciones señaladas en la Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas – POMCAS, el protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los POMCA y los alcances técnicos fijados para el contrato de consultoría correspondiente a la Cuenca Hidrográfica del Ríosucio Alto (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

##### 7.4.1 Metodología

La Figura 1, presenta la conceptualización de la gestión del riesgo en el proceso de formulación del plan de ordenación y manejo de la Cuenca Hidrográfica, incluyendo las actividades principales en cada una de las fases (diagnóstico, prospectiva y zonificación y formulación).

La metodología aplicada en la Fase de Diagnóstico de la Cuenca Hidrográfica, para los temas concernientes al registro histórico de eventos, evaluación y consideraciones sobre amenazas, estimación de la vulnerabilidad y valoración del riesgo, se ajustan principalmente a las pautas señaladas tanto en el Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas como en los alcances técnicos que debe cumplir la consultoría para la elaboración del plan de ordenación y manejo de la cuenca, identificada con el código 1202-01 (Fondo Adaptación, 2014).



PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO  
FASE DE FORMULACIÓN

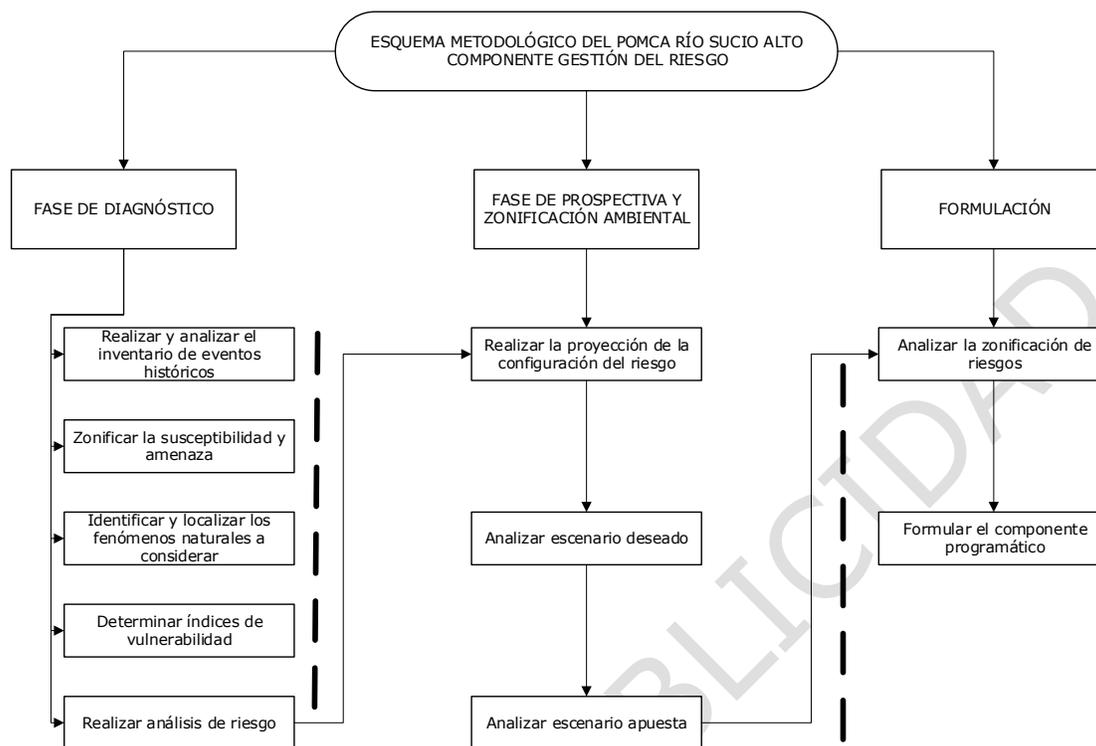
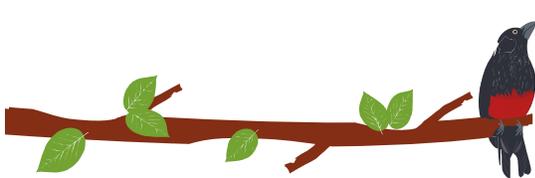


Figura 1. Esquema conceptual y metodológico seguido para la incorporación de la gestión del riesgo en el POMCA Ríosucio Alto. Recuperado de (Fondo Adaptación, 2014).

Adicionalmente, se elaboró un formato a partir de las especificaciones consideradas en los alcances técnicos para la formulación del POMCA (Figura 2), para la recopilación de la información sobre los eventos históricos consultados, una hoja del documento para cada evento, con mínimo la siguiente información (desde que sea posible documentarla):

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



Fecha	Tipo de evento	Nombre del evento	Localización	Descripción	Intensidad	Clasificación	Referencias

Figura 2. Formato para el catalogo. Recuperado de (Fondo Adaptación, 2014).

#### 7.4.2 Registro y análisis de eventos históricos

Para realizar el registro y análisis histórico de los eventos presentados en la cuenca del Riosucio Alto, se desarrolló la matriz catálogo para los fenómenos asociados a movimientos en masa, inundación, avenida torrencial e incendios forestales, presentados en el área de estudio (Figura 3) (Ver [Anexo 107.01](#)). Así mismo para el desarrollo de la caracterización de los eventos ocurridos en la cuenca se realizó la revisión de información secundaria, y la respectiva espacialización de los datos para la salida grafica en función de mapa de recurrencia de eventos retomando las convenciones establecidas por la guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas – POMCAS que se expone a continuación:

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

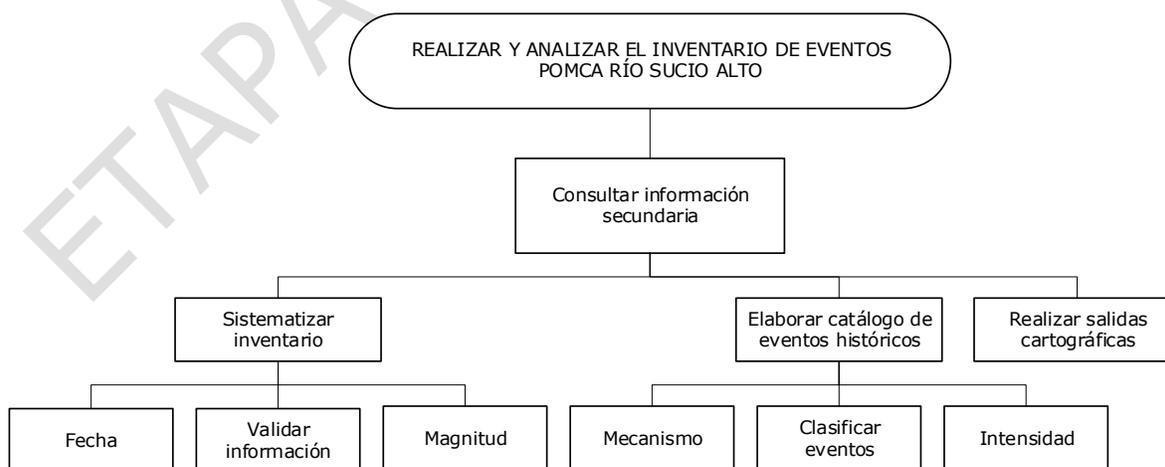
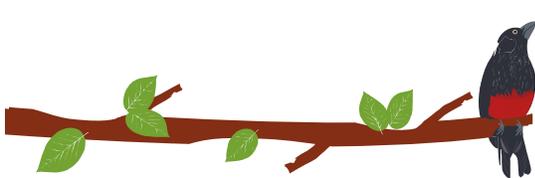


Figura 3. Esquema metodológico utilizado para realizar el inventario de eventos históricos en el POMCA Río Sucio Alto. Recuperado de Fondo de Adaptación (2014).



### 7.4.3 Bases de datos consultadas

- DesInventar: (Sistema de inventario de desastres), es un sistema de adquisición, consulta y despliegue de información sobre desastres de pequeños, medianos y grandes impactos, con base de datos preexistentes, fuentes hemerográficas y reportes de instituciones en nueve países de América Latina (DesInventar, 1994).
- SIMMA: Sistema de información de movimientos en masa, El sistema de información de movimientos en masa registra, almacena, administra, procesa y visualiza información acerca de los movimientos en masa en Colombia. (SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO, s.f.).
- Otras entidades: Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá – CORPOURABA, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, Alcaldía municipal de Cañasgordas, Alcaldía municipal de Uramita, Alcaldía municipal de Abriaquí y Consejos municipales de gestión del riesgo de desastres.

#### 7.4.3.1 Eventos históricos ocurridos en la cuenca

A partir de la revisión histórica de los eventos ocurridos en la cuenca de Riosucio Alto a través de la plataforma Desinventar, Sistema de Información para Movimientos en Masa SIMMA del Servicio Geológico Colombiano y la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres UNGRD, se identificaron los siguientes eventos en la cuenca en un periodo desde 1942 – 2018.

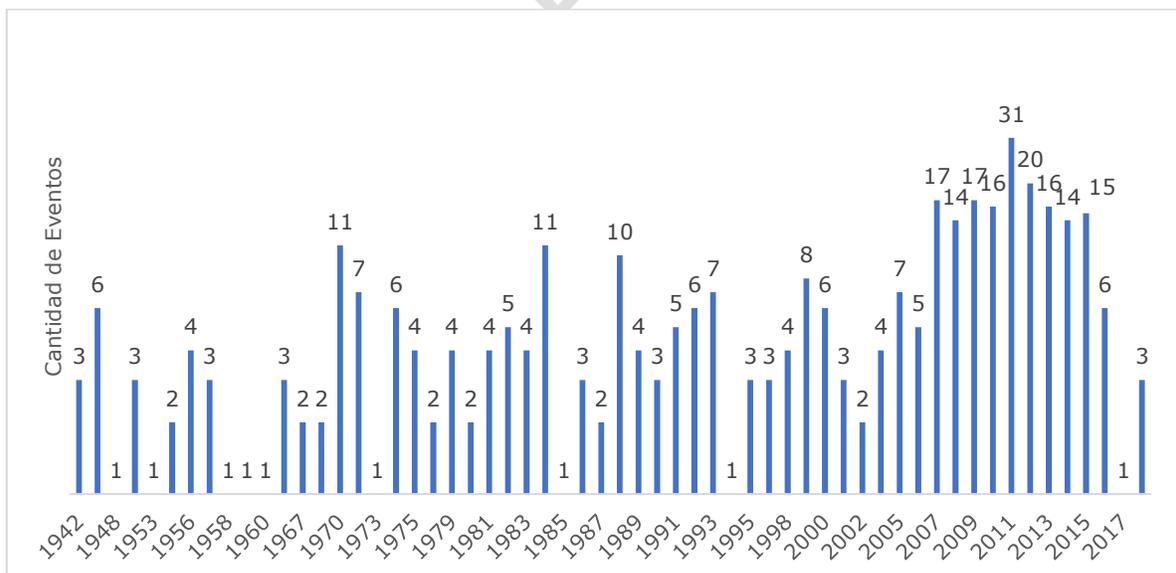
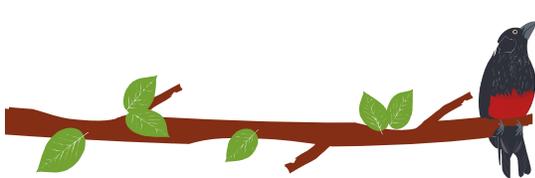


Gráfico 1. Histórico de eventos, período 1942 – 2018. Elaboración propia a partir Servicio Geológico Colombiano, Desinventar y Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2018.

De acuerdo a la identificación de los eventos presentados en la cuenca, a continuación se relaciona el numero eventos presentados para los escenarios reglamentados para la formulación de planes de ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas (movimientos



en masa, inundación, avenida torrencial e incendios forestales) y demás escenarios presentados en la cuenca de Riosucio alto.

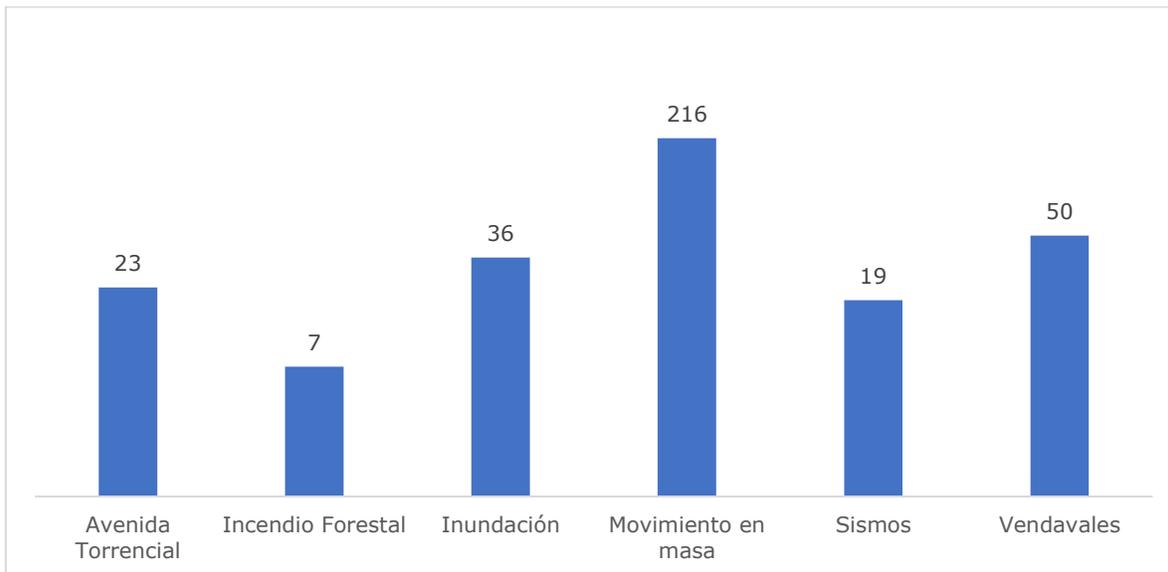
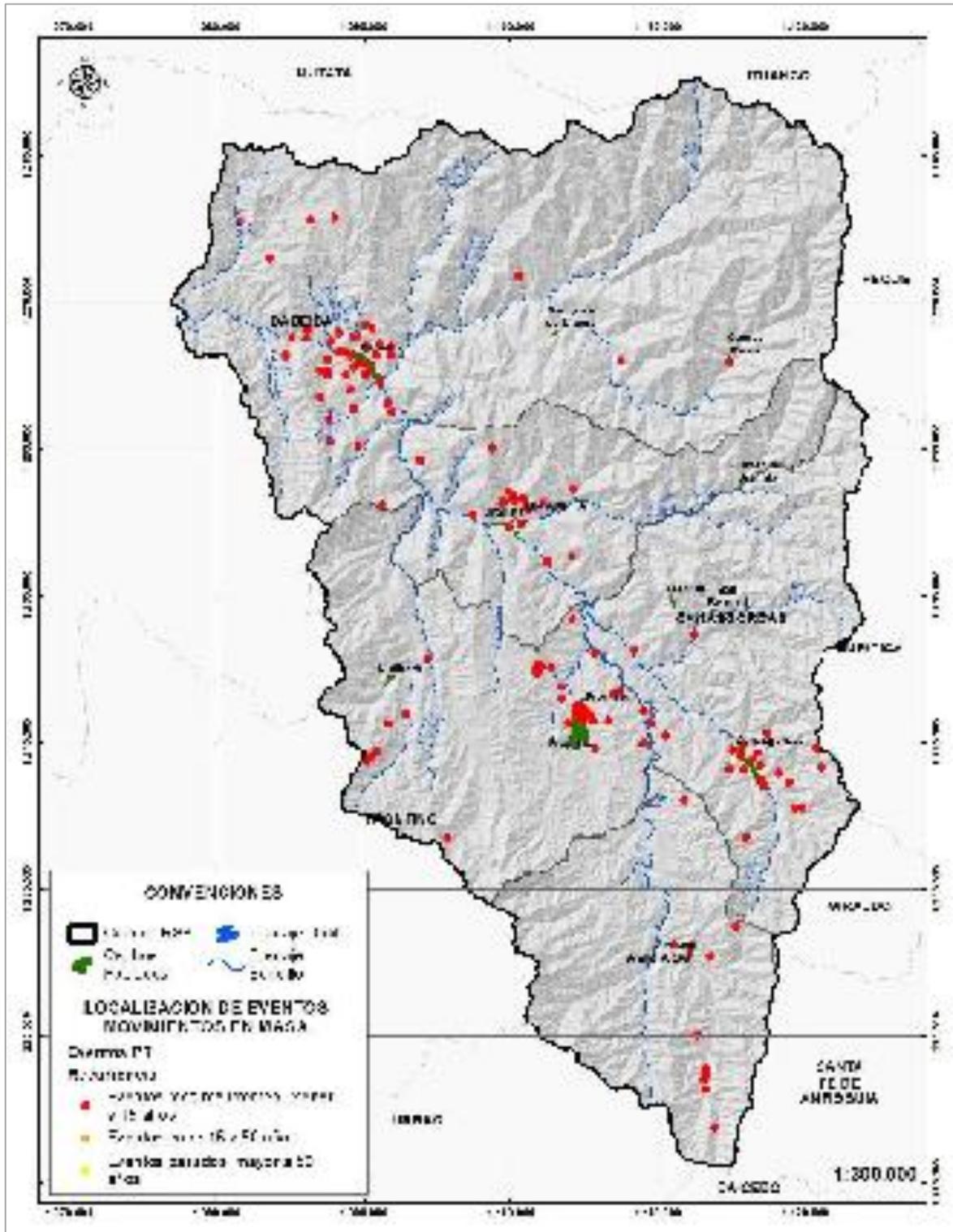
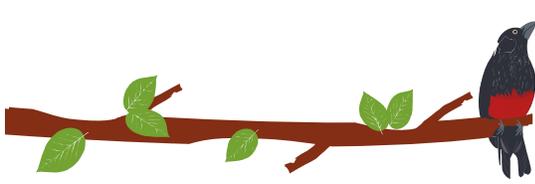


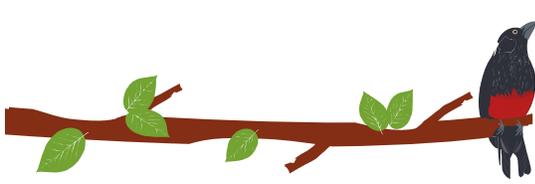
Gráfico 2. Numero de eventos presentados por escenarios, periodo 1942 - 2018. Elaboración propia a partir Servicio Geológico Colombiano, Desinventar y Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2018.

De los eventos históricos identificados en la cuenca para los escenarios de movimiento en masa, inundación, avenida torrencial e incendios forestales, se realizó la zonificación para la espacialización de cada uno de los eventos, sin embargo la principal deficiencia de las fuentes de información es la ubicación exacta de cada uno de los eventos asociado a las coordenadas geográficas, donde la principal fuente es el Sistema de Información de Movimientos en Masa –SIMMA, del Servicio Geológico Colombiano –SGC. Para la espacialización de los demás eventos se consideró la información asociada al sitio, lugar y vereda, sin embargo, no todos los eventos lograron ser zonificados por deficiencias de información mencionadas.

Para el caso puntual de incendios forestales CORPOURABA genero un levantamiento de información con el uso de herramientas SIG combinada con datos geográficos en tiempo real aportados por el programa LANCE-MODIS de la NASA arrojó que en la jurisdicción de CORPOURABA en el periodo 2000-2013 se presentaron 856 incendios, En la regional Nutibara el municipio de Dabeiba registro 109 eventos (13%).







PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO  
FASE DE FORMULACIÓN

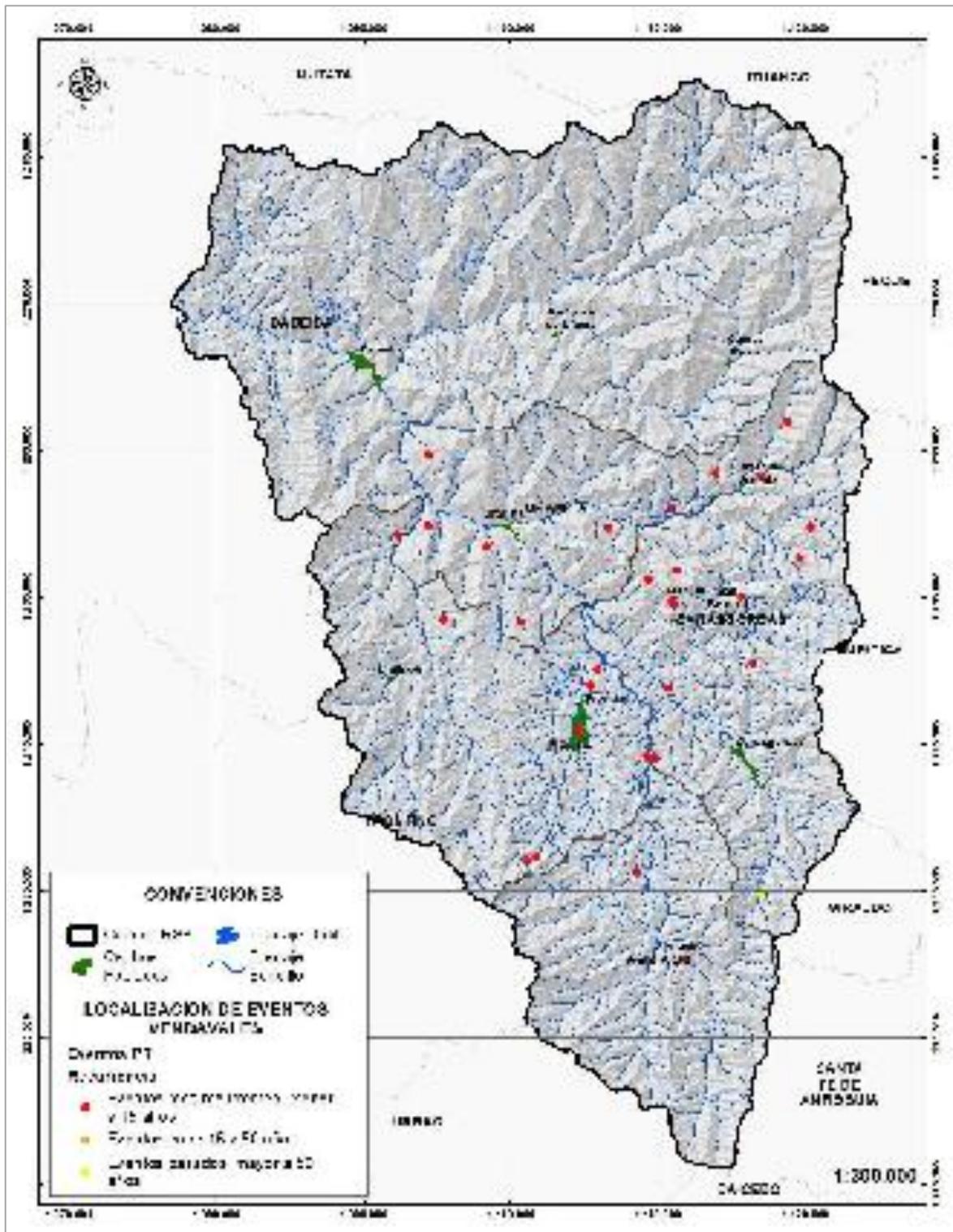
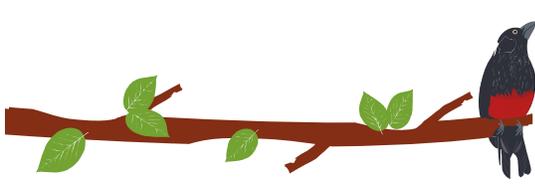


Figura 6. Ubicación de los registros históricos de vendavales, periodo 2015–2016. Elaboración propia.



PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO  
FASE DE FORMULACIÓN

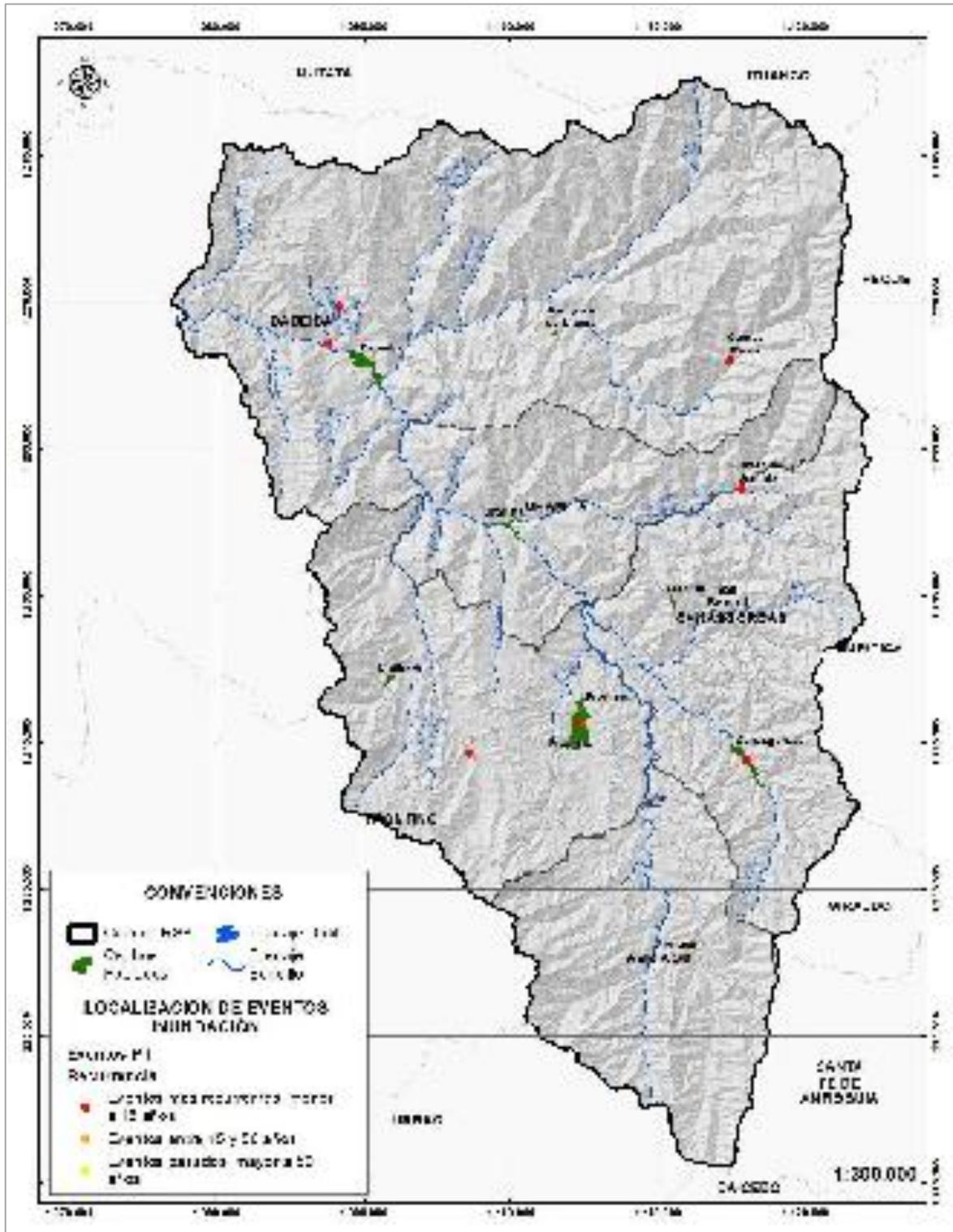
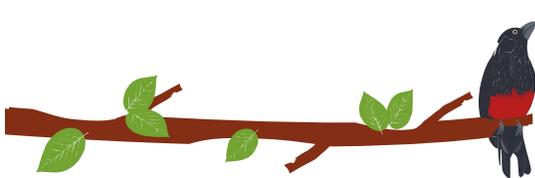


Figura 7. Ubicación de los registros históricos de inundaciones, periodo 1982 - 2012. Elaboración propia.





Por lo tanto, a partir de cada uno de los eventos ocurridos en la cuenca se identificaron las siguientes afectaciones

Tabla 1. Afectaciones presentadas en la cuenca

Evento	Personas Afectadas	Viviendas Afectadas	Muertes	Heridos
Avenida Torrencial	909	222	3	5
Inundación	9.085	435	28	4
Movimiento en masa	56.593	325	158	177
Vendaval	747	22	0	8

Fuente: Elaboración propia a partir Servicio Geológico Colombiano, Desinventar y Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2018.

Principalmente el escenario que ha generado afectaciones importantes afectaciones a personas son los movimientos en masa donde se han presentado 158 muertes, 177 heridos y 56.593 personas afectadas, y en segundo lugar las inundaciones 28 muertes, 4 heridos y 0.085 personas afectadas, en tercer lugar las avenidas torrenciales, vendavales, y los sismos e incendios sin afectaciones. Lo anteriores datos se representan con los siguientes porcentajes.

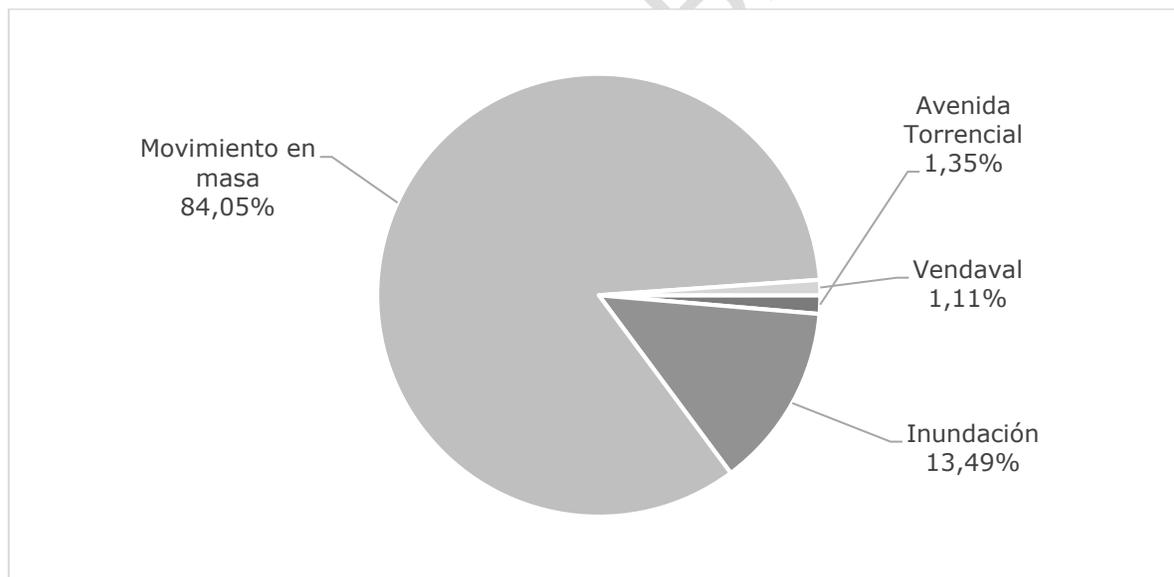


Gráfico 3. Personas afectadas en la cuenca. Elaboración propia a partir Servicio Geológico Colombiano, Desinventar y Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2018.

En términos de viviendas afectadas se identifica que la inundación ha generado la mayor cantidad de afectaciones para un total de 435 viviendas, los movimientos en masa 325, avenidas torrenciales 222, vendavales 22 y los sismos e incendios sin afectaciones. Las anteriores cifras se representan porcentualmente en el siguiente gráfico.

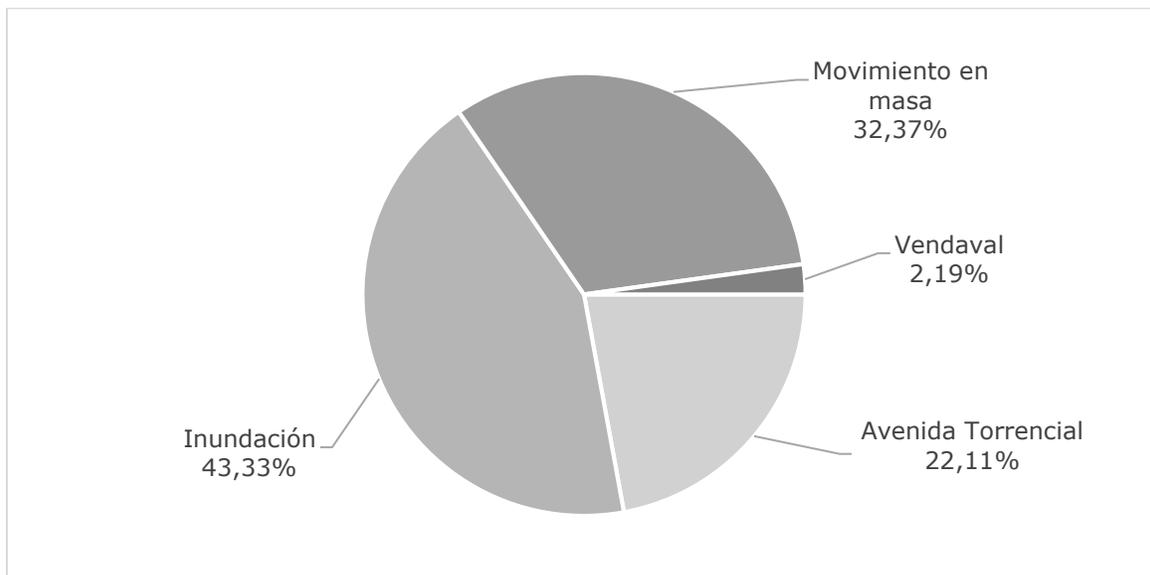


Gráfico 4. Viviendas afectadas en la cuenca. Elaboración propia a partir Servicio Geológico Colombiano, Desinventar y Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2018.

De acuerdo a lo anterior a continuación se presentan los eventos históricos ocurridos en la cuenca.

#### 7.4.4 Identificación de eventos históricos

Se realizó la revisión histórica de los eventos ocurridos en la cuenca de Riosucio Alto donde se identificó la recurrencia de los eventos y sus impactos generados al desarrollo integral de la cuenca de la comunidad asentada en ella. Dicho análisis se realizó a partir de la plataforma DesInventar el cual se expone a continuación:

- **Avenidas Torrenciales**

En la cuenca, se identificaron diecinueve (19) ocurrencias de avenidas torrenciales, las cuales están espaciadas en los años 1969 - 2014, siete (7) entre los años 1969 - 1981, siete (7) eventos entre los años 1998 - 2007 y cinco (5) entre los años 2008 - 2014 para un total de diecinueve (19) eventos ocurridos en la cuenca, seis (6) en el municipio de Cañasgordas, siete (7) en el municipio de Dabeiba, tres (3) en el municipio de Uramita y tres (3) en el municipio de Frontino, dejando un total de 2 víctimas mortales, 804 damnificados, 806 personas afectadas, 19 viviendas destruidas y 417 viviendas afectadas. Los eventos presentados fueron atribuidos en su totalidad a las fuertes lluvias de temporadas invernales.

Los sitios de afectación son en su mayoría en áreas rurales, sin embargo, dos de los eventos presentados sucedieron en el sector del Indio en la zona urbana del municipio de Cañasgordas, las áreas de influencia se pueden observar en la Figura 5. Así mismo también no se identifican pérdidas de vías, cultivos, entre otros. El presente fenómeno es más recurrente en los municipios de Cañasgordas y Dabeiba.

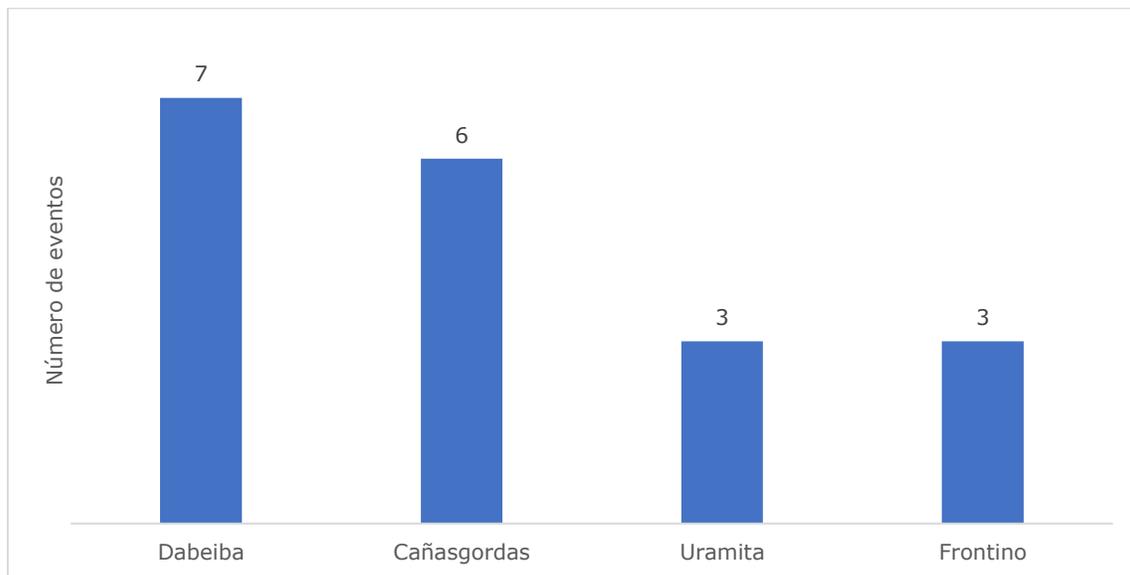
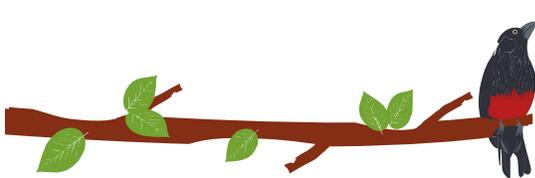


Gráfico 5. Registro histórico de avenidas torrenciales, periodo 1969–2014. Recuperado de Desinventar (2018).



Figura 9. Avenida torrencial municipio de Frontino (23/04/2011). El Colombiano, 2011.

- **Incendios Forestales**

Se identificaron cinco (5) incendios forestales en la cuenca, los cuales se presentaron dos (2) en el municipio de Cañasgordas, uno (1) en el municipio de Uramita, uno (1) en el municipio de Frontino y uno (1) en el municipio de Dabeiba generando afectaciones a 49 cultivos (Gráfico 6). Los sitios de afectación son todos rurales. La causa de los eventos se reporta en todos los casos como desconocida.

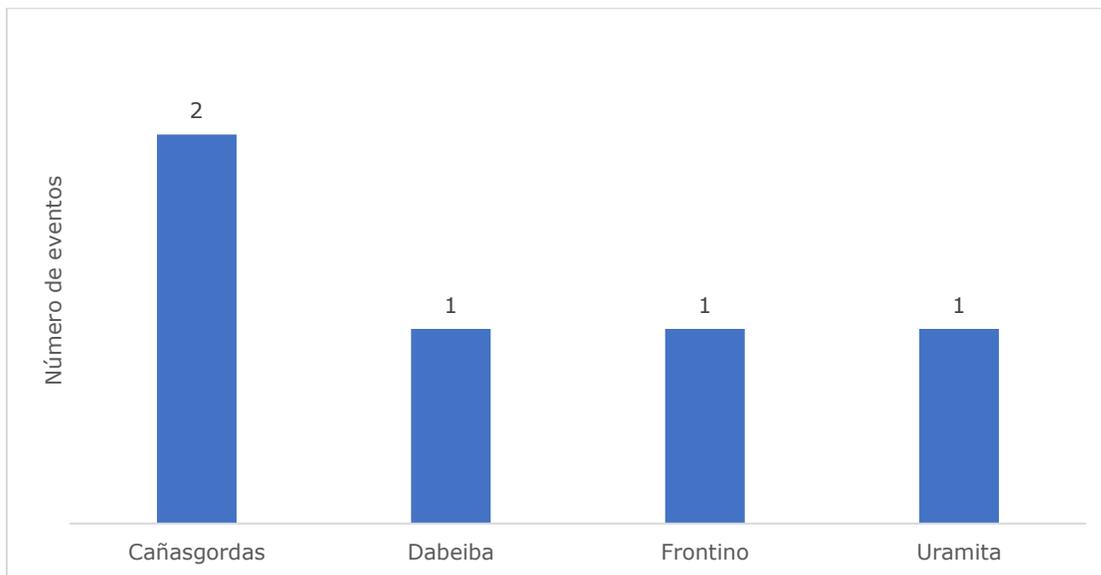
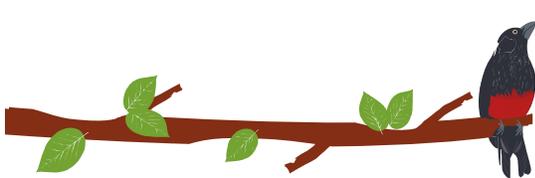


Gráfico 6. Registro histórico de incendios forestales, periodo 2015-2016. Recuperado de Desinventar (2018).

Se identifica en el análisis que los registros históricos que no reportan ninguna afectación a la infraestructura urbana o rural, como tampoco registran heridos, afectados o muertos por esta causa.

- **Inundación**

Se identificaron dieciséis (26) ocurrencias de inundaciones en la cuenca las cuales están espaciadas entre los años 1942 a 2018, seis (6) en el municipio de Cañasgordas, seis (6) en el municipio de Dabeiba, cinco (5) en el municipio de Abriaquí, cinco (5) en el municipio de Uramita) y tres (3) en el municipio de Frontino, ocasionado 27 víctimas mortales, 3.670 damnificados, 2573 afectados, 29 viviendas destruidas y 549 viviendas afectadas. (Gráfico 7).

Su ocurrencia ha sido atribuida principalmente a las fuertes lluvias, generando el desbordamiento de quebradas y ríos.

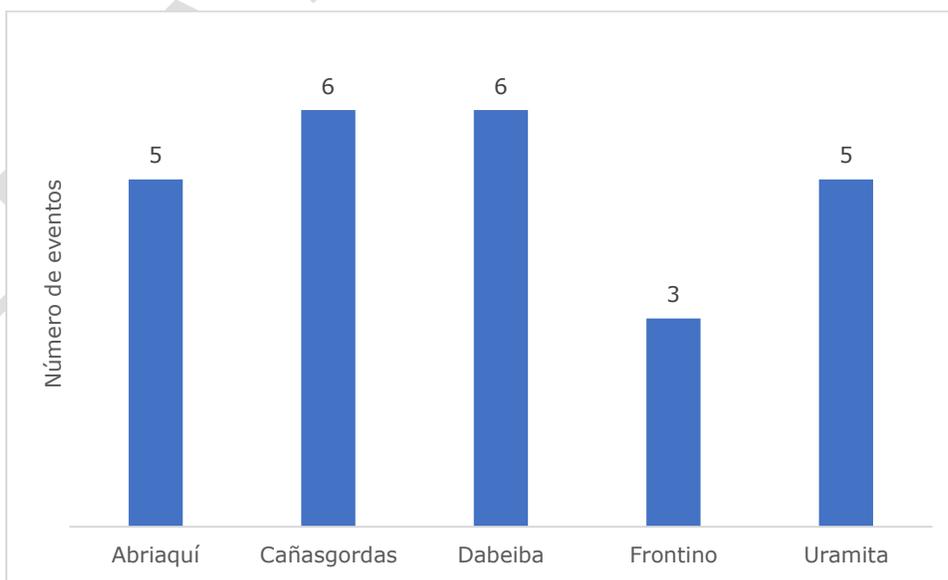
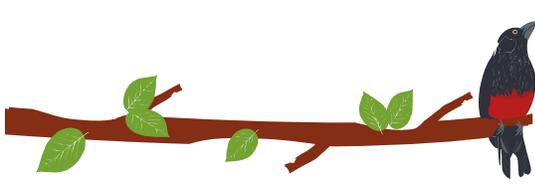


Gráfico 7. Registro histórico de inundaciones, periodo 1942-2018. Recuperado de Desinventar (2018).



- **Movimientos en masa**

Se identificaron ochenta (80) ocurrencias de dicho evento en la cuenca, las cuales están espaciadas entre los años 1942 al 2016 (Gráfico 8) y se registran asociados principalmente a las fuertes lluvias y vendavales presentados en la región. Las afectaciones y magnitud de los eventos, se vio reflejada en 17 víctimas mortales, 6 heridos, 5806 damnificados, 3293 afectados, 56 viviendas destruidas y 348 viviendas afectadas en el total de los eventos. Su ubicación espacial, es presentada en la Figura 4.

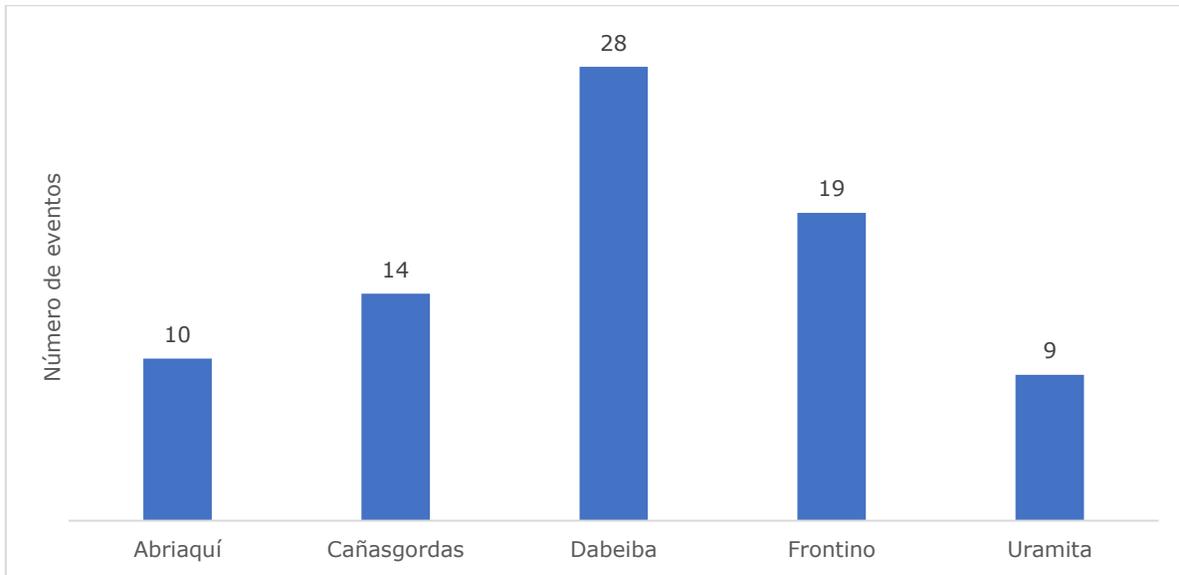


Gráfico 8. Registro histórico de movimientos en masa, periodo 1942-2016. Recuperado de Desinventar (2018).

ETAPA DE



Figura 10. Deslizamiento municipio de Dabeiba (11/10/2016). Recuperado de: El Colombiano, 2016.

#### 7.4.4.1 Caracterización histórica de eventos

El proceso de caracterización de los precedentes históricos en la ocurrencia de eventos amenazantes en el área determinada para la Cuenca del Ríosucio alto obedece a uno de los lineamientos para la construcción y descripción del catálogo de eventos históricos de amenaza.

A partir de la identificación de los eventos históricos por movimiento en masa a través de la revisión de la información secundaria mencionados en el presente documento se procedió a desarrollar la espacialización geográfica de cada de los eventos en la cuenca objeto a ordenamiento

Se consultaron diversas fuentes, tanto oficiales como no oficiales. A continuación, se expone cada una de ellas y el procedimiento llevado a cabo para obtener, digitalizar y analizar esta información.

Fueron consideradas fuentes de información "oficiales" aquellas entidades cuyo objeto sea el manejo de desastres. De acuerdo con el capítulo II de la Ley 1523 de 2012, algunos de los actores que pertenecen al Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y que fueron consultados para la construcción del catálogo de eventos históricos de amenaza son:

- Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.
- Servicio Geológico Colombiano
- Alcaldía municipal de Uramita
- Alcaldía municipal de Cañasgordas

- Alcaldía municipal de Abraquí
- Alcaldía municipal de Dabeiba
- Alcaldía municipal de Frontino
- Consejos municipales de gestión del riesgo de desastres.

Asimismo, se consultaron algunas páginas web de libre acceso, con disponibilidad de consulta de registros detallados de eventos de amenaza. Entre ellos se encuentra el Sistema de Información de Movimientos en Masa – SIMMA (Servicio Geológico Colombiano, 2018) y el Sistema de inventario de efectos de desastres – DesInventar (Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, 1990). Los datos, se presentan en el [Anexo 107.01, catálogo de eventos](#).

#### 7.4.4.1.1 Eventos analizados de movimientos en masa

A partir de la revisión de los eventos históricos por movimiento en masa se identificaron 216 eventos presentados en la cuenca a partir de la revisión del Sistema de Información de movimientos en masa – SIMMA del Servicio Geológico colombiano como se expone a continuación.

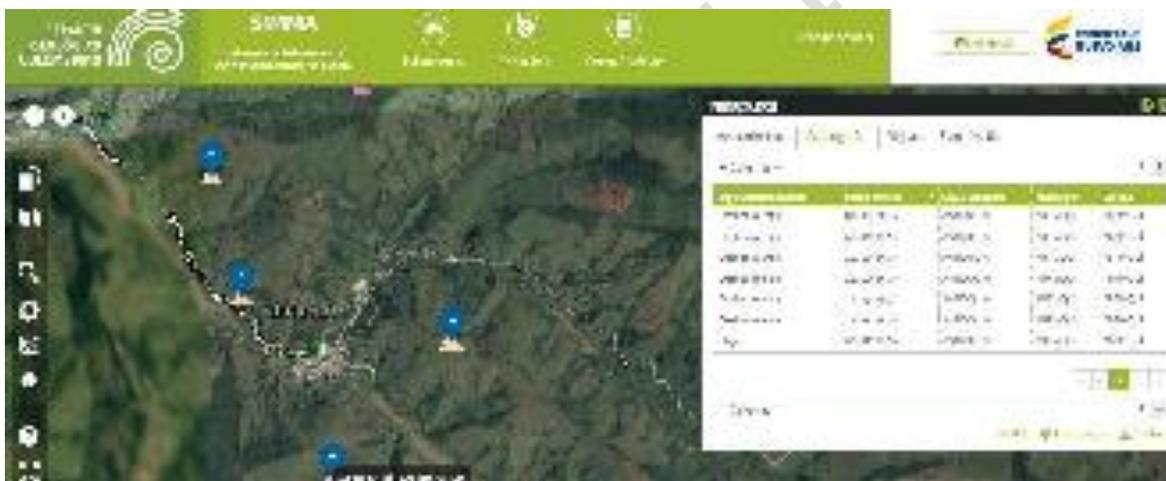
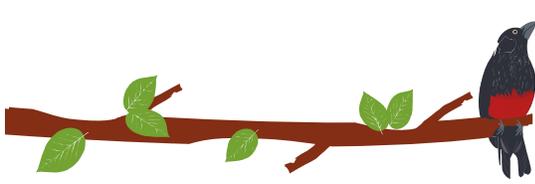


Figura 11. Localización de movimientos en masa consultados de SIMMA. Recuperado de Servicio Geológico Colombiano (2018).

#### 7.4.4.1.2 Evaluación y análisis de la información recopilada

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

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



Durante el desarrollo de los trabajos de geomorfología en oficina, se identificaron 216 procesos morfodinámicos clasificados como golpe de cuchara, socavación lateral, deslizamiento rotacional, flujo de lodos, caídos de roca, reptación (pata de vaca) y deslizamiento en cuña, distribuidos en 28 procesos en el municipio de Abriaquí, 30 procesos en el municipio de Uramita, 38 procesos en el municipio de Cañasgordas, 50 procesos en el municipio de Frontino y 72 procesos en el municipio de Dabeiba. En general, se logró revisar toda el área de la cuenca para la identificación de procesos de movimientos en masa.

En el Gráfico 9 se presenta a modo de resumen los procesos de remoción en masa, levantados en campo e información de SIMMA por municipios. En el municipio de Dabeiba se presentan el mayor número de recurrencia y registros de eventos de movimientos en masa levantados.

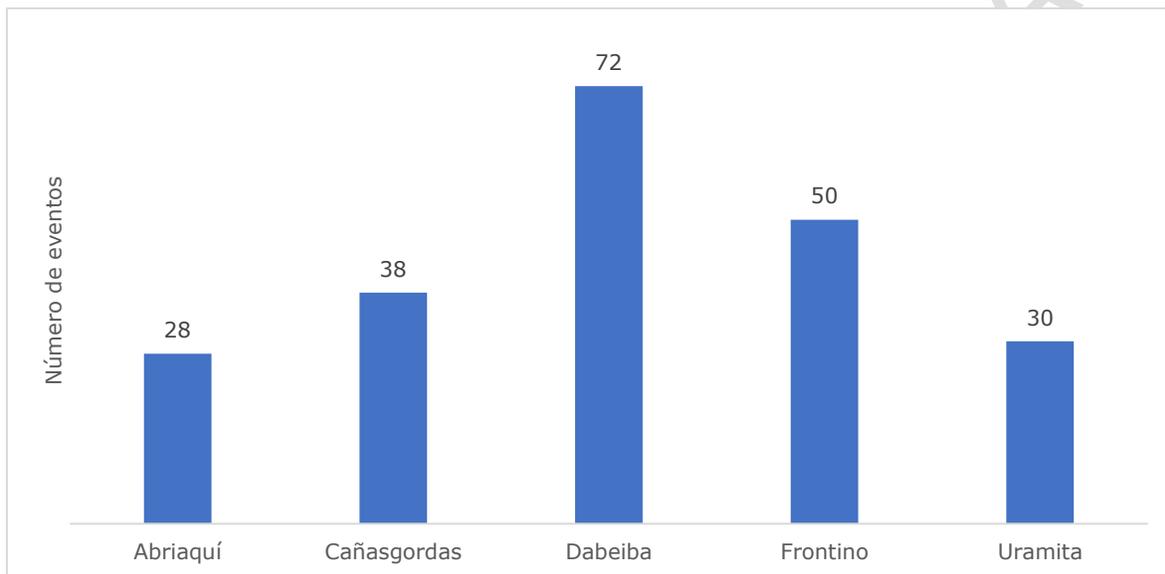


Gráfico 9. Eventos históricos por movimiento en masa. Elaboración propia a partir SGC, 2018

Del inventario de los 216 movimientos en masa levantados, se tomó una muestra representativa de 125 eventos en la cuenca, donde los movimientos en masa o de tipo rotacional (Gráfico 10).

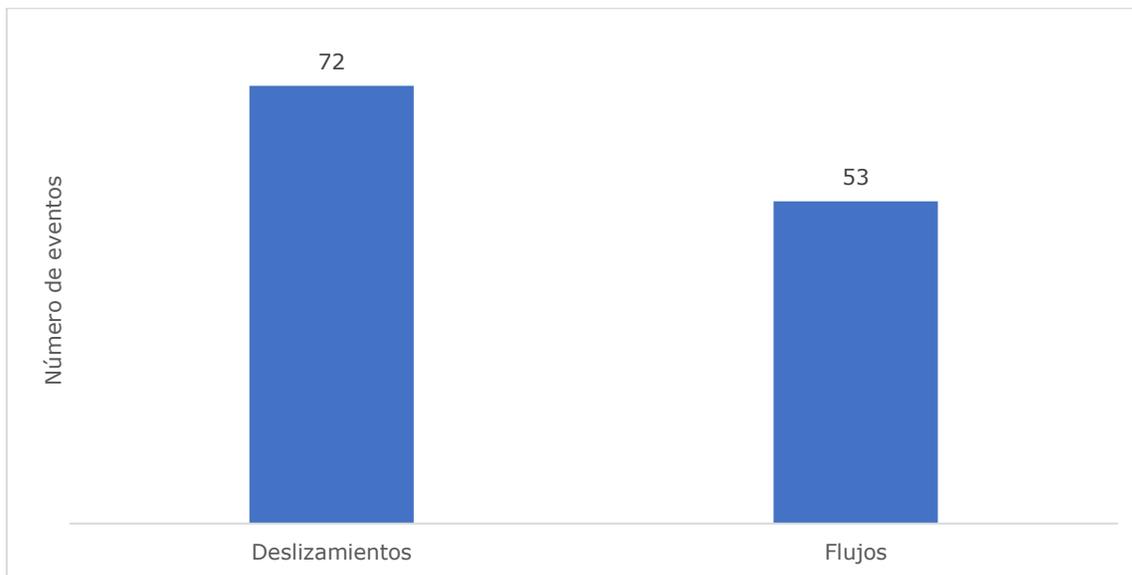


Gráfico 10. Tipos de movimientos en masa. Elaboración propia, a partir SGC, 2018

### Sobre las bases de datos consultadas

La principal fuente de información de los eventos presentados en la cuenca fue DesInventar para los escenarios de riesgo a considerar a partir de la Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas – POMCAS. La principal deficiencia de la base de datos fue la ubicación de los eventos (coordenadas exactas) lo cual dificulta la especialización de cada uno de los eventos ocurridos en la cuenca.

Respecto al escenario por movimientos en masa la principal fuente de información fue el Sistema de Información para Movimientos en Masa desarrollado por el Servicio Geológico Colombiano, donde se presenta la ubicación exacta de cada uno de los eventos (coordenadas) y la caracterización y tipo de movimiento.

#### 7.4.4.1.3 Daños y pérdidas presentadas

A partir del análisis de la información se identificaron que se han presentado doscientos dieciséis (216) movimientos en masa, treinta y seis (36) inundaciones, veintitrés (23) avenidas torrenciales y siete (7) incendios forestales durante el período comprendido entre los años 1942 a 2018, los cuales han generado afectaciones en la cuenca los cuales se exponen a continuación. (Gráfico 11).

- **Movimientos en masa:** 79 víctimas mortales, 92 heridos, 50200 damnificados y 310 viviendas.
- **Inundación:** 28 víctimas mortales, 4 heridos, 9085 damnificados y 435 viviendas
- **Avenida torrencial:** 3 víctimas mortales, 5 heridos, 909 damnificados y 222 viviendas.
- **Incendios forestales:** ninguna afectación

A pesar de que los registros históricos, muestran la ocurrencia de incendios forestales, estos no han ocasionado afectaciones a las personas o viviendas de la comunidad.

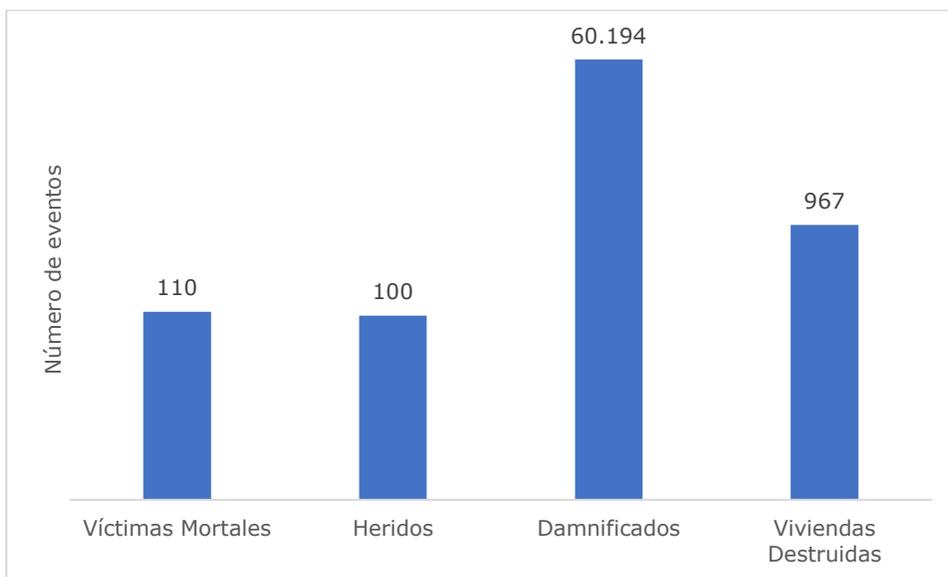
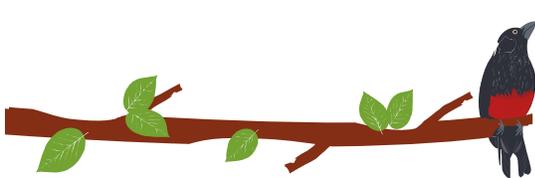


Gráfico 11. Registro histórico de afectaciones por la ocurrencia de eventos. Elaboración propia a partir de Desinventar - Servicio Geológico Colombiano - UNGRD, 2018

#### 7.4.4.2 Recurrencia de eventos

De acuerdo al documento Protocolo del componente de gestión del riesgo de la Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas - POMCAS, se identificó el nivel de recurrencia para los escenarios de movimiento en masa, inundación, avenida torrencial e incendios forestales:

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

A partir del catálogo de eventos se identificó que el escenario de movimiento en masa es el más recurrente en la cuenca donde se identifican 96 eventos en un periodo comprendido entre 1943 a 2016.

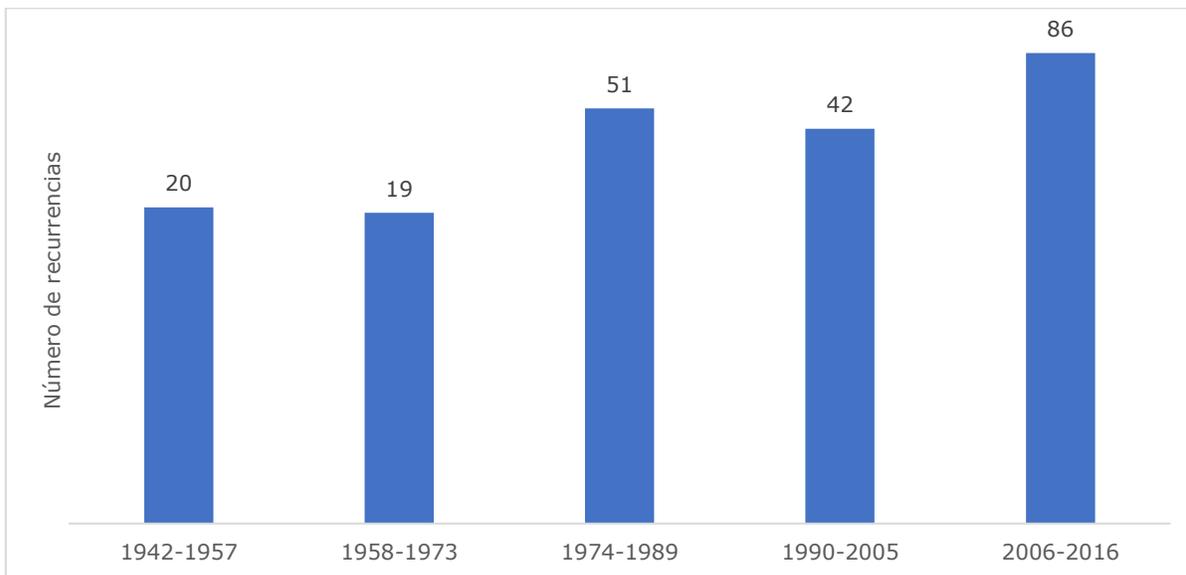
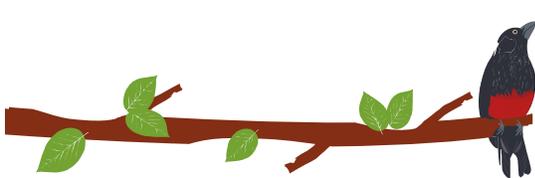


Gráfico 12. Recurrencia de eventos por movimiento en masa. Elaboración propia a partir de Desinventar - Servicio Geológico Colombiano - UNGRD, 2018

Para el escenario de inundación se identificó también una recurrencia alta, 36 eventos en un periodo comprendido entre 1942 a 2018.

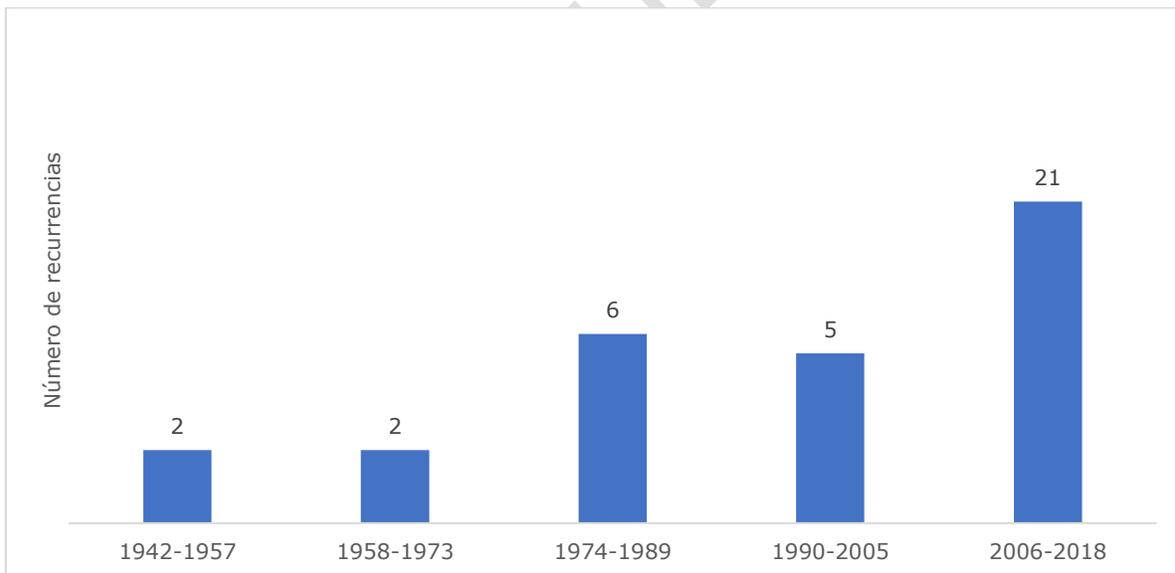


Gráfico 13. Recurrencia de eventos por inundación. Elaboración propia a partir de Desinventar - Servicio Geológico Colombiano - UNGRD, 2018

Para el escenario de avenida torrencial se identificó una recurrencia alta de 23 eventos entre los periodos de 1969 a 2014.

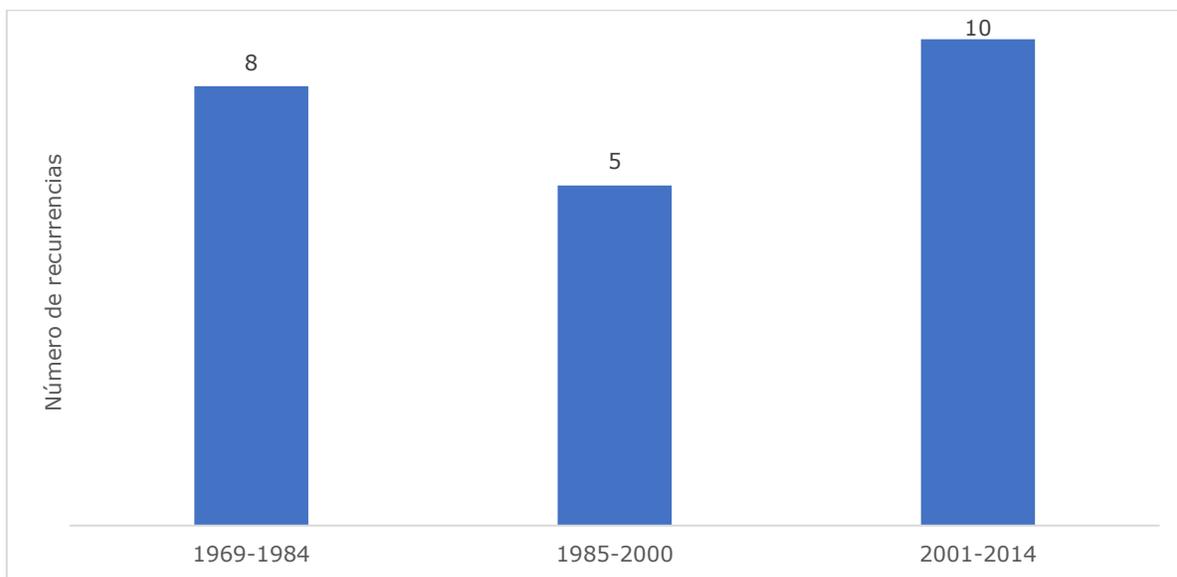
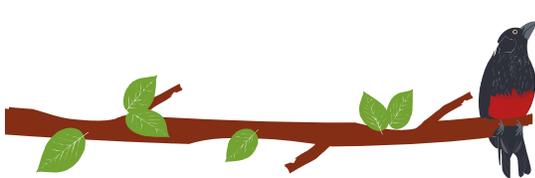


Gráfico 14. Recurrencia de eventos por avenida torrencial. Elaboración propia a partir de Desinventar - Servicio Geológico Colombiano - UNGRD, 2018

También para el escenario de incendio forestal se identificó una recurrencia alta 7 eventos entre los años 2015 al 2016.

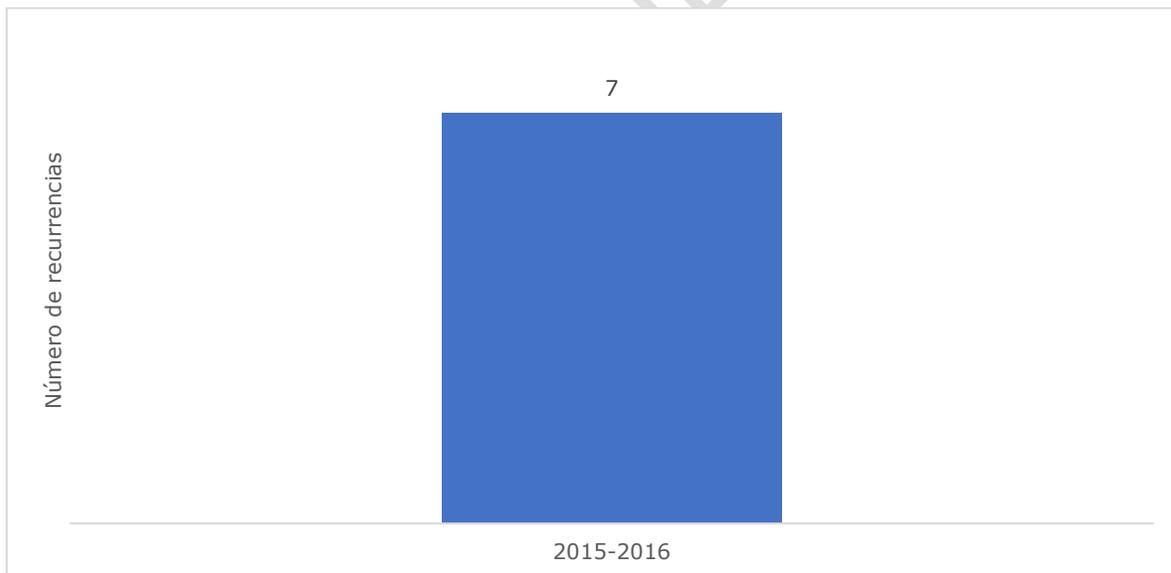
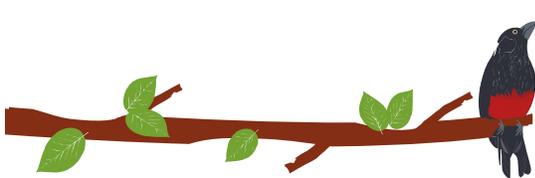


Gráfico 15. Recurrencia de eventos por avenida torrencial. Elaboración propia a partir de Desinventar - Servicio Geológico Colombiano - UNGRD, 2018

#### 7.4.4.3 Otros escenarios de riesgo a considerar

Si bien la guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas – POMCAS, expone que se deben analizar los escenarios de riesgo por movimiento en masa, inundación, avenida torrencial e incendio forestal, es primordial identificar demás escenarios que riesgo y eventos ocurridos que han generado afectaciones en la cuenca, afectando el desarrollo territorial.



En este sentido, a continuación, se la realiza la caracterización de demás eventos ocurridos en la cuenca para los escenarios de Vendavales.

- **Vendavales**

Se identificaron cincuenta (50) ocurrencias de dicho evento en la cuenca, las cuales están espaciadas entre los años 1971 al 2016 (Gráfico 16) y se registran asociados principalmente a las lluvias y condiciones atmosféricas. Las afectaciones y magnitud de los eventos, se vio reflejada, 8 heridos, 742 damnificados, 3293 afectados y 22 viviendas destruidas en el total de los eventos.

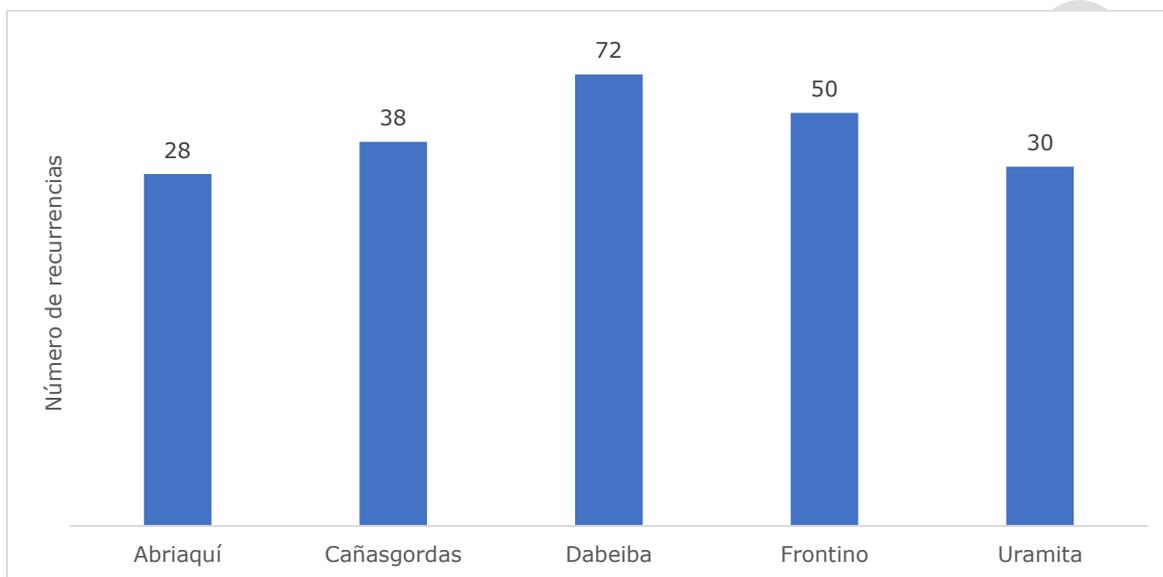


Gráfico 16. Registro histórico de vendavales, período 1971-2016. Recuperado de Desinventar (2018).

- **Sismos**

Se identificaron diecinueve (19) ocurrencias de dicho evento en la cuenca, las cuales están espaciadas entre los años 1953 al 2018 (Gráfico 17) y se registran asociados principalmente a las fallas geológicas. Mencionados eventos no han generado afectaciones en la cuenca.

ETAPA DE

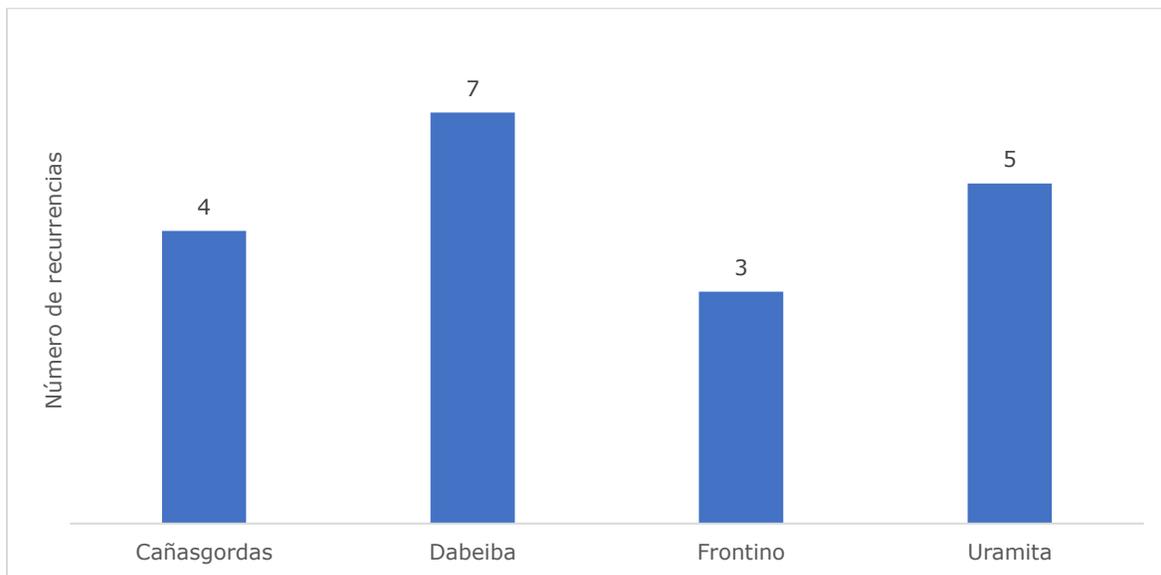


Gráfico 17. Registro histórico de sismos, período 1953-2018. Recuperado de Desinventar (2018).

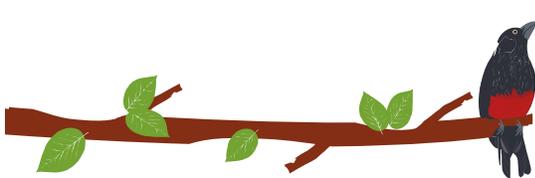
## 7.5 CARACTERÍSTICAS DE LA AMENAZA EN LA CUENCA DEL RÍO SUCIO ALTO

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

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

#### 7.5.1.1 Descripción metodológica para obtener la susceptibilidad a movimientos en masa

La susceptibilidad se entiende como la predisposición del territorio a presentar movimientos en masa a partir de determinadas condiciones geológicas, geográficas, meteorológicas, atmosféricas, ambientales y antropogénicas. El primer paso en este proceso es la determinación de variables de predisposición, propensividad o condicionalidad como lo indica el método planteado por Nuria en el año 2001 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014) y mostrado en la Figura 12.



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

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

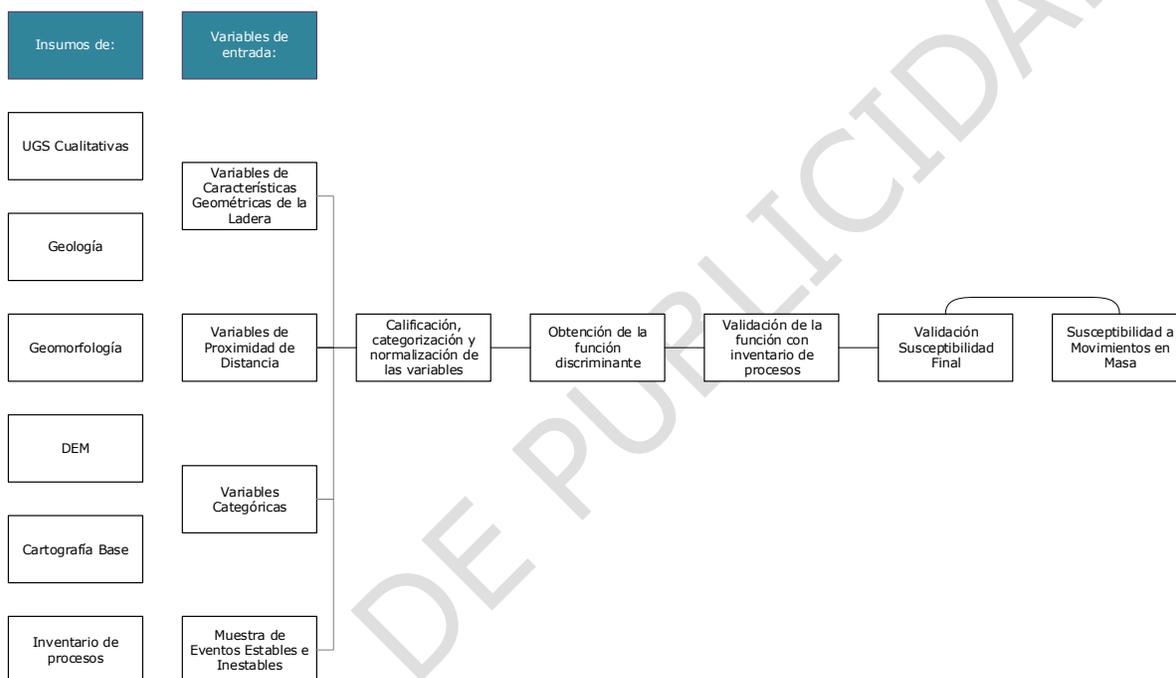


Figura 12. Metodología para obtener susceptibilidad a movimientos en masa

Fuente: Elaboración propia

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

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



En la Tabla 2, se presentan los factores de propensividad a los movimientos en masa y sus variables asociadas.

Tabla 2. Factores de propensividad a la generación de inestabilidad en la Cuenca del Río Sucio Alto

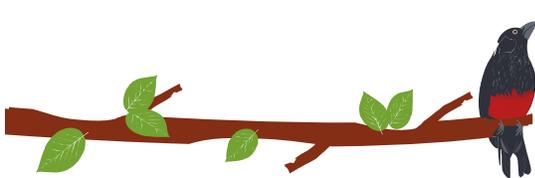
NOMBRE/ DEFINICIÓN	TOPOLOGÍA/PRODUCTO
<b>Selección de la muestra de análisis (MM_LM_MOVT):</b>	
ZONAS INESTABLES. CATÁLOGO DE EVENTOS (geometría de punto)+INVENTARIO DE EVENTOS (geometría de polígono y/o punto)+Subunidades geomorfológicas asociadas a la inestabilidad (mapa geomorfológico- geometría de polígono).	PUNTO
<b>Factores condicionantes</b>	
<b>Características geométricas de la ladera (CGL)</b>	
Pendiente (PEND). Pendiente de la ladera.	RASTER
Pendiente Senoidal (PENDS)	RASTER
Rugosidad (RUGOS)	RASTER
Curvatura del terreno (CURVAR)	RASTER
Curvatura longitudinal perfil (PERFIL)	RASTER
Curvatura transversal (PLANTA)	RASTER
Insolación (INSOL). Insolación o coeficiente de iluminación de la ladera.	RASTER
Orientación (ORIENT). Orientación o dirección de exposición de la ladera.	RASTER
Acumulación de la cuenca (ACUENCA). Área de cuenca acumulada.	RASTER
Longitud de la cuenca acumulada (LONG). Longitud máxima de cuenca acumulada.	RASTER
<b>Variables con relación de proximidad (VRP)</b>	
Densidad de drenaje. (DISTDREN)	RASTER
Distancia a vías y carreteras (DISTVIAS).	RASTER
Distancia fallas lineamientos (DISTFALLIN)	RASTER
<b>Variables categóricas</b>	
Geología (GEO)	POLÍGONOS
Geomorfología (GMF)	POLÍGONOS
Cobertura (COBERT). Densidad de vegetación y usos del suelo.	POLÍGONOS
Unidades Geológicas Superficiales (UGS)	POLÍGONOS

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

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

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

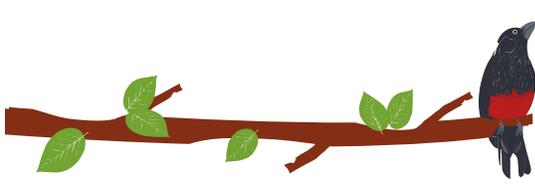
Está asociado con el inventario de movimientos en masa ubicados en la cuenca y es la información base para la ponderación de variables que participan en el modelamiento de la susceptibilidad clasificando los eventos en estables e inestables como se ve



representado en la Figura 13. Los sitios inestables (variable Z\_INESTABLE) surgen del inventario de procesos desarrollado con fotointerpretación de procesos morfodinámicos, subunidades geomorfológicas de origen denudacional que representen un evento inestable (deslizamientos Dco, Dldi), trabajo de campo y catálogos históricos de eventos por movimientos en masa asociados a inestabilidad (Ver [Anexo 88](#)). Por su parte, los sitios estables corresponden con ubicación de puntos donde se asume que son áreas estables por no tener eventos históricos ni inventario de procesos por movimientos en masa.

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

ETAPA DE PUBLICACIÓN



PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO  
FASE DE FORMULACIÓN

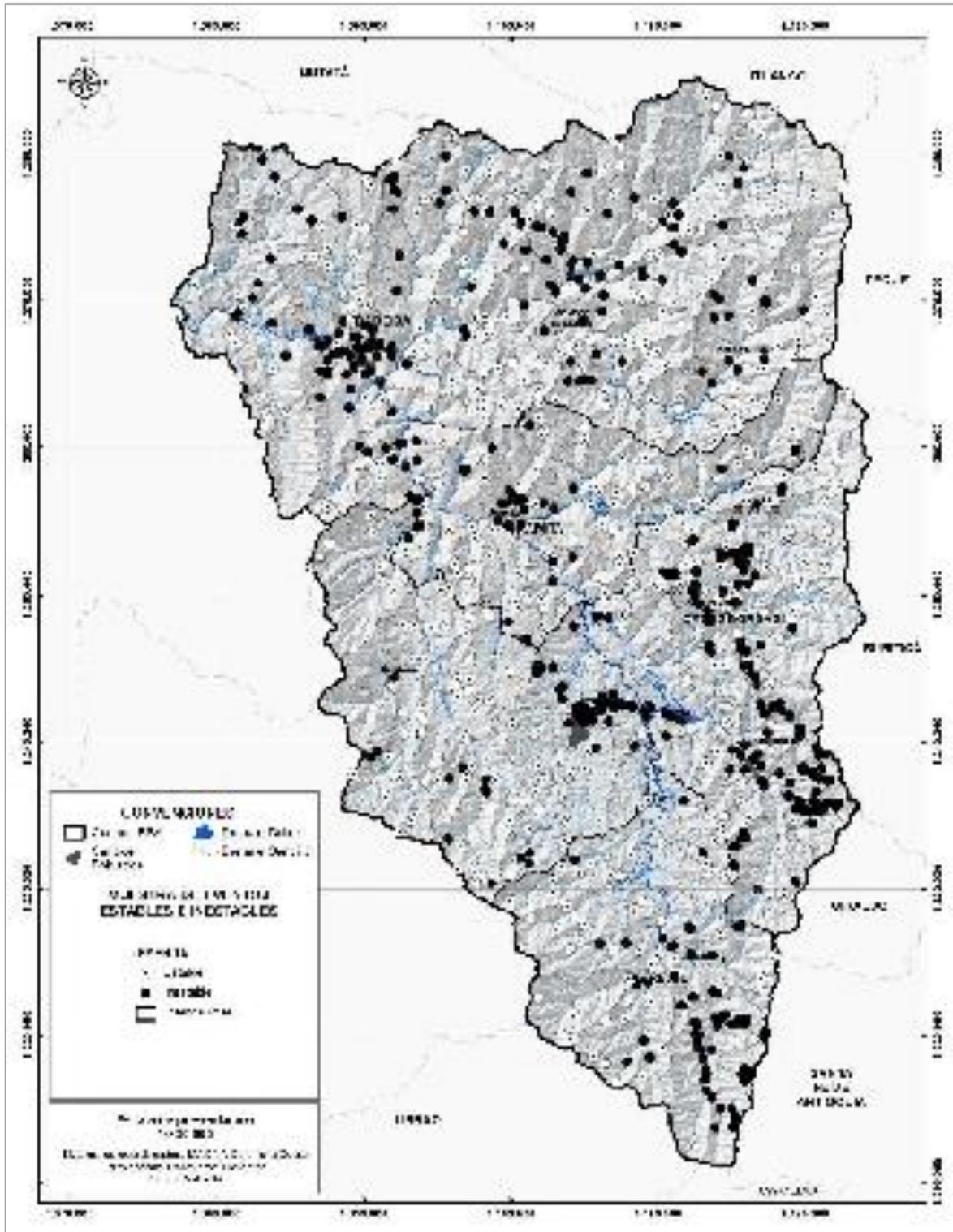


Figura 13. Muestra de sitios estables e inestables  
Fuente: Elaboración propia

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

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

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

Ecuación 1

Donde:

N: es el tamaño de la población, esto es 527 procesos inestables.

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

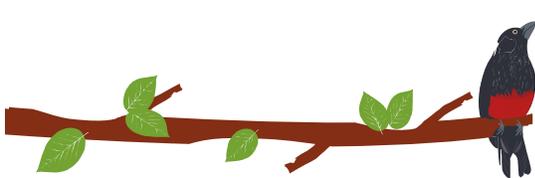
e : es el error deseado si se compara la población con la muestra. Se usa generalmente un error de 5%.

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

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

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

- Formato: vector tipo punto.



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

#### 7.5.1.2.2 Factores condicionantes

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

El modelo digital de elevación (DEM, por sus siglas en inglés) es una matriz tipo ráster en la que el valor de cada pixel corresponde a la altitud sobre el nivel del mar en metros del mismo (Figura 14). Este factor constituye el insumo de entrada para obtener las variables que componen las características geométricas de la ladera (CGL): PEND, PENS, ASPECT, INSOL, RUGOS, CURVAR, PERFIL, PLA, ACUENCA Y LONG, las cuales se describen en el siguiente numeral.

ETAPA DE PUBLICIDAD



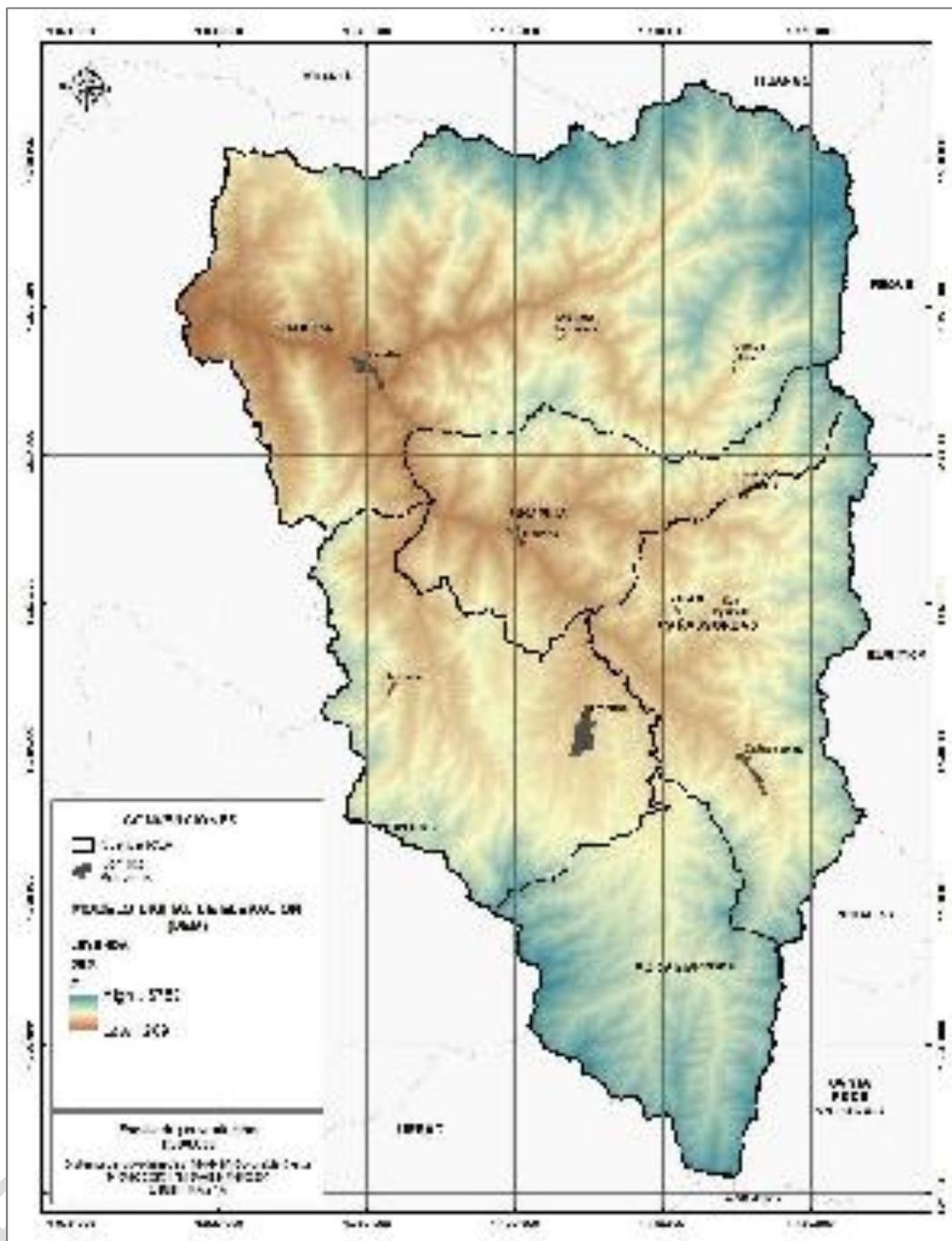
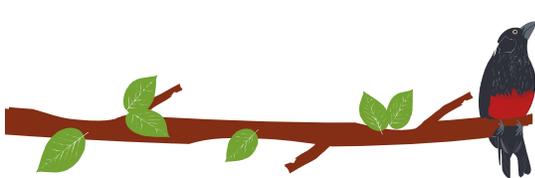
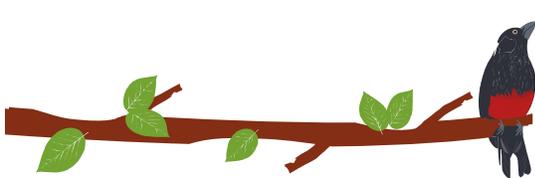


Figura 14. Modelo de Elevación Digital-DEM. Fuente: elaboración propia

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

Las variables o factores condicionantes relacionadas con las características geométricas de la ladera, también llamadas variables derivadas del DEM, incluyen: pendiente de ladera, pendiente senoidal de ladera, rugosidad, curvatura del terreno, curvatura longitudinal, curvatura transversal, insolación, orientación ladera, acumulación de la



cuenca y longitud de cuenca acumulada se encuentran representadas en la Figura 15 y se definen a continuación.

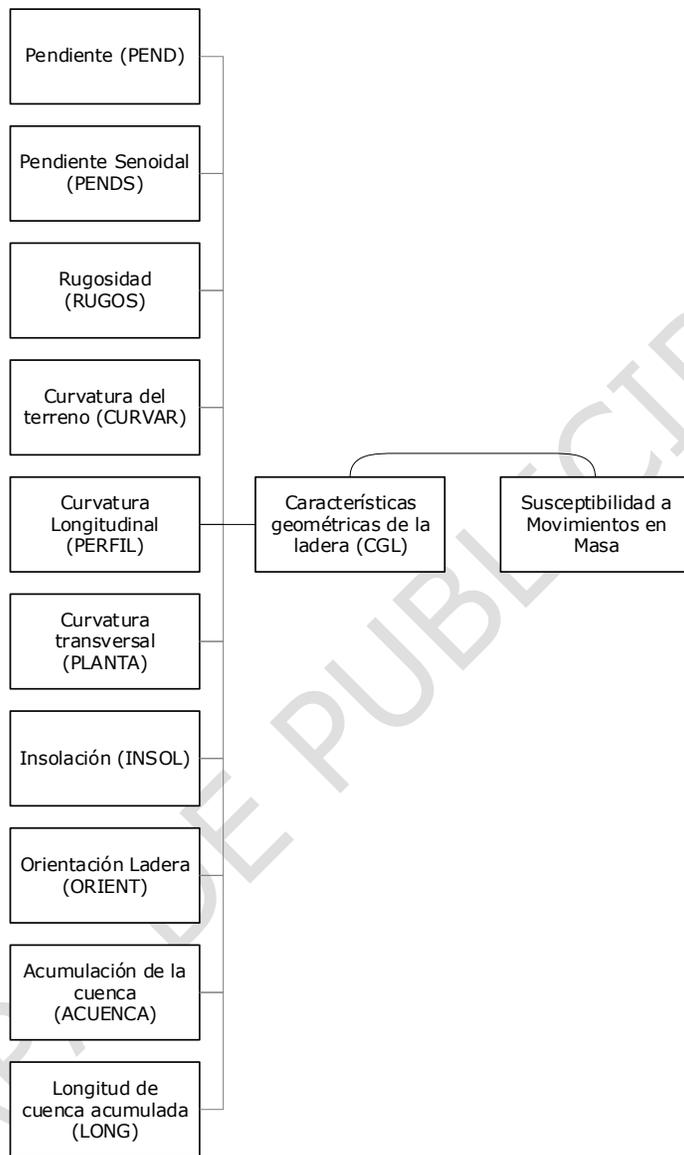
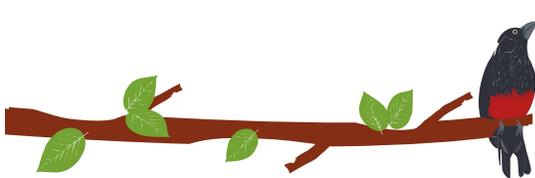


Figura 15. Factores condicionantes derivados de las características geométricas de la ladera  
Fuente: Elaboración propia





- Pendiente PEND: Pendiente de la ladera.

Hace referencia al ángulo existente entre la superficie del terreno y la horizontal, su importancia radica en la influencia del factor sobre la estabilidad del suelo como factor geométrico. Para esta variable se normalizaron sus valores entre 0 y 1 como variable continua, siendo 0 muy poco propenso y 1 muy propenso (Figura 16). Sin embargo, la variable no se agrupa por rangos a pesar que típicamente se haga y se solicite en los alcances técnicos del presente estudio; esto porque esta agrupación es solamente aplicable en métodos heurísticos geomorfológicos y no para métodos heurísticos semicuantitativos, estadísticos o determinísticos en los que mantenerse cualitativamente significa reducir resolución y calidad de las variables empleadas.

ETAPA DE PUBLICIDAD



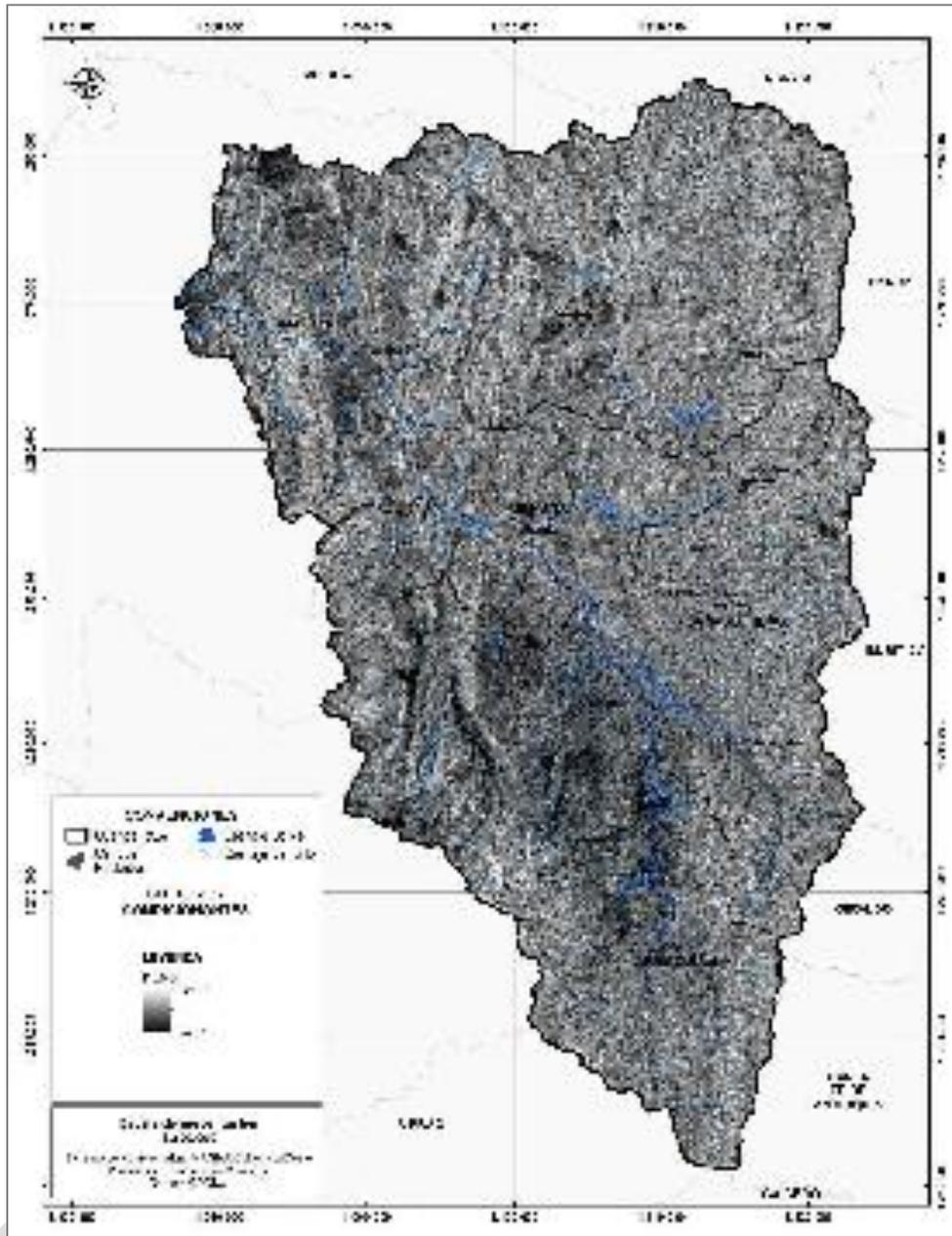
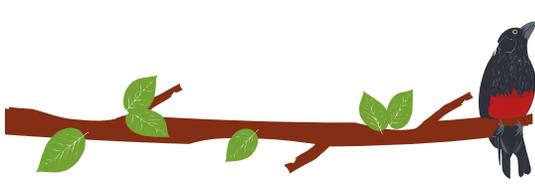


Figura 16. Propensividad a inestabilidad por pendiente de la ladera  
Fuente:Elaboración propia

- Pendiente senoidal de la ladera (PENDS)

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

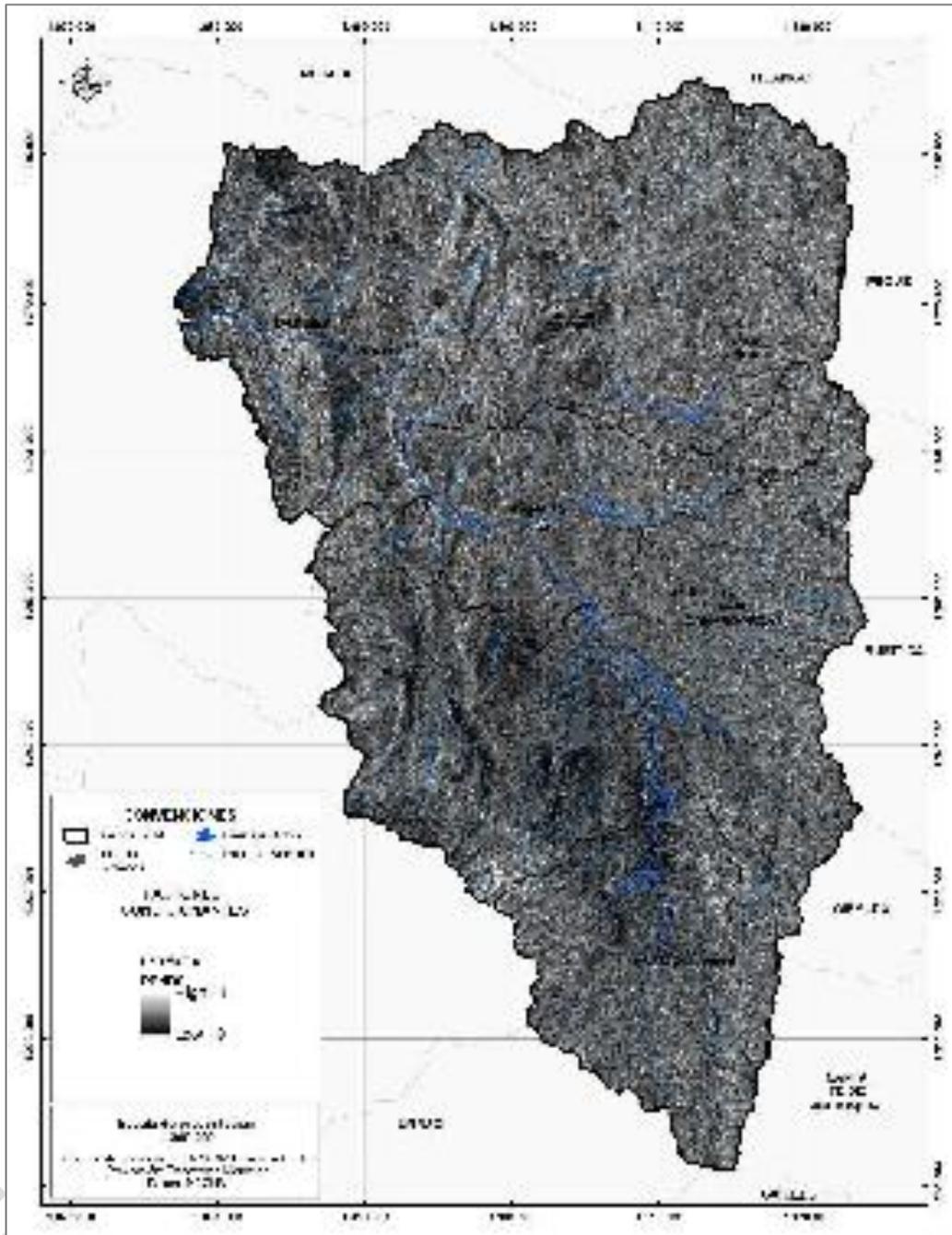
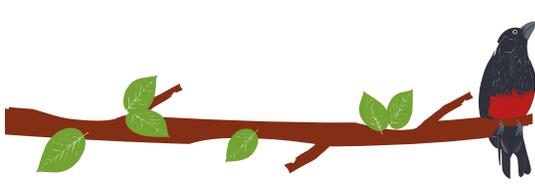
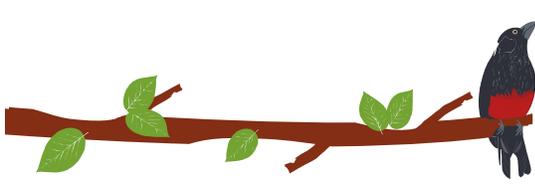


Figura 17. Propensividad a inestabilidad por pendiente senoidal de la ladera  
Fuente: Elaboración propia

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

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



Corresponde a la desviación del vector normal a la superficie de cada celda permitiendo definir límites de taludes y laderas. Además, tiene un impacto en los deslizamientos, pues a mayores cambios de pendiente aumenta su probabilidad Figura 18.

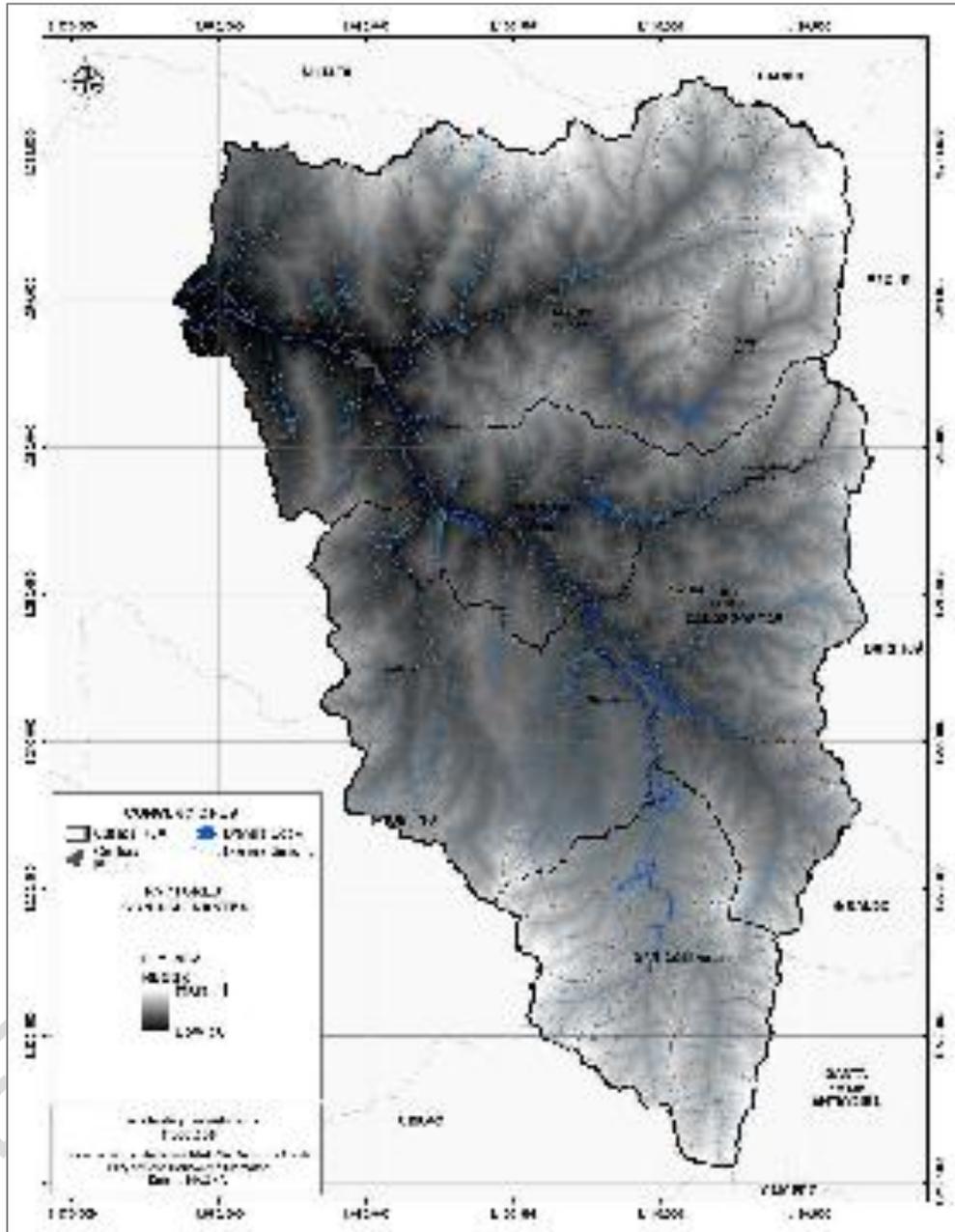
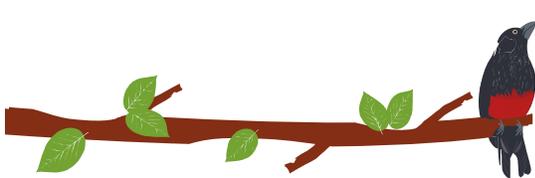


Figura 18. Propensividad a inestabilidad por rugosidad  
Fuente: Elaboración propia



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

- Curvatura del terreno (CURVAR)

Corresponde al grado de curvatura de cada celda a evaluar representando de manera normalizada las zonas cóncavas con valores cercanos a 0, planas cuando el valor se aproxima a 0,5 y convexas con valores cercanos a 1 Figura 19.

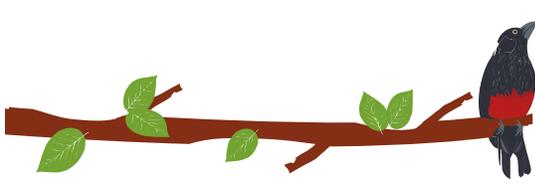
En general las formas convexas son receptoras de aguas subterráneas acumuladas en formas cóncavas y al tiempo contienen mayor volumen de material deslizable, por lo cual valores cercanos a 1 pueden ser más propensos a la ocurrencia de fenómenos de inestabilidad. En la Tabla 3 se presenta la calificación y categorización de curvatura del terreno respecto al perfil utilizada en el presente estudio.

Tabla 3. Calificación y categorización de curvatura del terreno

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

Fuente: Modificado: Nuria, 2001

ETAPA DE PUBLICIDAD



PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO  
FASE DE FORMULACIÓN

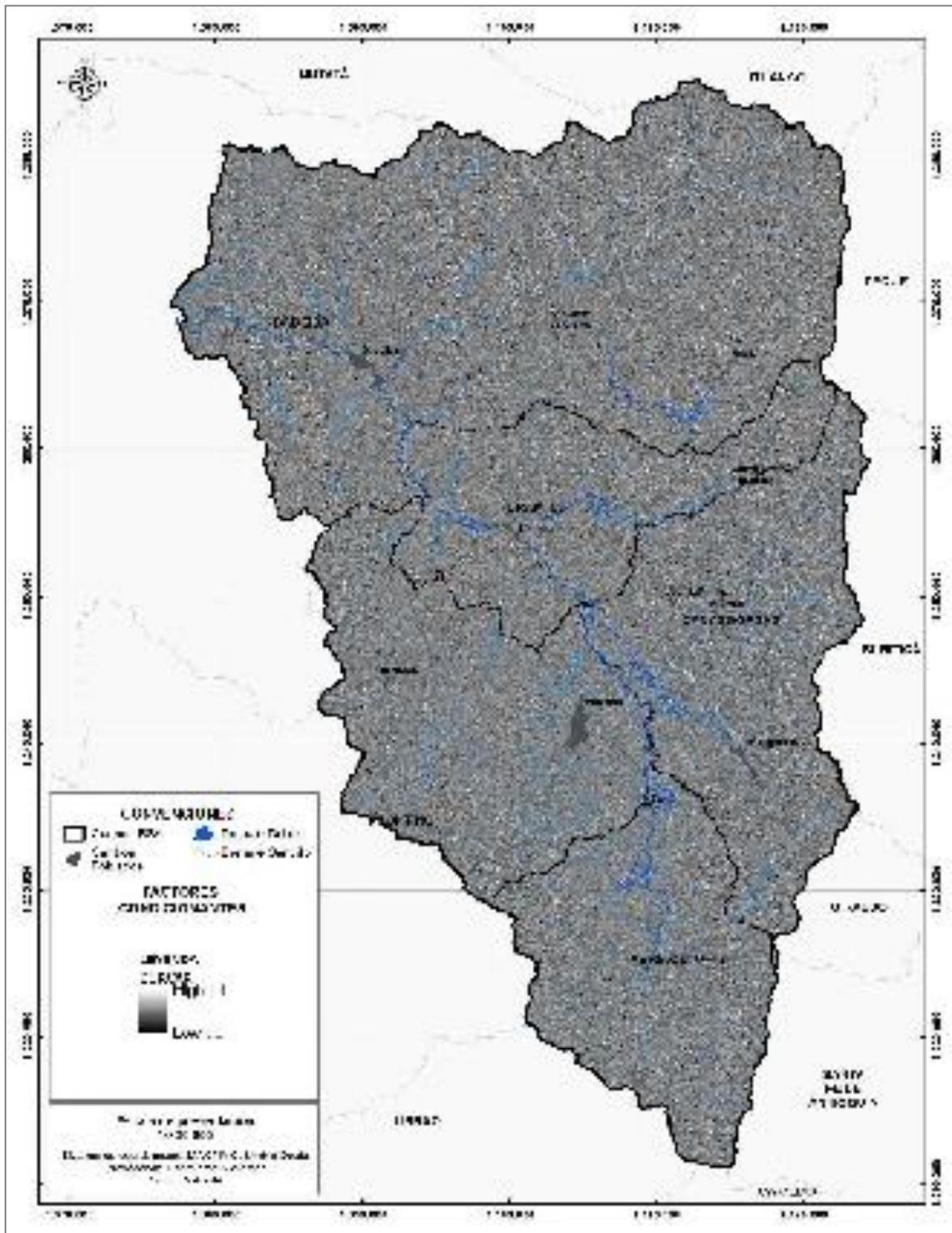
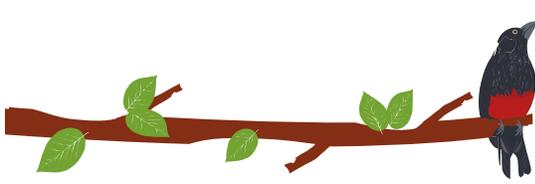


Figura 19. Propensividad a inestabilidad por curvatura del terreno  
Fuente: Elaboración propia



- Curvatura con respecto al perfil (PERFIL)

Hace referencia al grado de curvatura mencionada en la variable CURVAR pero medida únicamente de manera longitudinal a la dirección de la pendiente y tiene una repercusión adicional en la generación de erosión y deposición debido a su impacto en la escorrentía y la aceleración del flujo Figura 20.

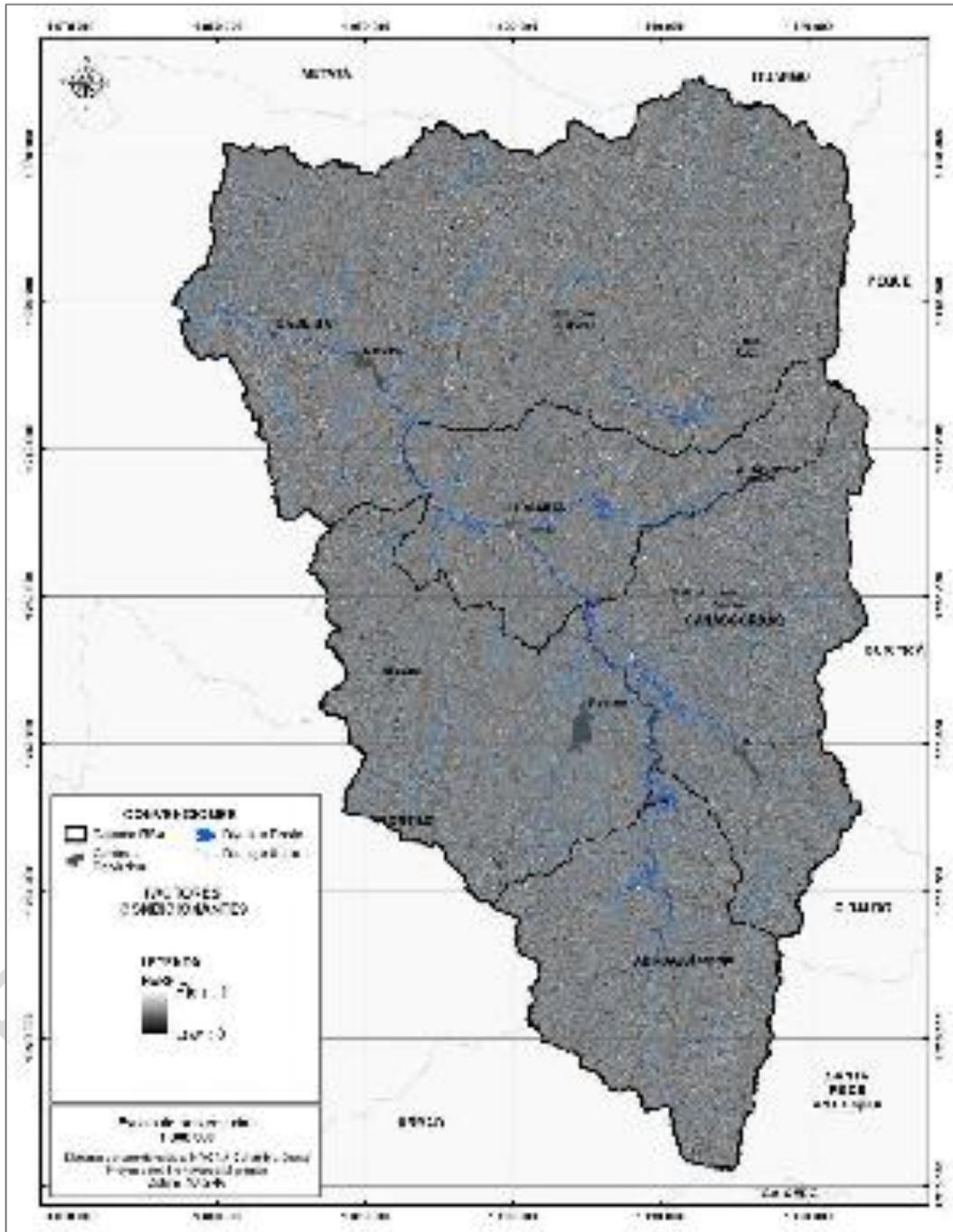
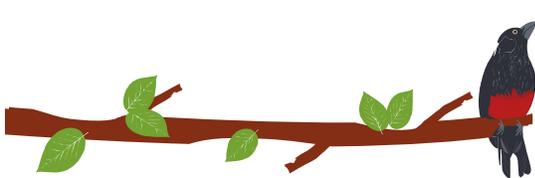


Figura 20. Propensividad a inestabilidad por curvatura del terreno con respecto al perfil  
Fuente: Elaboración propia





En la Tabla 4 se presenta la calificación y categorización de curvatura del terreno respecto al plano horizontal utilizada en el presente estudio.

Tabla 4. Calificación y categorización de curvatura del terreno con respecto al perfil

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

Fuente: Modificado: Nuria, 2001

- Curvatura con respecto al plano horizontal (PLANTA)

Hace referencia al grado de curvatura mencionada en la variable CURVAR pero medida en la dirección perpendicular de la pendiente y tiene una repercusión adicional confluencia del flujo superficial y subsuperficial hacia la celda de análisis Figura 20.

ETAPA DE PUBLICIDAD

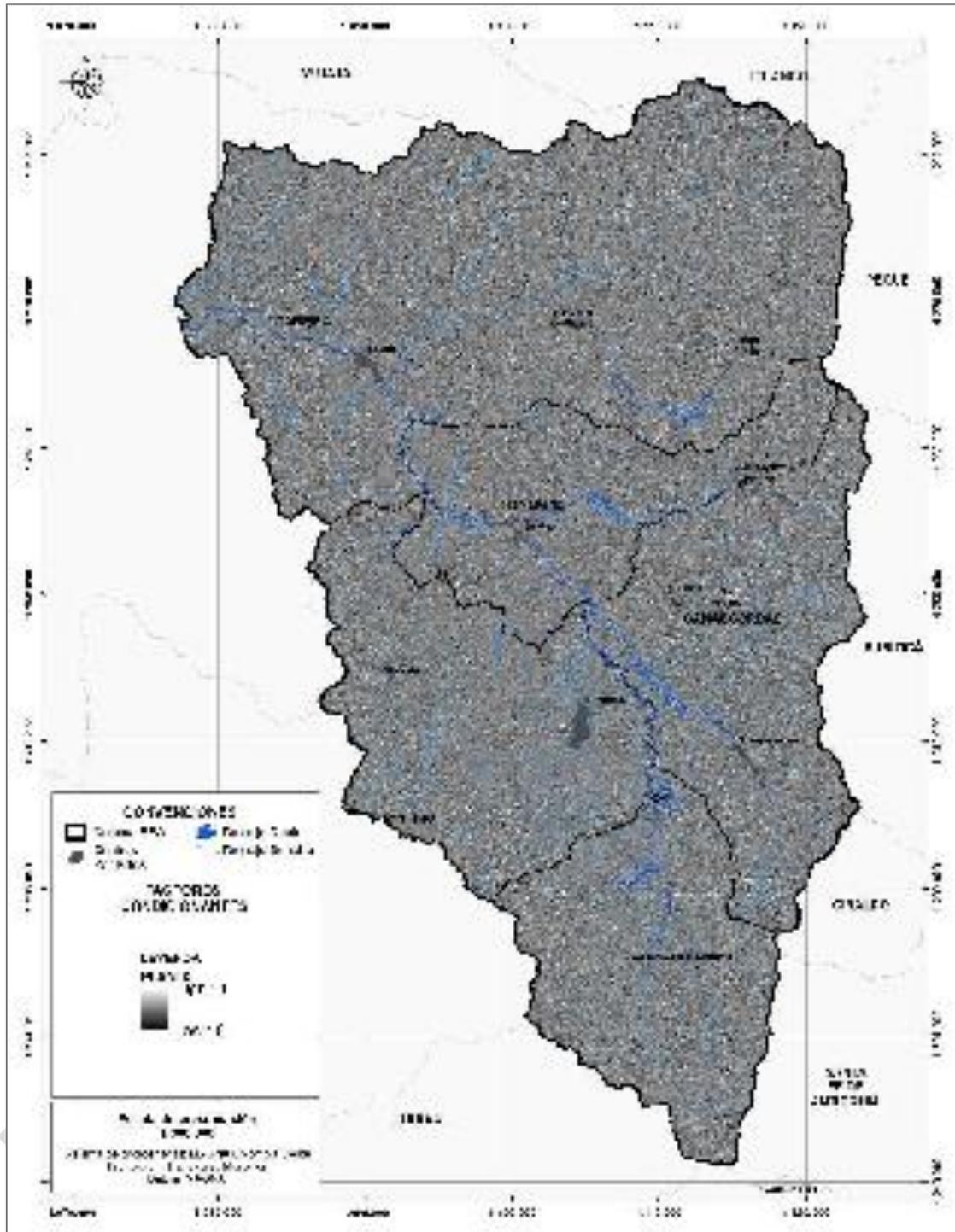
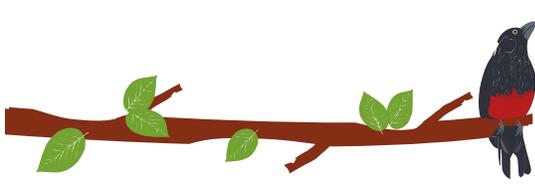
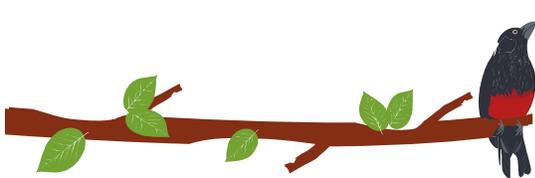


Figura 21. Propensividad a inestabilidad por curvatura del terreno respecto al plano horizontal  
Fuente: Elaboración propia

- Insolación (INSOL)



Corresponde al coeficiente de iluminación o intensidad reflejada de la superficie terrestre indicando el tiempo en que cada punto se encuentra bajo exposición directa al sol o en la sombra, lo que tiene incidencia en la desecación del suelo e incluso efectos en el tipo de vegetación. Los valores de Insolación se presentan normalizados entre 0 y 1 y la definición de su propensividad depende del sector porque zonas escarpadas pueden tener menor desecación pero al mismo tiempo menor retención potencial de agua Figura 22. Esta variable fue calculada con el promedio de 10 rásters que se generaron variando azimut y altitud de la siguiente manera: 5 ráster generados con azimut 315 y variación de altitud 18, 36, 54, 72, 90. Y 5 ráster generados con azimut 135 y variación de altitud 18, 36, 54, 72, 90. Debido a que los valores de insolación varían de 0 a 1, donde 0 significa que el terreno presenta menor retención de humedad y en consecuencia menor susceptibilidad a eventos de movimientos en masa, la calificación para esta variable es equiparable con su valor.

ETAPA DE PUBLICIDAD

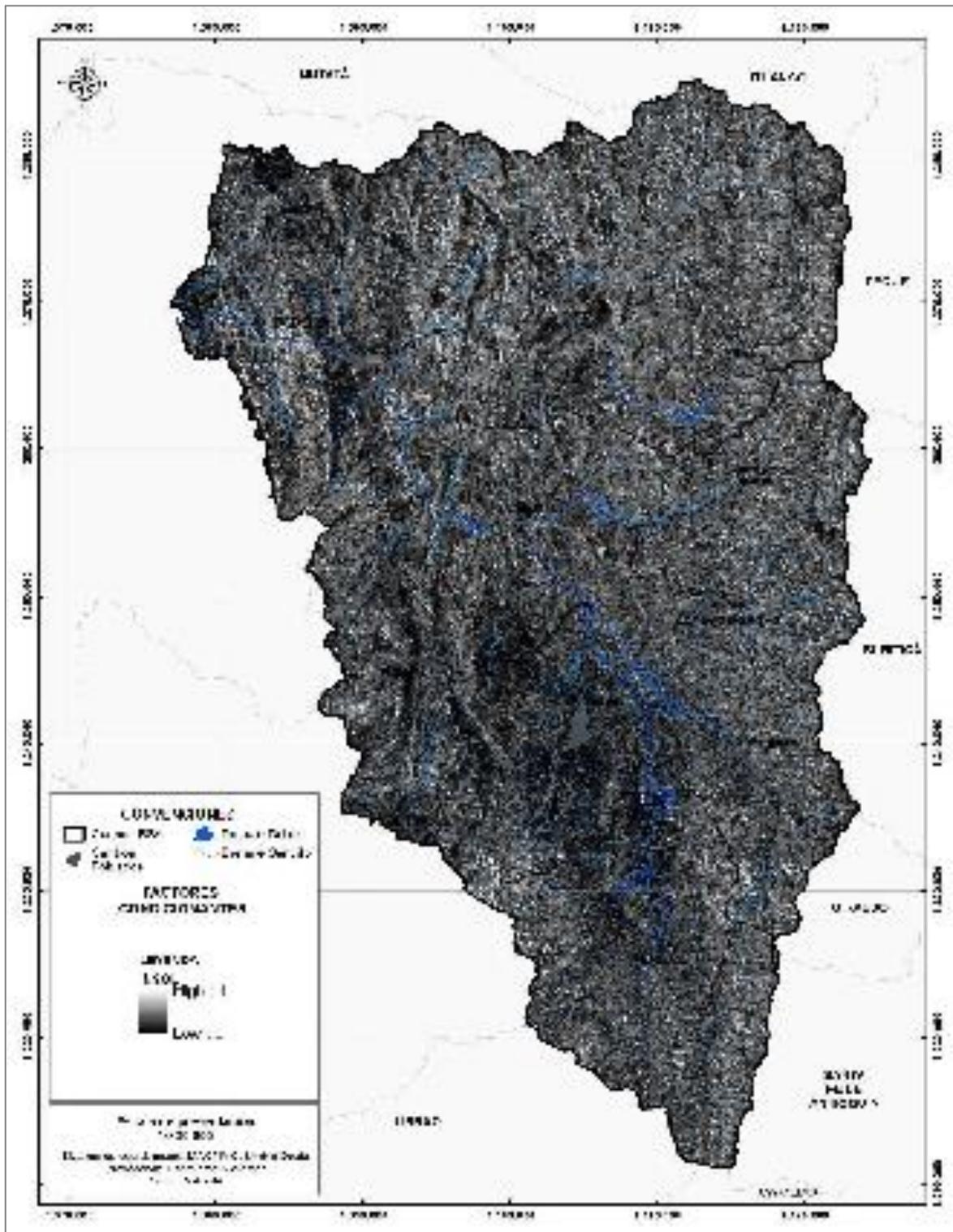
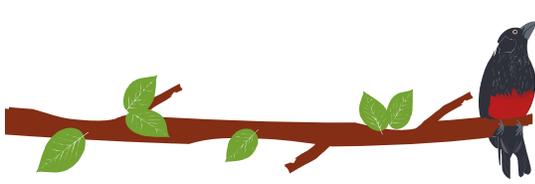
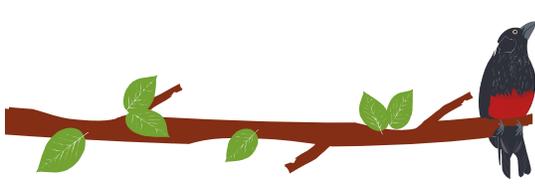


Figura 22. Propensidad a inestabilidad por insolación  
Fuente:Elaboración propia

- Orientación de la ladera (ORIENT)



Hace referencia a la dirección de exposición de la ladera para cada punto de la cuenca a evaluar y se adiciona con el fin de considerar de manera indirecta la variación de humedad por evaporación generada por exposición al sol y al viento y por avance de los frentes nubosos. Su valor se presenta normalizado entre 0 y 1, siendo 1 el área más propensa Figura 23.

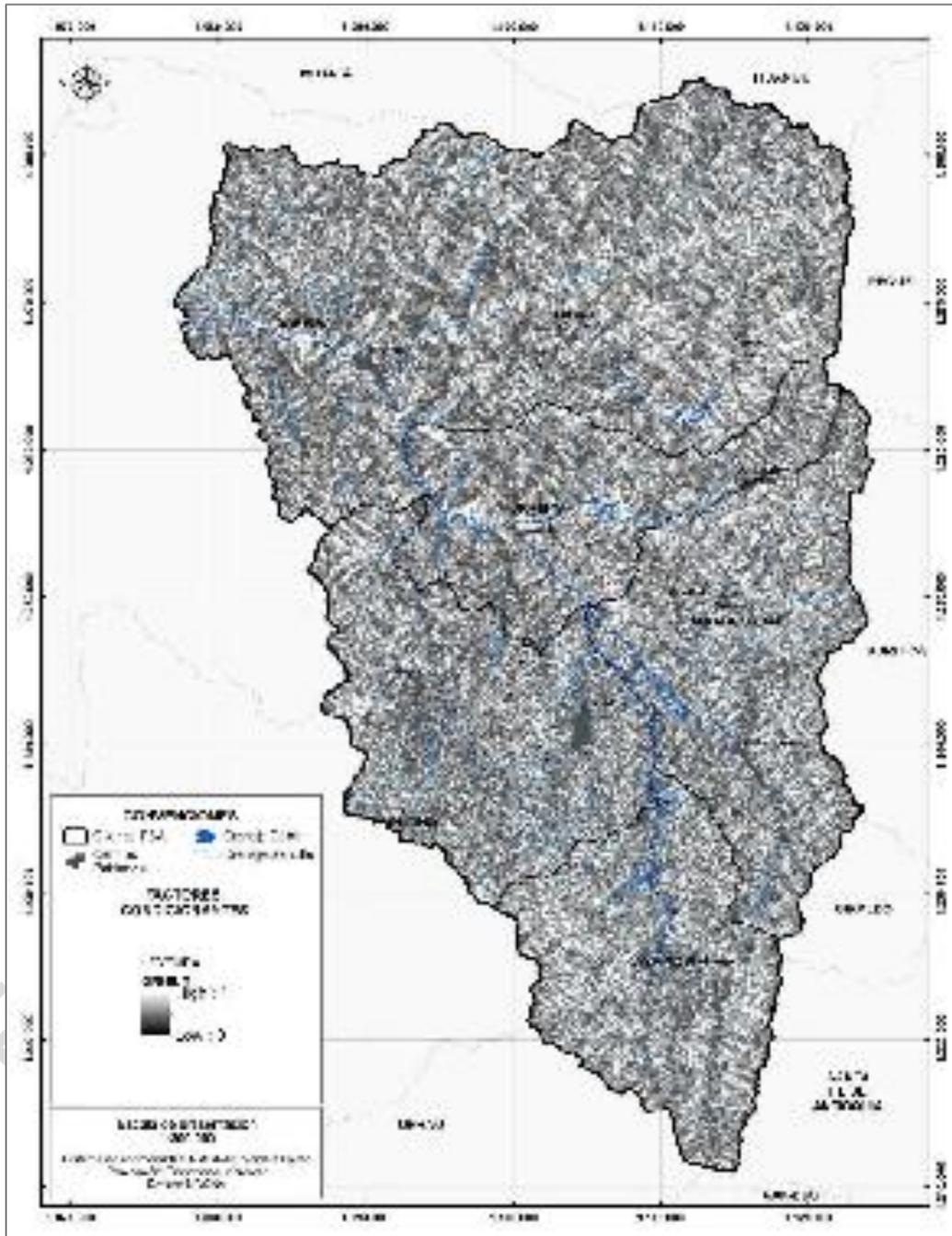


Figura 23. Propensividad a inestabilidad por orientación de la ladera  
Fuente: Elaboración propia

Esta variación de humedad, aunque puede llegar a no ser representativa en función de la orientación de la ladera, puede llegar a relacionarse con las condiciones de saturación de los suelos y cantidad y tipo de vegetación que podría afectar positiva o negativamente la estabilidad dependiendo del sistema radicular y profundidad del mismo. En la Tabla 5 se presenta la calificación y categorización de la orientación de la ladera utilizada para realizar el análisis de la variable en el presente estudio.

Tabla 5. Calificación y categorización de la orientación de la ladera

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

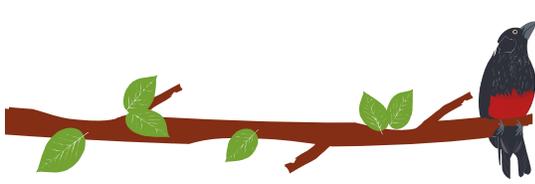
Fuente: Modificado: Nuria, 2001

- Acumulación de la cuenca (ACUENCA)

La acumulación de la cuenca se relaciona con la cantidad de agua que es capaz de recoger e infiltrar en el terreno. A mayor superficie acumulada más agua captada para escorrentía e infiltración (ver Figura 24). Se obtiene a partir de la dirección del flujo, el cual permite posteriormente calcular la acumulación por cada celda del DEM. Debido a que sus valores varían entre 0 y 1, donde 1 hace referencia a las zonas de mayor acumulación de agua y 0 las zonas de menor acumulación de agua, la calificación para esta variable es equiparable con su valor.

- Longitud de cuenca acumulada (LONG)

Esta variable da una indicación del tamaño de la cuenca y la longitud acumulada de flujo. Representa la capacidad de la misma para concentrar agua superficial y subterránea y de la posible acumulación de sedimentos o generación de cauces. Se obtiene a partir de la dirección de flujo que permite posteriormente calcular la longitud máxima de la cuenca acumulada para cada celda del DEM Figura 25.



PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO  
FASE DE FORMULACIÓN

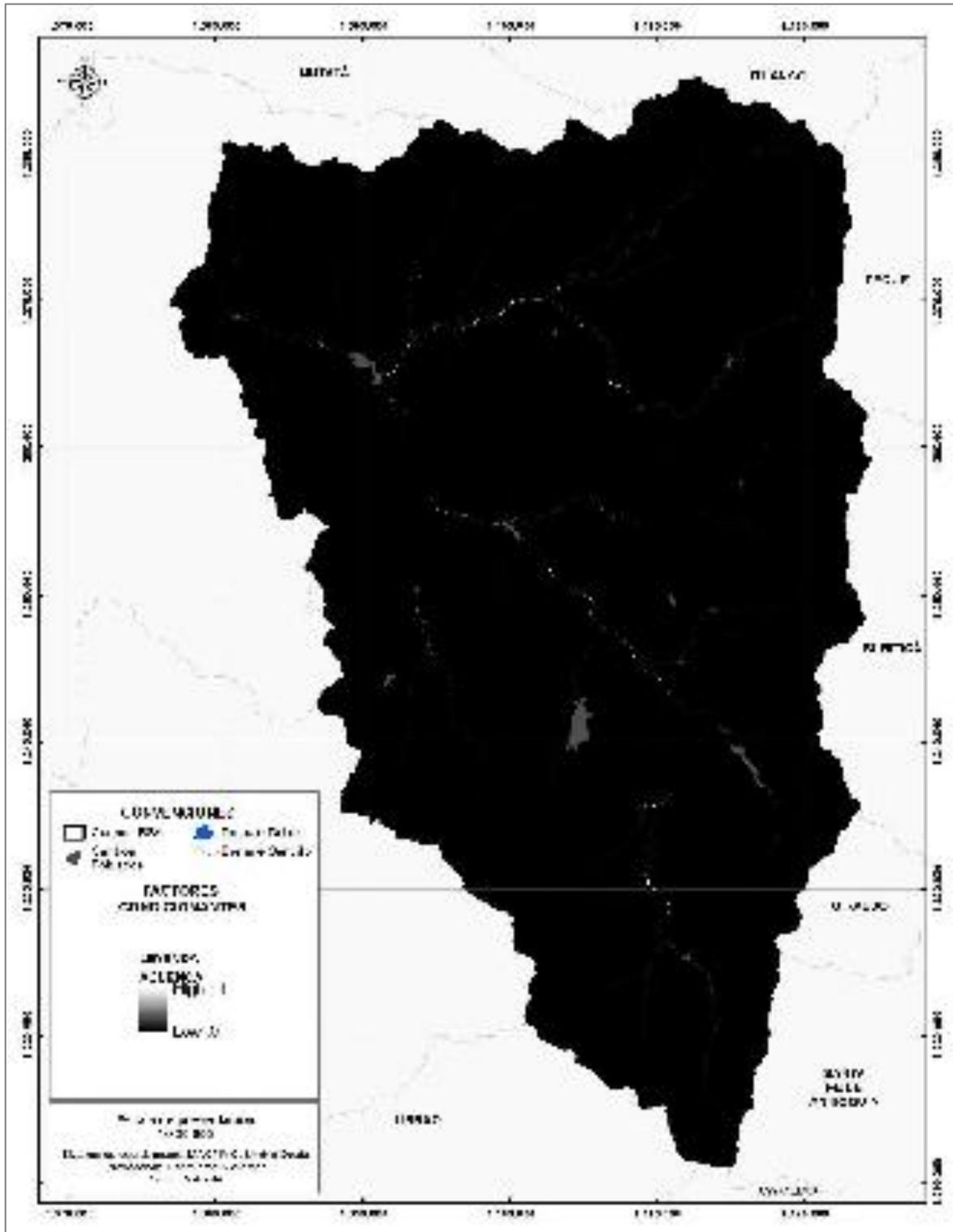
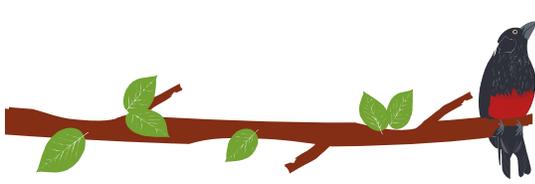


Figura 24. Propensividad a inestabilidad por acumulación de la cuenca  
Fuente:Elaboración propia



PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO  
FASE DE FORMULACIÓN

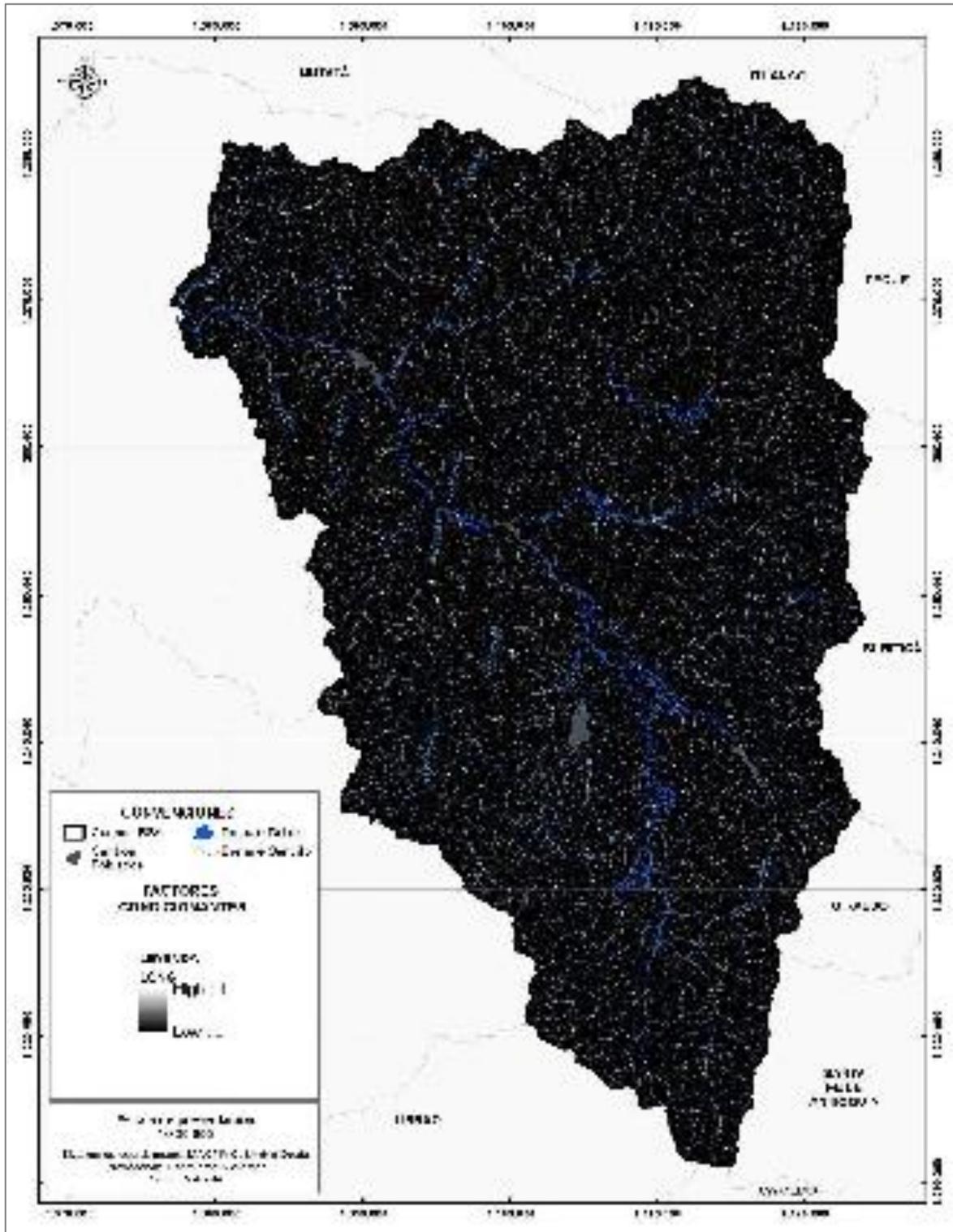


Figura 25. Propensividad a inestabilidad por longitud de cuenca acumulada  
Fuente:Elaboración propia

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

Para el área de estudio el modelo digital de elevación (DEM) permite ver que la zona comprende altitud entre 269 y 3.762 m. aproximadamente que en su mayoría representan una topografía montañosa, con relieves de pendientes altas con dos tendencias principales: hacia la parte externa de la cuenca alturas máximas y en el centro de la cuenca se observa el cambio progresivo de altura hacia el río Sucio en donde se evidencian las cotas mínimas de la cuenca. La zona en su mayoría presenta pendientes de alto grado.

La rugosidad del terreno en general es media, consecuente con la relación de pendientes (valores en promedio al 0,5) evidenciando que el cambio en altura presenta pendientes en general homogéneas hacia la parte externa de la zona de estudio, con cambios abruptos de la pendiente en la cuenca.

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

La pendiente senoidal de ladera (PENDS) presenta una distribución espacial muy similar a la pendiente de la cuenca, en general los valores normalizados son moderados (0,51) y propensividad alta en gran parte de la zona.

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

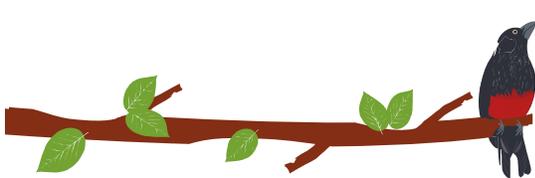
La tendencia en la curvatura del perfil (PERFIL) muestra que el terreno tiene principalmente curvaturas cóncavas que conforman zonas homogéneas (áreas de depósito) delimitadas por zonas elevadas donde se localizan las áreas con mayor susceptibilidad a procesos de denudación. La curvatura del plano (PLANTA)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

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

Se presenta una muy baja capacidad de almacenamiento de agua para la cuenca, los valores normalizados de acumulación de la cuenca (ACUENCA) tienden en su gran mayoría a cero. La propensividad de esta variable disminuye al no tener una alta acumulación de agua hacia los sectores más altos, su baja pendiente hace que sea estable y disminuya la probabilidad de presentarse movimientos en masa.

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

La relación de proximidad emplea el cálculo de la distancia de cada celda de análisis a los elementos sobre los cuales se considera una influencia sobre los procesos de inestabilidad geotécnica. Típicamente se define para cada punto inestable y estable la



distancia directa a cada uno de los elementos analizados (p.e. vías, canteras, ríos) y se normaliza en función de las máximas distancias encontradas.

Este tipo de consideración hace perder sensibilidad al análisis pues distancias muy largas evidentemente no reflejan influencia del elemento de análisis sobre el proceso de inestabilidad que se esté consultando. Por tal motivo se define para este estudio una distancia límite de influencia estimada a partir de la relación que existe entre un punto inestable y la influencia lineal de la variable de proximidad en su estabilidad. Este límite se define bajo criterios morfométricos y según los rasgos característicos de los puntos inestables observados para reducir drásticamente los valores extremos y aumentar significativamente la sensibilidad hacia este tipo de variables, las cuales se encuentran representadas en la Figura 26.

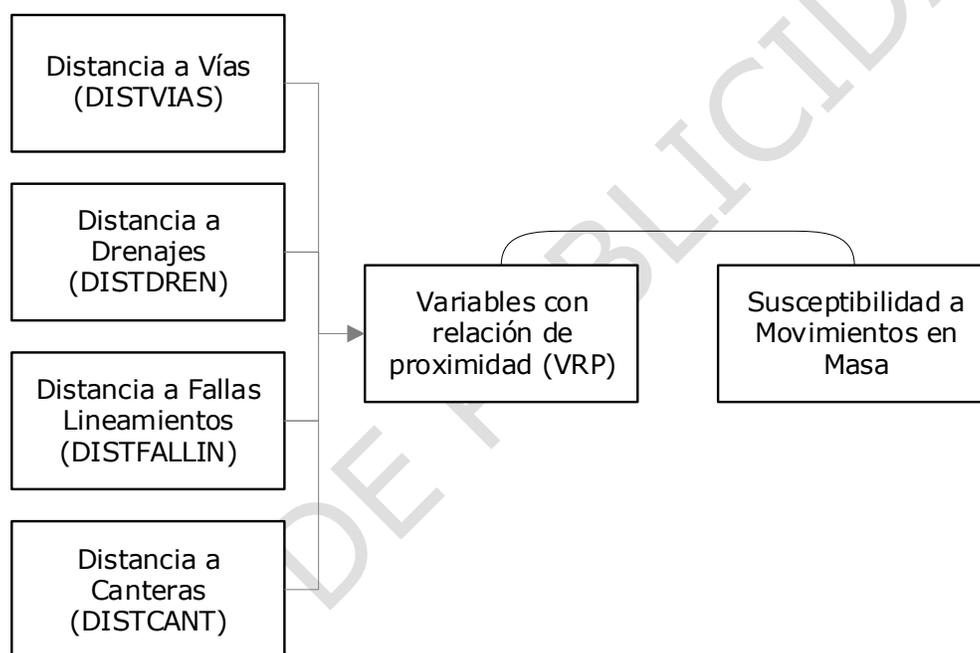


Figura 26. Factores condicionantes derivados de las variables con relación de proximidad  
Fuente: Elaboración propia

- Densidad de drenaje y distancia a drenajes (DISTDREN)

Estas variables hacen referencia a la presencia del sistema de la red de drenaje, la cual se relaciona con el gradiente promedio y áreas de drenaje de las corrientes y cuya presencia favorece la ocurrencia de movimientos en masa por efecto de la socavación lateral en los márgenes laterales. Se puede definir espacialmente como densidad de drenaje o como influencia por proximidad, siendo la primera importante para el efecto del tiempo de concentración de caudales y generación de avenidas torrenciales y el segundo importante para considerar el efecto de socavación en la generación de deslizamientos en los márgenes de los cuerpos de agua Figura 27.

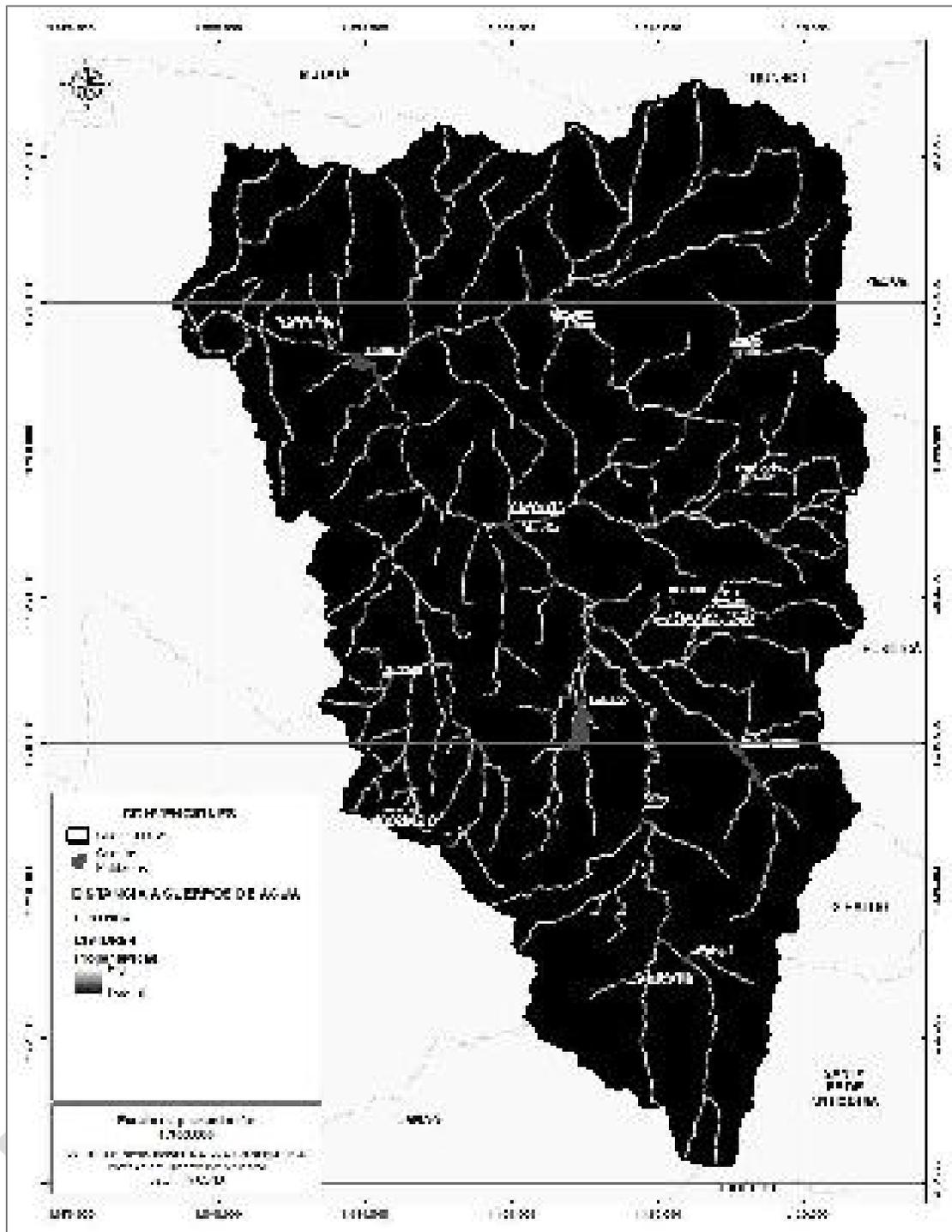
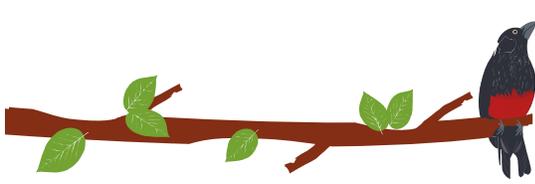


Figura 27. Propensividad a inestabilidad por proximidad de la distancia a drenajes Fuente:Elaboración propia

Para el presente análisis no se consideró la densidad de drenaje por ser mutuamente dependiente con la distancia a drenajes sin limitación de proximidad. La variable se presenta como la relación de proximidad con valores normalizados entre 0 y 1, siendo 1

un valor propenso a la inestabilidad. En la Tabla 6 se presenta la calificación y categorización de la distancia a cuerpos de agua utilizada para el presente estudio

Tabla 6. Calificación y categorización de la distancia a cuerpos de agua

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

Fuente: Elaboración propia

- Distancia a vías (DISTVIAS)

Corresponde a zonas en las que principalmente la acción antrópica ha dejado en evidencia taludes asociados a cortes viales en donde se pueden presentar condiciones de inestabilidad. La variable se presenta como la relación de proximidad con valores normalizados entre 0 y 1, siendo 1 un valor propenso a la inestabilidad. Esta variable se puede involucrar mediante la obtención de la densidad vial de acuerdo con la influencia que esta presenta para cada pixel o la distancia a la misma generando mayor susceptibilidad a medida que se va aproximando al trazado vial Figura 28. En la Tabla 7 se presenta la calificación y categorización de la distancia a vías utilizada en el presente estudio.

Tabla 7. Calificación y categorización de la distancia a vías

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

Fuente: Elaboración propia

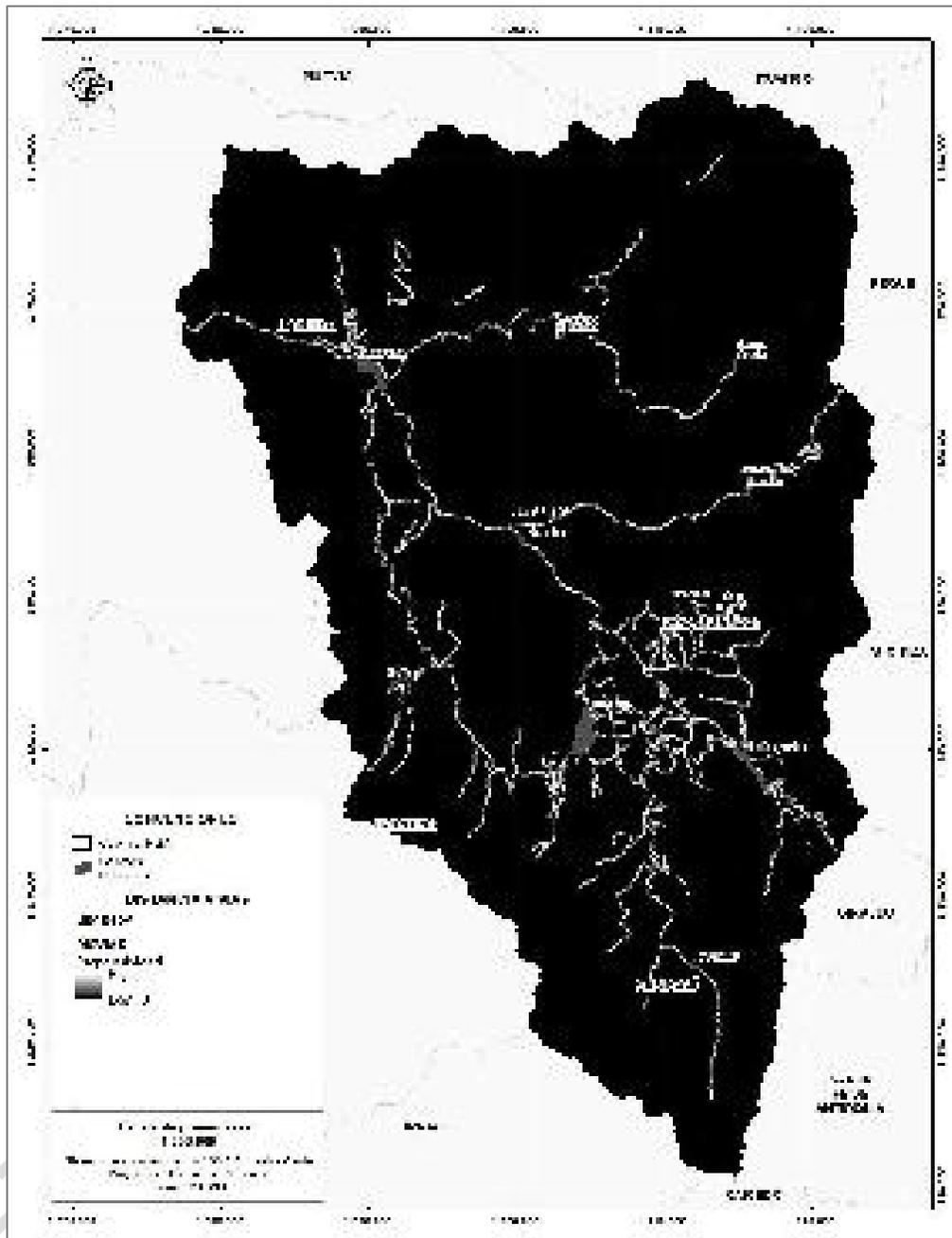
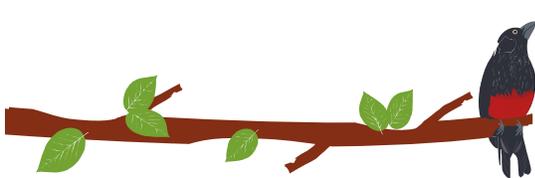
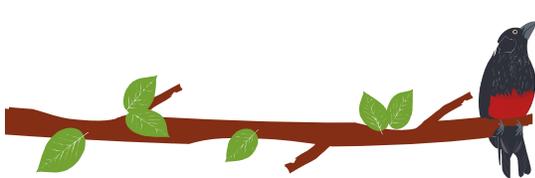


Figura 28. Distancia euclidiana desde cada punto del terreno hasta la vía mas cercana  
Fuente: Elaboración propia

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

La densidad de fracturamiento (Figura 29) depende fundamentalmente de la relación de proximidad a la falla o lineamiento según su método de obtención. Esta variable corresponde a las discontinuidades estructurales regionales de los macizos y estratos rocosos que disminuyen la resistencia de estos, aumentando la propensividad a la



ocurrencia de movimientos en masa. En consecuencia, entre más proximidad exista a la falla, menor será la capacidad de resistencia de la roca a los procesos denudacionales, presentándose mayores espesores de suelos residuales con menores grados de consolidación y reducción de sus propiedades mecánicas Figura 29.

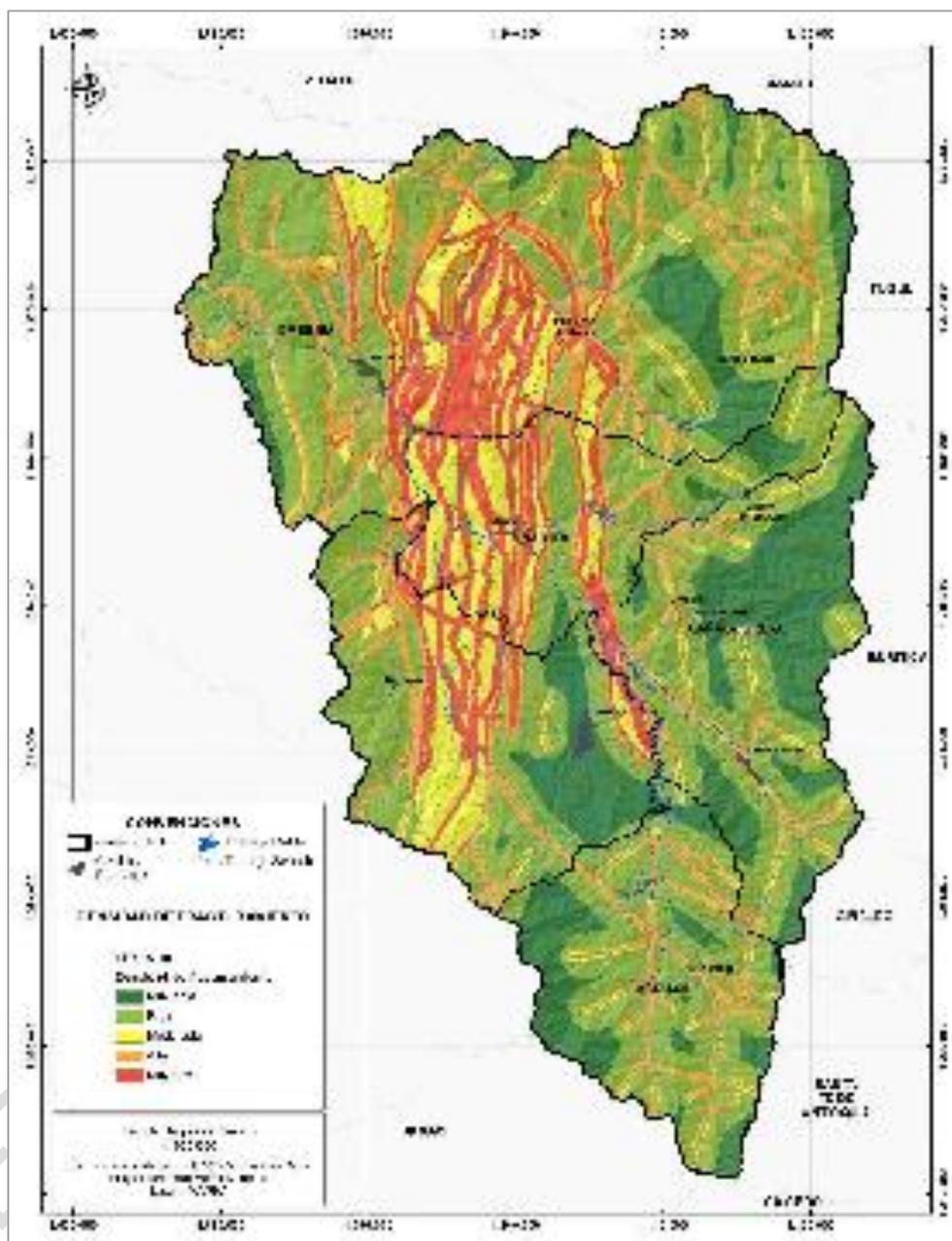
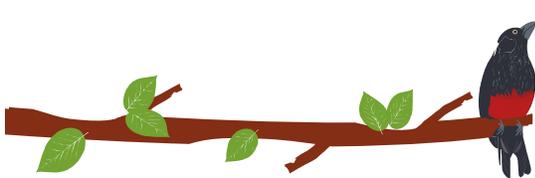


Figura 29. Densidad de fracturamiento. Fuente: Elaboración propia

La presencia de fallas locales (Figura 30) puede relacionarse con dos aspectos directos a la inestabilidad de laderas: sismicidad local como factor detonante y degradación de los materiales como factor condicionante. Al estar la cuenca cercana al sistema de fallas de Romeral se considera que la actividad de fallas locales se opaca considerablemente por la sismicidad regional, por lo cual no es conveniente relacionar movimientos en masa a los que se les desconoce su localización temporal detallada con la sismicidad local de fallas a las que no se les ha estudiado en detalle cuantitativo su actividad. Por lo anterior,





el análisis se enfocó en la posibilidad de degradación de las propiedades mecánicas de los materiales de roca y suelo en proximidad a las fallas. La variable se presenta como la relación de proximidad con valores normalizados entre 0 y 1, siendo 1 un valor propenso a la inestabilidad.

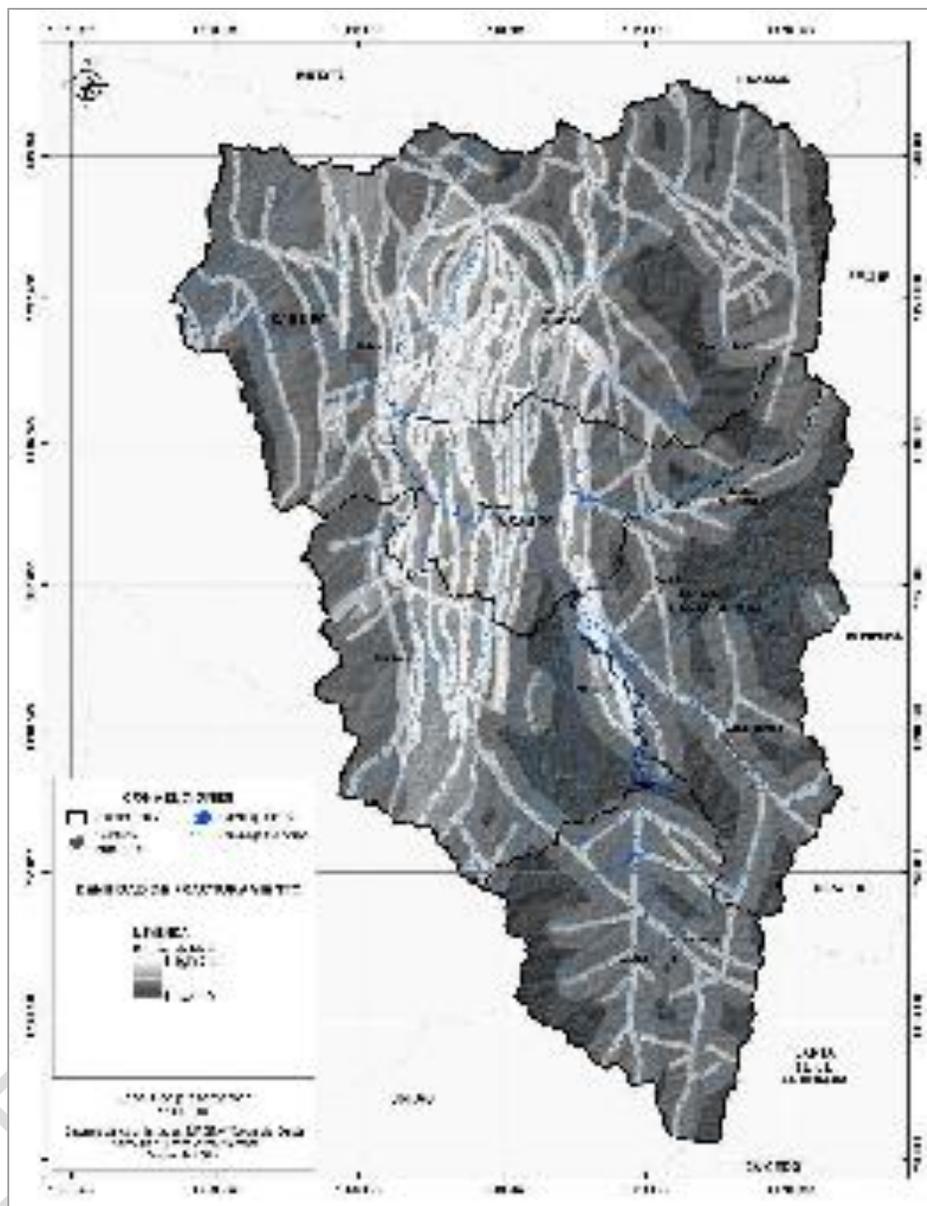


Figura 30. Propensividad a inestabilidad por proximidad de la distancia a fallas y lineamientos fotogeológicos  
Fuente: Elaboración propia

- Distancia a Canteras (DISCANT)

Esta variable hace referencia a la presencia intervención antrópica en la explotación de canteras que por su ejecución puede provocar desestabilidad de taludes por cortes en la ladera, movimientos de tierra y ausencia de vegetación generando aumento en la susceptibilidad por movimientos en masa Figura 31.



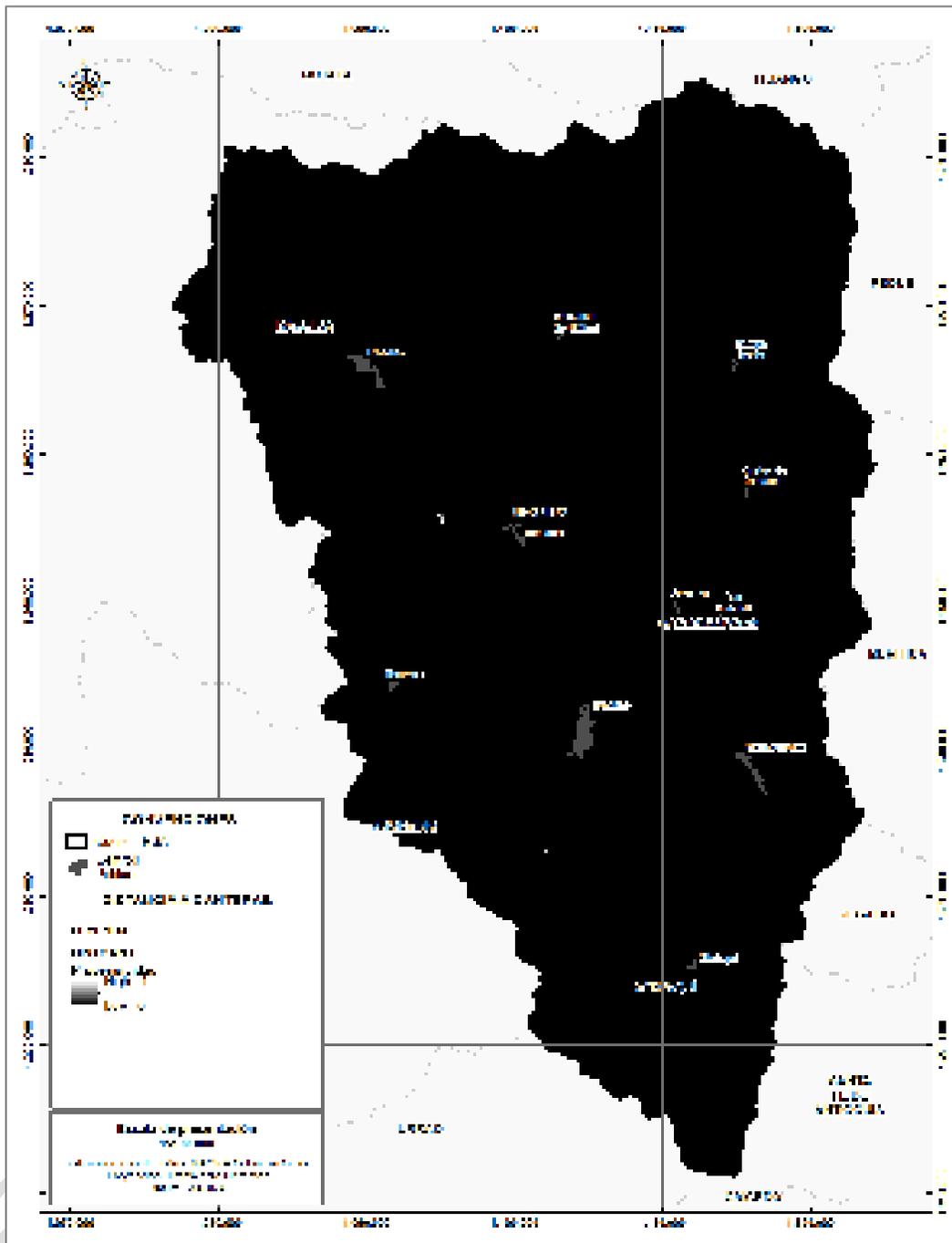


Figura 31. Propensividad a inestabilidad por proximidad de la distancia a canteras  
Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 8 se presenta la calificación y categorización de la distancia a canteras utilizada para el presente estudio.

Tabla 8. Calificación y categorización de la distancia a canteras

DISTANCIA A CANTERAS (m)	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
0 – 10	Alta	1
10 – 20	Alta	0,9

20 – 30	Alta	0,8
30 – 40	Alta	0,7
40 – 50	Moderada	0,6
50 – 60	Moderada	0,5
60 – 70	Moderada	0,4
70 – 80	Baja	0,3
80 – 90	Baja	0,2
100	Baja	0,1

Fuente: Elaboración propia

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

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

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

#### 7.5.1.2.7 Variables categóricas

La susceptibilidad a movimientos en masa depende también de variables categóricas como geología, geomorfología y coberturas de la tierra. La composición litológica de la roca se traduce en una mayor o menor competencia o resistencia de la misma, el ambiente de formación (estructural o denudacional) en que ésta se encuentre formando redonda en la influencia diferenciada de procesos de meteorización y la cobertura de la tierra sugiere degradación o conservación de los suelos superficiales y mayores o menores infiltraciones de agua. La combinación de estos factores aporta considerablemente a la ocurrencia de movimientos en masa, teniendo en cuenta siempre la variación del terreno, los ambientes morfogenéticos y el grado de humedad e infiltración en la zona que puede afectar la resistencia del material Figura 32.

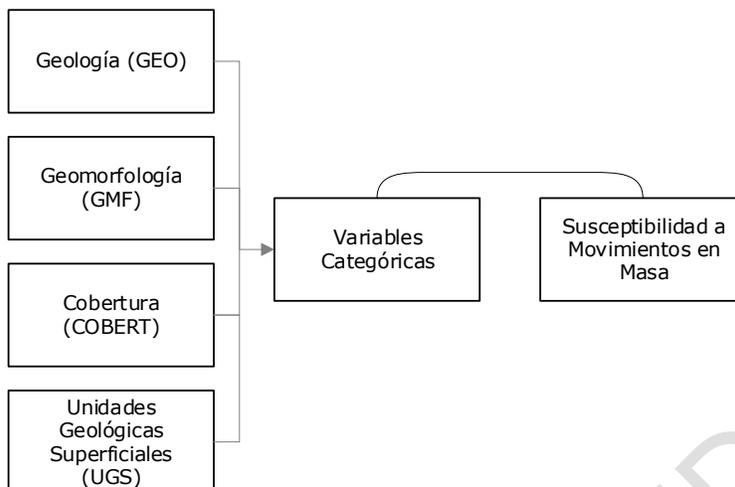


Figura 32. Factores condicionantes derivados de las variables categóricas  
Fuente: Elaboración propia

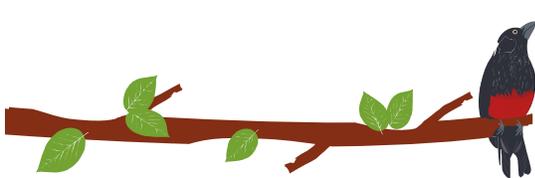
- Origen o unidades geológicas básicas (GEO)

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

Para evitar esta dependencia entre variables y considerando que la variación de las características litológicas y estructurales del área de estudio influyen en el proceso de generación de movimientos en masa dadas las diferencias en la resistencia y permeabilidad de las unidades geológicas básicas, se define el origen de los materiales en función de la geología básica y se clasifican por propensividad de manera normalizada (0 para baja a 1 para alta). En la Tabla 9 se presenta la clasificación y los pesos asignados a cada una de las clases de acuerdo a sus características (calificación de la propensividad).

Tabla 9. Propensividad a inestabilidad según origen o del tipo de unidad geológica

UGS	ORIGEN	T_MATERIA L	OR I	NOMBRE	UGS	NOM_UGS
Riie1	Volcánico	1	2	Diabasas y basaltos de San José de Urama	Riie1	Roca ígnea intermedia
Ris1	Volcano-Sedimentario	1	2	Chert y calizas de Nutibara	Ris1	Roca intermedia sedimentaria
Rmbs 3	Residual	2	3	Formación Guineales	Rmbs 3	Roca moderadamente blanda sedimentaria



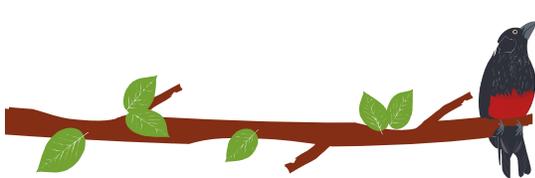
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO  
FASE DE FORMULACIÓN

Srie1	Residual	2	3	Diabasas y basaltos de San José de Urama	Srie1	Suelo residual ígneo extrusivo limoso de alta y b
Srie2	Residual	2	3	Formación Barroso	Srie2	Suelo residual ígneo extrusivo limoso de baja compresibilidad
Srie3	Residual	2	3	Basaltos de La Clara - Río Calle	Srie3	Suelo residual ígneo extrusivo limoso de baja com
Srie4	Residual	2	3	Basalto de El Botón	Srie4	Suelo residual ígneo extrusivo arenoarcilloso
Srie5	Residual	2	3	Complejo Santa Cecilia la Equis	Srie5	Suelo residual ígneo extrusivo arenoarcilloso
Srii1	Residual	2	3	Diorita de Morrogacho	Srii1	Suelo residual ígneo intrusivo limoso de baja com
Srii2	Residual	2	3	Monzonita del Cerro Frontino	Srii2	Suelo residual ígneo intrusivo arenoso no plástico
Srii3	Residual	2	3	Monzonita de Nudillales	Srii3	Suelo residual ígneo intrusivo de arenas limosas
Srs1	Residual	2	3	Chert y calizas de Nutibara	Srs1	Suelo residual sedimentario limoso de alta y baja*
Srs2	Residual	2	3	Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao	Srs2	Suelo residual arenolimoso arcilloso de alta y ba*
Srs3	Residual	2	3	Formación Guineales	Srs3	Suelo residual gravoarenoso limoso y arcilloso
Srs4	Residual	2	3	Sedimentitas de Beibaviejo	Srs4	Suelo residual sedimentario arenoso y arcilloso
Stfab4	Transportados	2	4	Depósitos aluviales	Stfab4	Suelo transportado de abanico terraza aluvial
Stfal1	Transportados	2	4	Depósitos aluviales	Stfal1	Suelo transportado de llanura de inundación
Stfdt5	Transportados	2	4	Depósitos coluviales	Stfdt5	Suelo transportado torrencial
Stfft6	Transportados	2	4	Depósitos aluviales	Stfft6	Suelo transportado fluvio torrencial
Stftz3	Transportados	2	4	Depósitos aluviales	Stftz3	Suelo transportado de terraza aluvial
Strc1	Transportados	2	4	Depósitos coluviales	Strc1	Suelo traslocado coluvial
Strc3	Transportados	2	4	Depósitos coluviales	Strc3	Suelo traslocado flujos de detritos
Strc4	Transportados	2	4	Depósitos coluviales	Strc4	Suelo traslocado flujos de lodo
ZP	Antrópico	1	1	Zonas Pobladas	ZP	Zona poblada

Fuente: Elaboración propia







pendientes, contrastes morfológicos (rugosidad, curvatura, etc.) y cronología cronología (SGC -Servicio Geológico Colombiano, 2012). En la Tabla 10 se presenta la clasificación y los pesos asignados a cada una de las clases de acuerdo a sus características (calificación de la propensividad).

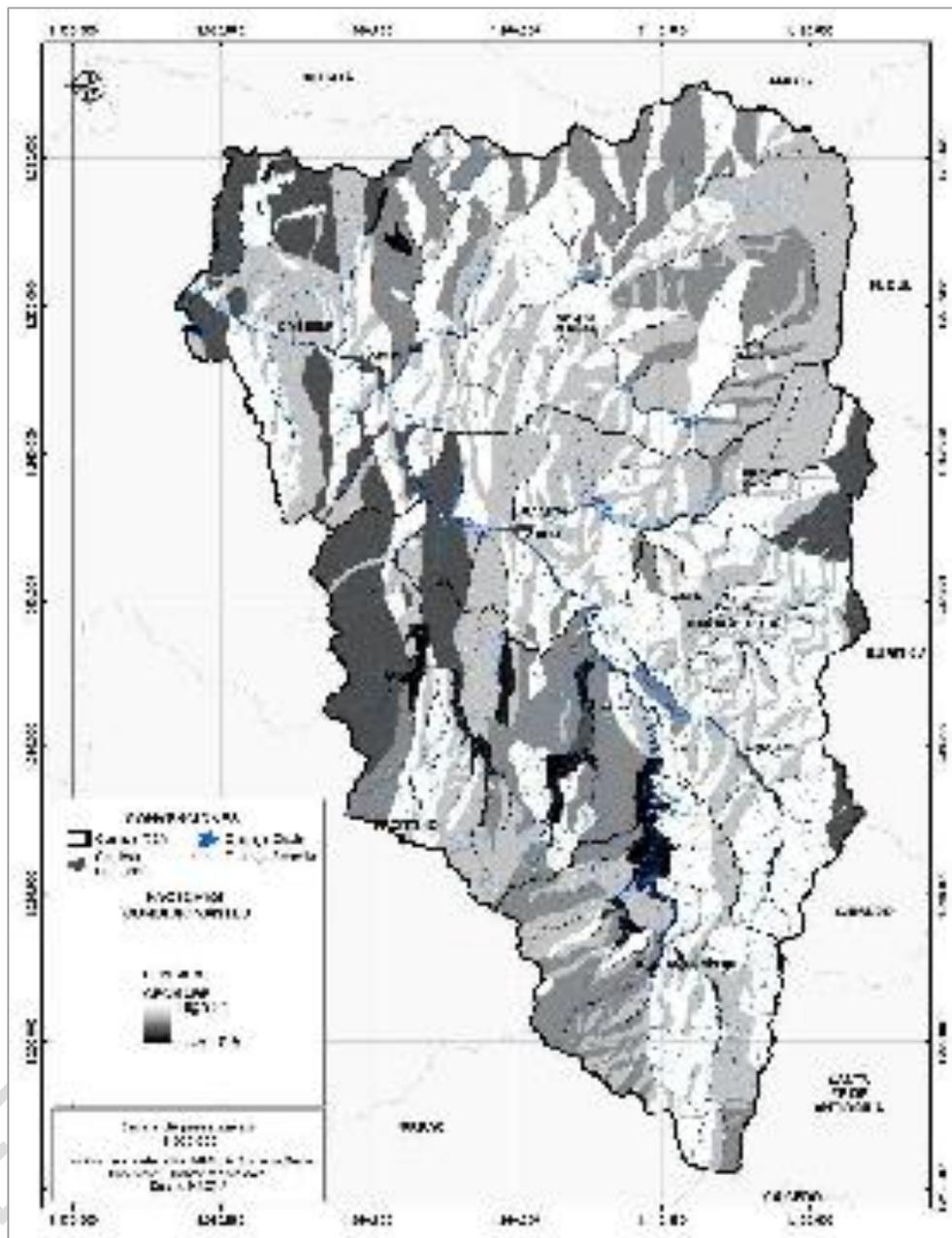


Figura 34. Propensividad por tipo de unidad geomorfológica  
Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Propensividad a inestabilidad según tipo de subunidad geomorfológica

CODIGO	NOM_UNIDAD	VALOR
Ac	Canteras	1.50
Ap	Áreas Pobladas	1.00

Dco	Cono y lóbulo coluvial y de soliflucción	4.00
Dct	Cono de talus	4.20
Deem	Escarpe de erosión menor	4.30
Dlde	Lomo denudado	4.05
Dldeal	Lomo denudado alto de longitud larga	4.25
Dldi	Lomeríos de disectados	4.10
Dle	Ladera erosiva	4.90
Dlfd	Cono o lóbulo de flujo de lodo y tierra	4.50
Dlo	Ladera ondulada	4.20
Dlpd	Lomeríos poco disectados	4.00
Dpa	Pedimentos de acumulación	4.50
Dpe	Pedimentos de erosión	4.60
Dsd	Sierra denudada	4.22
Fca	Cauce aluvial	2.00
Fta	Terraza de acumulación	2.00
Ftae	Escarpe de terraza de acumulación	2.50
Ftan	Terraza de acumulación antigua	2.20
Ftas	Terrazas de acumulación subreciente	2.10
R	Afloramiento rocoso	2
Sefc	Espolón faceteado	3.35
Sefcml	Espolón faceteado moderado de longitud larga	3.70
Sefesml	Espolón festoneado de longitud larga	3.50
Sesal	Espolón de longitud larga	3.30
Sesbl	Espolón bajo de longitud larga	3.10
Sesbm	Espolón bajo de longitud media	3.00
Sesml	Espolón moderado de longitud larga	3.60
Sft	Faceta triangular	3.70
Slcp	Ladera contrapendiente	3.90
Sle	Ladera estructural	3.75
Slfe	Lomo de Falla	3.50
Ss	Sierra	3.15
Ssh	Sierra homoclinal	3.80
Sshlc	Ladera contrapendiente de sierra homoclinal	3.05
Sshle	Ladera estructural de sierra homoclinal	3.01
Sslp	Sierra y lomos de presión	3.85
Sss	Sierra sinclinal	3.03
Ssslc	Ladera de contrapendiente sierra sinclinal	3.45

Fuente: Elaboración propia

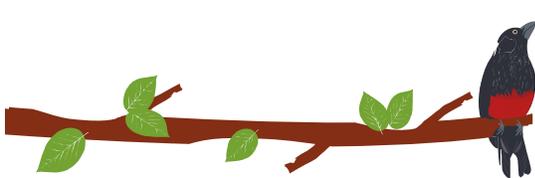
- Vegetación y tipo de cobertura (COBERT)

El tipo de cobertura vegetal y el uso del suelo influyen en la estabilidad del terreno porque definen la capacidad de infiltración en el suelo y la humedad del mismo, mientras que puede provocar un aumento de resistencia por la presencia de raíces y protección

frente a la erosión. Cada cobertura y uso del suelo genera propensividad diferente a la inestabilidad. En la Tabla 11 se presenta la clasificación y los pesos asignados a cada una de las clases de acuerdo a sus características (calificación de la propensividad).

Tabla 11. Propensividad a inestabilidad según tipo de cobertura vegetal

CODIGO CORINE LAND	VALOR	COBERTURA Y USO
111	1.000	Tejido urbano continuo
112	1.200	Tejido urbano discontinuo
1131	1.400	Construcciones rurales
1132	1.600	Construcciones rurales
1133	1.800	Construcciones rurales
1211	2.000	Zonas industriales
12117	2.100	Zonas industriales
1212	2.200	Zonas comerciales
12125	2.300	Zonas comerciales
122111	2.400	Vía pavimentada
122112	2.600	Vía sin pavimentada
12212	2.800	Territorios asociados a red vial
122121	2.900	Territorios asociados a red vial
1241	2.900	Aeropuertos
125	2.900	Obras hidráulicas
1315	3.000	Zonas de extracción minera
1422	3.200	Áreas deportivas
211	4.000	Otros cultivos transitorios
2122	4.300	Maíz
2133	4.600	Frijol
2211	5.000	Otros cultivos permanentes herbáceos
22111	5.010	Maracuyá
2212	5.020	Caña
2213	5.030	Plátano y banano
2215	5.040	Papaya
2221	5.050	Otros cultivos permanentes arbustivos
2222	5.060	Café
2227	5.070	Lulo
2231	5.080	Otros cultivos permanentes arbóreos
2233	5.090	Cítricos
2235	5.100	Aguacate
231	6.000	Pastos limpios
232	6.400	Pastos arbolados
233	6.800	Pastos enmalezados
242	7.200	Mosaico de pastos y cultivos
243	7.400	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales
244	7.600	Mosaico de pastos con espacios naturales



PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO  
FASE DE FORMULACIÓN

245	7.800	Mosaico de cultivos y espacios naturales
31111	8.000	Bosque denso alto de tierra firme
3132	10.000	Bosque fragmentado con vegetación secundaria
3141	11.000	Guadua
3142	11.200	Latifoliadas arbolado
3143	11.400	Herbazal y arbustal
3144	11.600	Mixta
315	12.000	Plantacion forestal
3151	12.200	Plantación de coníferas
3152	12.400	Plantación de latifoliadas
321111	13.000	Herbazal denso de tierra firme no arbolado
32212	13.400	Arbustal denso
3231	13.600	Vegetación secundaria alta
3232	13.800	Vegetación secundaria baja
3312	14.000	Arenales
3331	14.200	Desnudas
3332	14.600	Degradadas
3333	14.800	Tierras desnudas y degradadas
411	15.000	Zonas pantanosas
511	16.000	Ríos

Fuente: Elaboración propia

ETAPA DE PUBLICIDAD



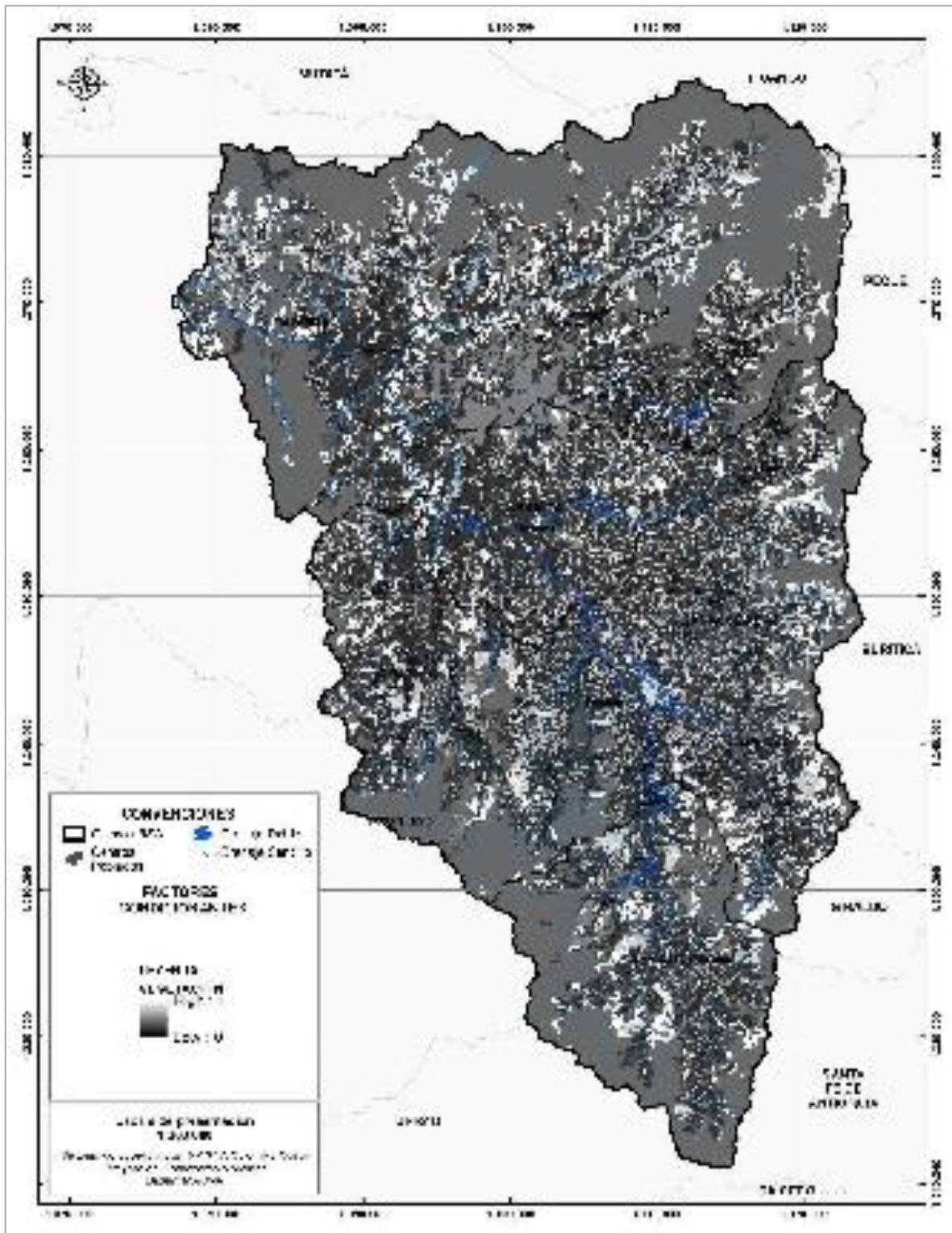
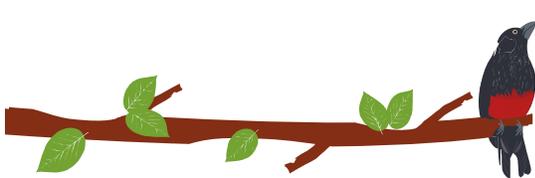


Figura 35. Propensividad por tipo de cobertura  
Fuente: Elaboración propia

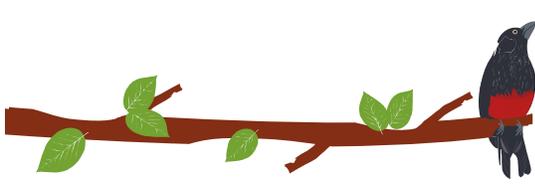
- Presencia y espesor de depósitos o Unidad Geológica Superficial (UGS)



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

ETAPA DE PUBLICIDAD





PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO  
FASE DE FORMULACIÓN

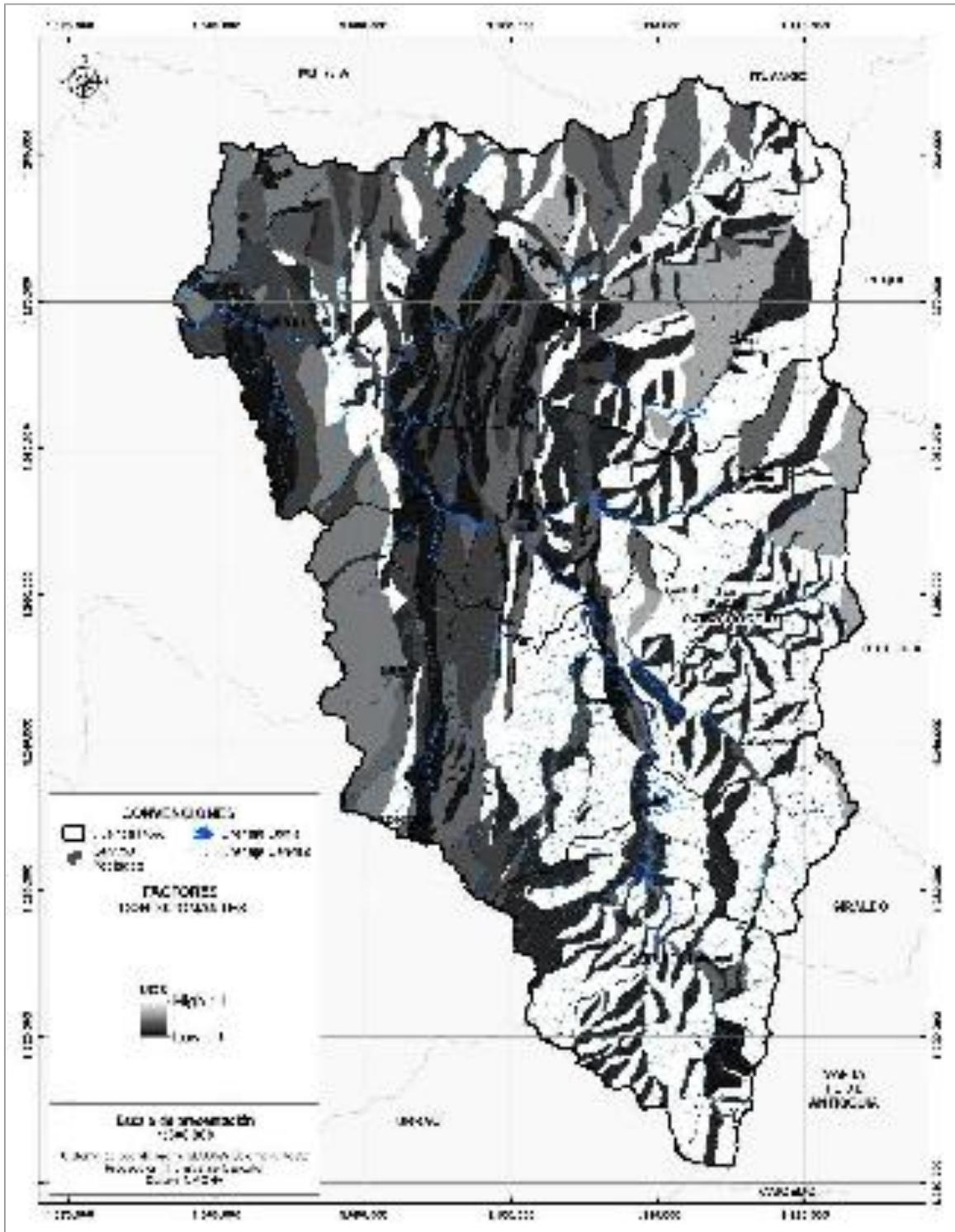
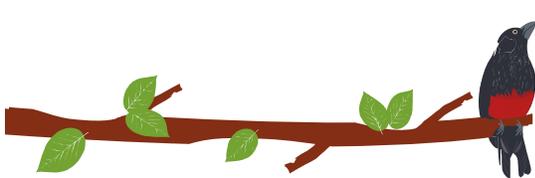


Figura 36. Propensividad por tipo de unidad UGS  
Fuente: Elaboración propia



La caracterización de materiales geológicos superficiales se encuentra descrita en el capítulo de geología. En la Tabla 9 se presenta la clasificación y los pesos asignados a cada una de las clases de acuerdo a sus características (calificación de la propensividad).

#### 7.5.1.2.8 Análisis de las variables categoricas

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

Las unidades geomorfológicas de ambiente estructural y denudacional que presentan la mayor propensividad a movimientos en masa predominan en la cuenca.

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

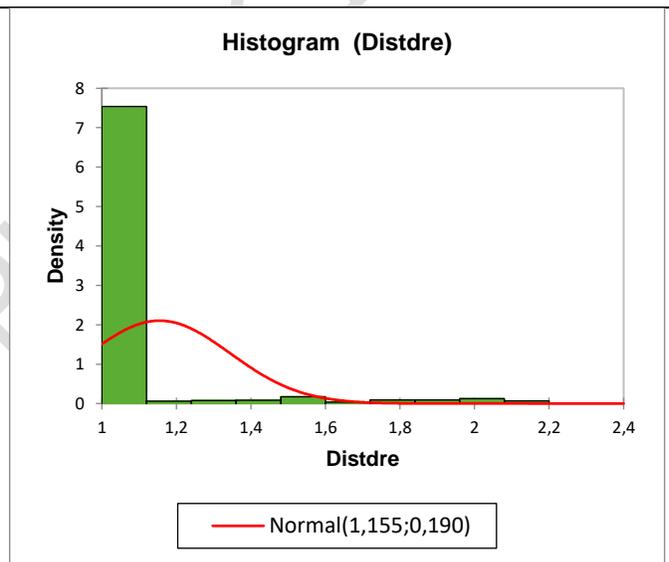
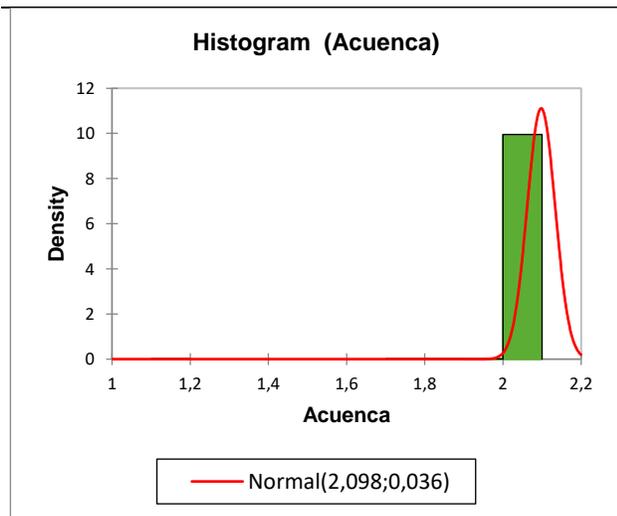
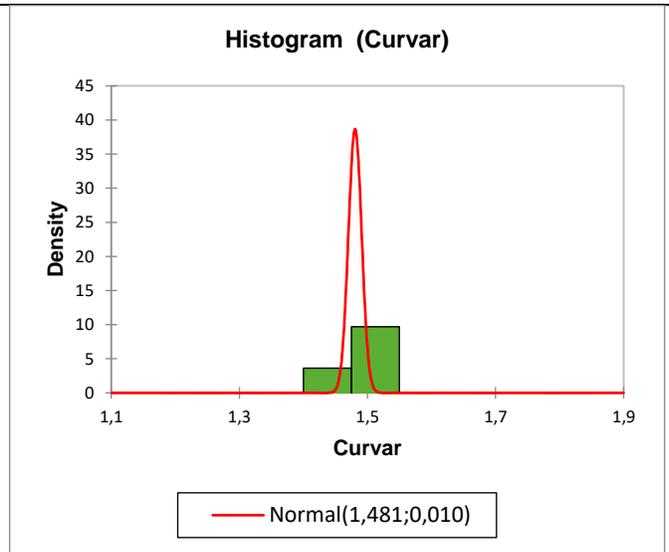
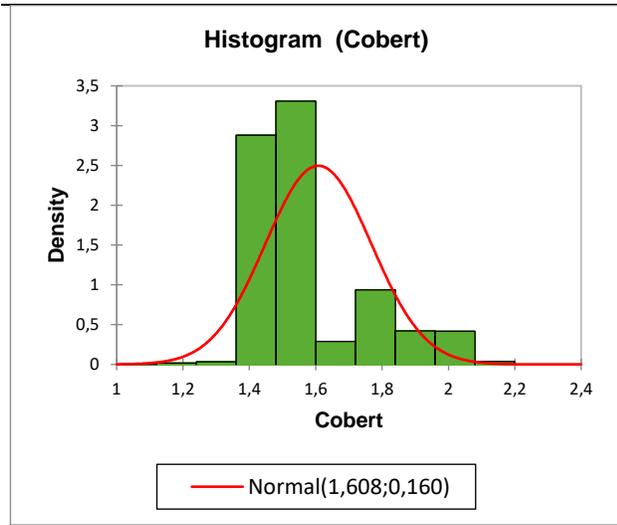
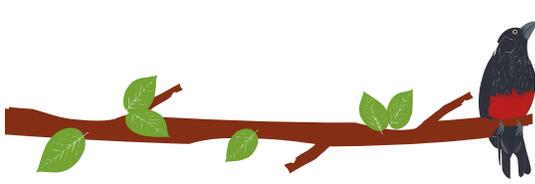
#### 7.5.1.3 Análisis de la zonificación de susceptibilidad a movimientos en masa

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

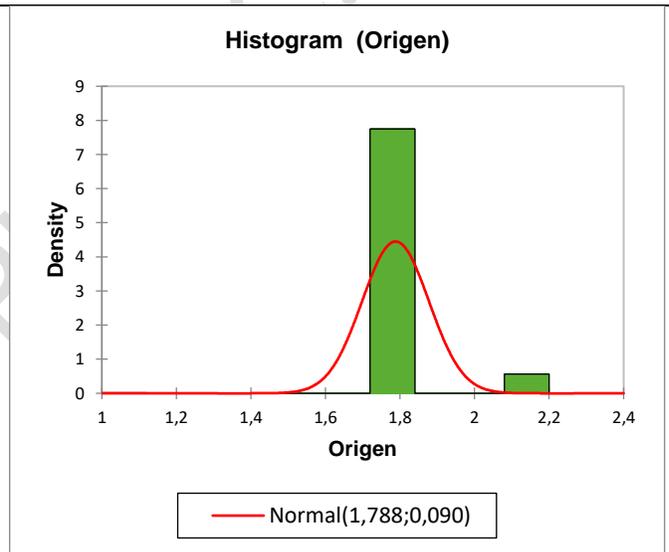
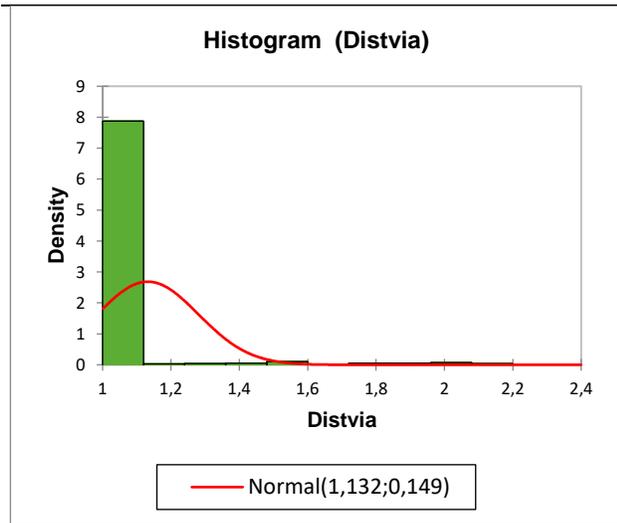
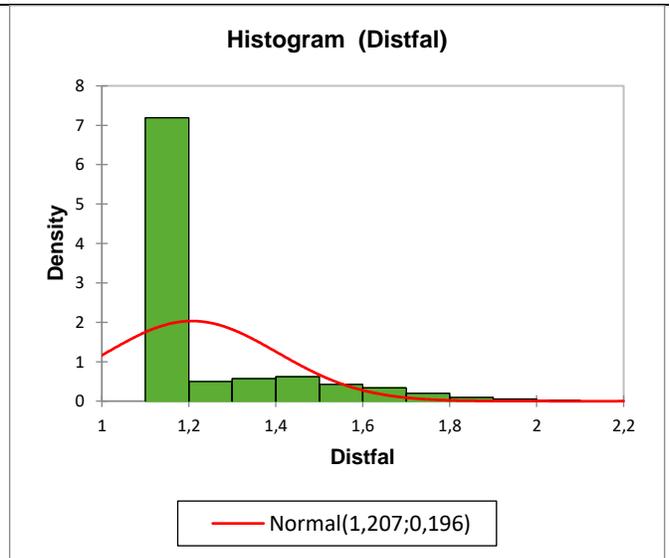
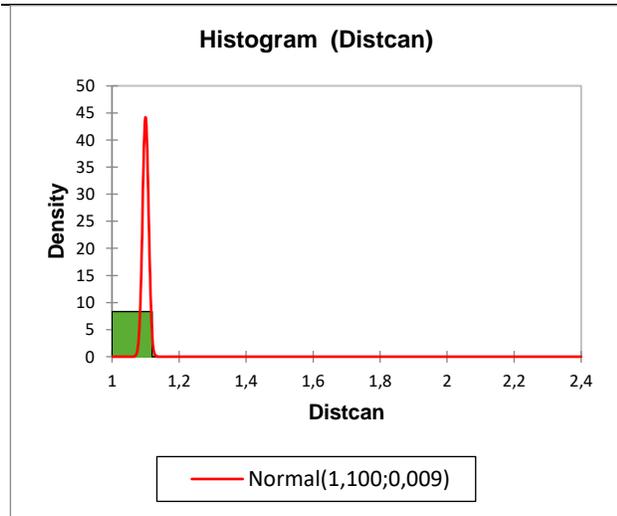
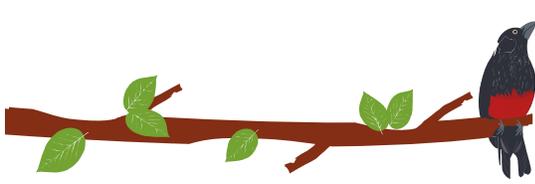
Inicialmente es necesario realizar pruebas estadísticas para conocer la distribución que tiene cada variable y validar si siguen una distribución normal para definir la pertinencia de su uso dentro del modelo. Entre las pruebas estadísticas que analizan el ajuste a una distribución normal se ha seleccionado el test de Kolmogorov-Smirnov (K-S). El test K-S permite conocer la bondad del ajuste mediante el contraste entre la función de distribución acumulada empírica de la variable y la distribución acumulada teórica normal. Para ello se utiliza el estadístico de contraste arrojado por la prueba K-S, el cual juzga la bondad del ajuste de la variable a la distribución normal mediante la siguiente prueba de hipótesis:

$$\begin{cases} H_0: \text{La variable sigue una distribución normal}; p > 0,05 \\ H_1: \text{La variable no sigue una distribución normal}; p < 0,05 \end{cases}$$

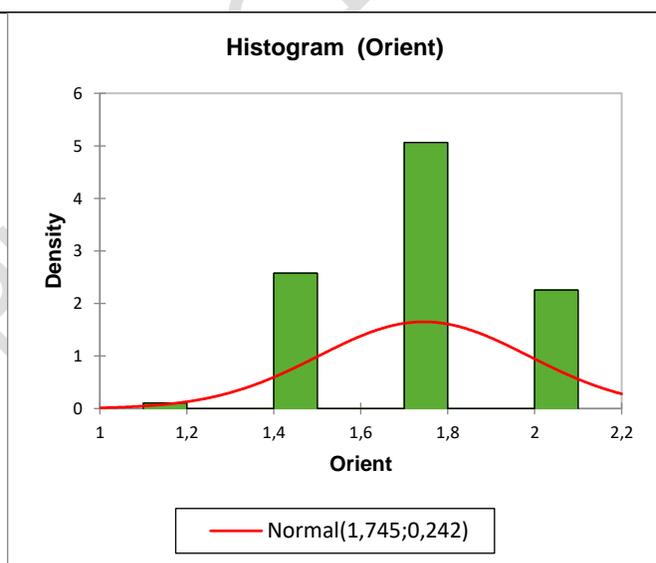
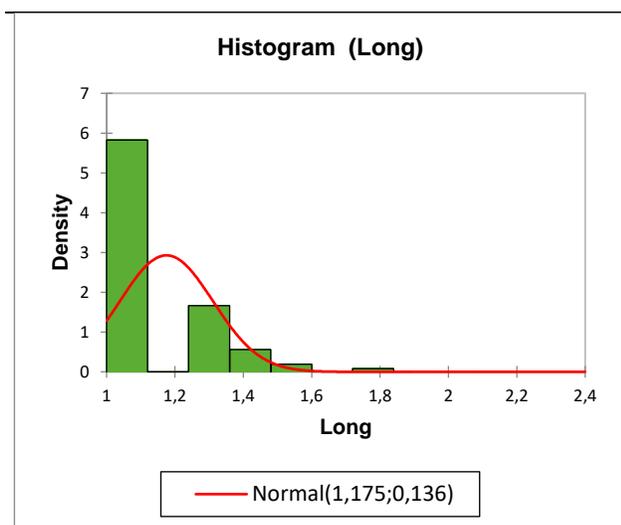
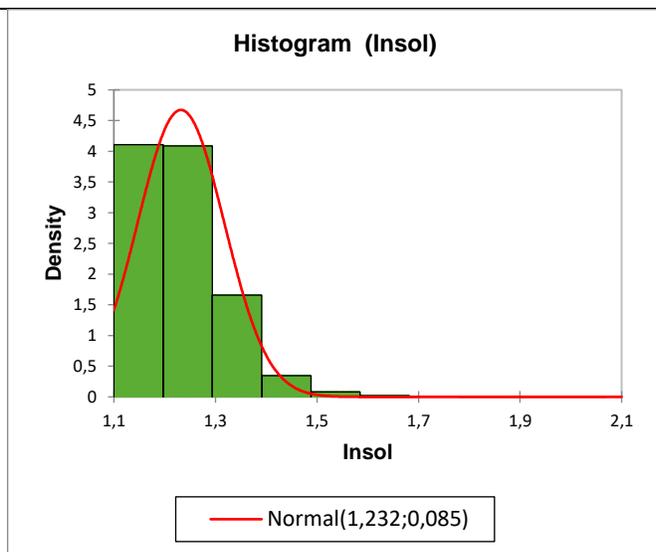
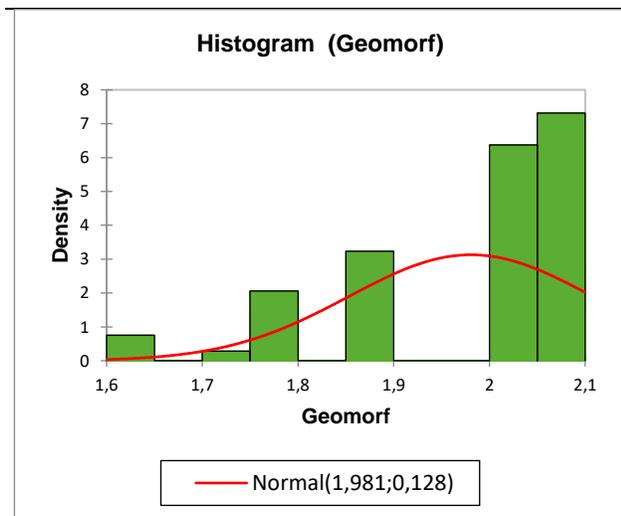
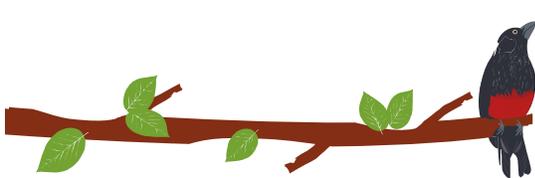
La Figura 37 muestra los histogramas de las variables.



ETAPA



ETAPIA



ETAPAS

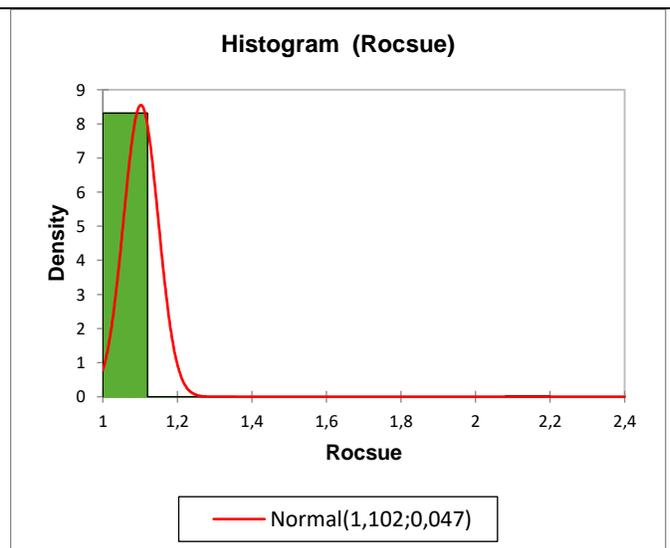
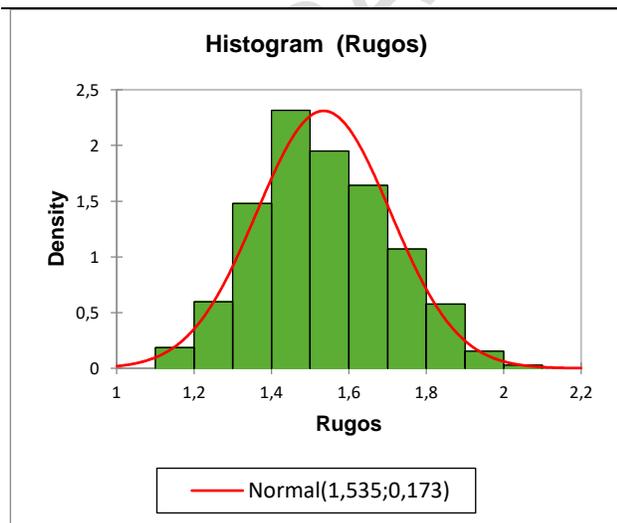
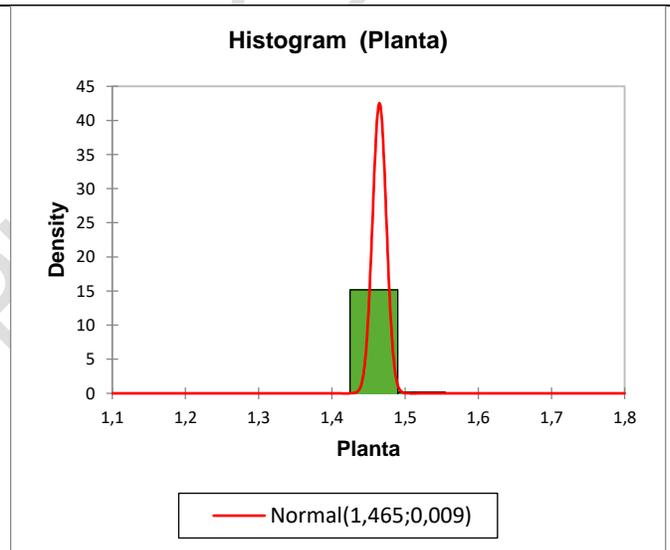
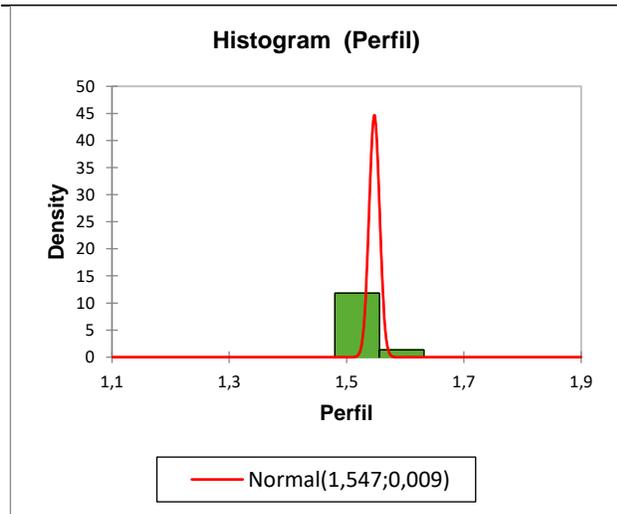
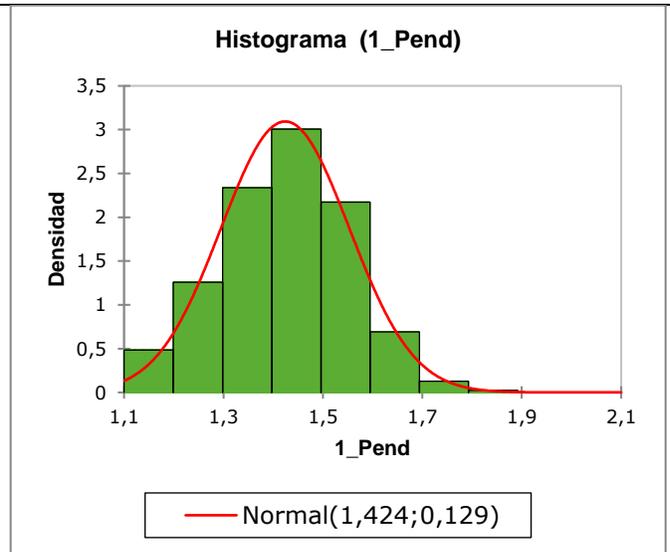
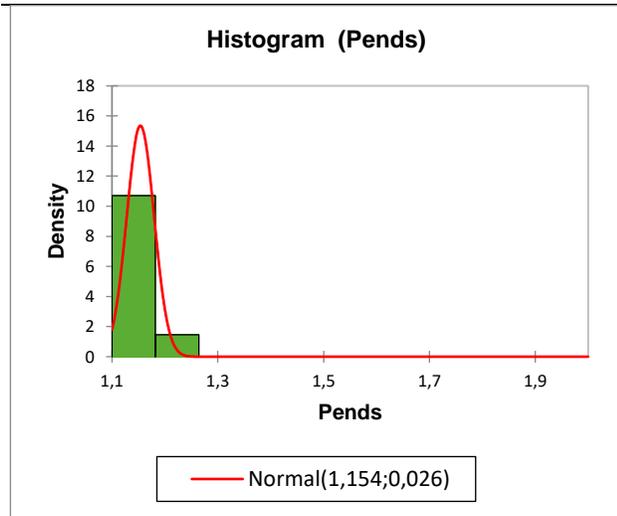
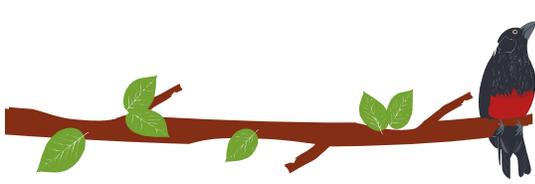


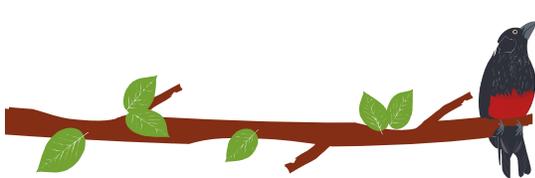
Figura 37. Histogramas de distribución de las variables de entrada de la función discriminante  
Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Prueba de Kolmogorov-Smirnov de la muestra

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

Fuente: Elaboración propia

Si bien es cierto que las variables no siguen estrictamente una distribución normal, lo cual se evidencia en los histogramas presentados y se prueba numéricamente mediante la prueba K-S y según Nuria (2001) en el que todas las variables tienen valores bajos de los estadísticos de la prueba (todos <1) y bastante baja significancia asintótica (muy cercanos a cero), éstas al transformarlas en busca de una mejor distribución, pierden información relevante para el modelo y continúan sin sostener un ajuste en distribución normal, lo que redundaría en una efectividad menor de la función discriminante. Por lo



tanto, se opta por realizar el análisis discriminante de variables con su distribución original para finalmente normalizar los resultados y representar la susceptibilidad ajustando los rangos de clasificación, buscando una distribución adecuada de los mismos.

Otra prueba realizada fue la de dependencia entre variables, con lo que se realizó un análisis factorial para determinar la siguiente matriz de correlación (ver Tabla 13).

Tabla 13. Análisis factorial y matriz de correlación

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

Fuente: Elaboración propia

De la matriz de correlación se debe entender que valores mayores corresponden con variables muy similares entre sí, es decir, están correlacionadas, por lo cual es pertinente seleccionar solo una de las que presenten esta condición. Las mayores correlaciones se observan entre la pendiente de la ladera (PEND), las variables insolación y pendiente senoidal y entre la curvatura del terreno y la curvatura del terreno con respecto al plano horizontal y las variables de acumulación de la cuenca y longitud de cuenca acumulada todas estas con valores de correlación muy cercanos a uno (1).

El descarte de variables correlacionadas se debe ejecutar teniendo en cuenta criterios geotécnicos apoyados en pruebas estadísticas que aporten medición de dependencia

de variables, discriminancia o importancia de cada una en función de la muestra de análisis seleccionada. Aplicando los criterios mencionados se realiza descarte de factores apoyándose en las pruebas estadísticas de análisis factorial, pruebas T y ANOVA como se observa en la Tabla 14 y la Tabla 15. Por ejemplo, al comparar las curvaturas CURVAR y PLA se ve que la variable con mayor importancia es CURVAR (valor F-ANOVA=1.73), por lo cual se prefiere aportar los análisis con esta variable.

Tabla 14. Prueba T (estadísticas de grupo)

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

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Prueba ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
GMF	Entre grupos	,466	1	,466	31,615	,000
	Dentro de grupos	14,053	954	,015		
	Total	14,519	955			
UGS	Entre grupos	,707	1	,707	13,526	,000
	Dentro de grupos	49,873	954	,052		
	Total	50,580	955			
INSOL	Entre grupos	,305	1	,305	143,254	,000
	Dentro de grupos	2,030	954	,002		

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

Fuente: Elaboración propia

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

- Función discriminante 1

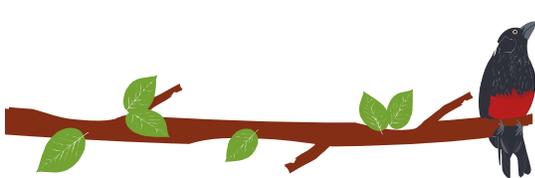
Descarte de factores por criterio y sin distribución estadística (Histogramas y prueba K-S):

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

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

Discriminante prueba T: UGS, INSOL, PLA y LONG

Discriminante prueba ANOVA: GMF, PENDS, CURVAR y ACUENCA



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

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

- Función discriminante 2

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

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

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

Discriminante prueba T: UGS, INSOL, PLA y LONG

Discriminante prueba ANOVA: GMF, PENDS, CURVAR y ACUENCA

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

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

- Función discriminante 3

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

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

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

Discriminante prueba T: UGS, INSOL, PLA y LONG

Discriminante prueba ANOVA: GMF, PENDS, CURVAR y ACUENCA

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

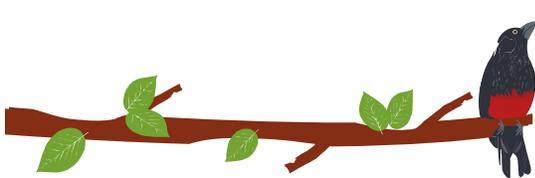
Resultados de clasificación: 76,3% de casos agrupados correctamente.

- Función discriminante 4

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

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

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



Discriminante prueba T: UGS, INSOL, PLA y LONG

Discriminante prueba ANOVA: GMF, PENDS, CURVAR y ACUENCA

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

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

- Función discriminante 5

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

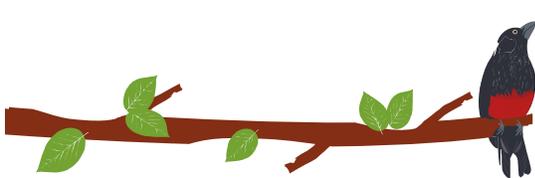
Se conservan todas las variables a pesar que no describen distribución normal y no se modifican pues tras la primera y segunda transformada siguen sin tener la distribución buscada debido a que tienen muy poca significancia asintótica.

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

Discriminante prueba T: UGS, INSOL, PLA y LONG

Discriminante prueba ANOVA: GMF, PENDS, CURVAR y ACUENCA

COBERT	-0,546
CURVAR	-0,953
DISTCANT	1,432
DISTDREN	0,197
DISTFALLIN	0,725
DISVIAS	1,190



GEO	-2,949
LONG	-1,620
ORIENT	0,549
PERFIL	-3,679
GMF	1,697
PEND	6,892

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

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

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

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

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

Teniendo en cuenta las recomendaciones del protocolo para la incorporación de riesgo para POMCAS, las consideraciones de Cardona (2013) y la distribución estadística de los resultados, se definen los sectores con baja, media y alta susceptibilidad a movimientos en masa representados en la la Figura 38.

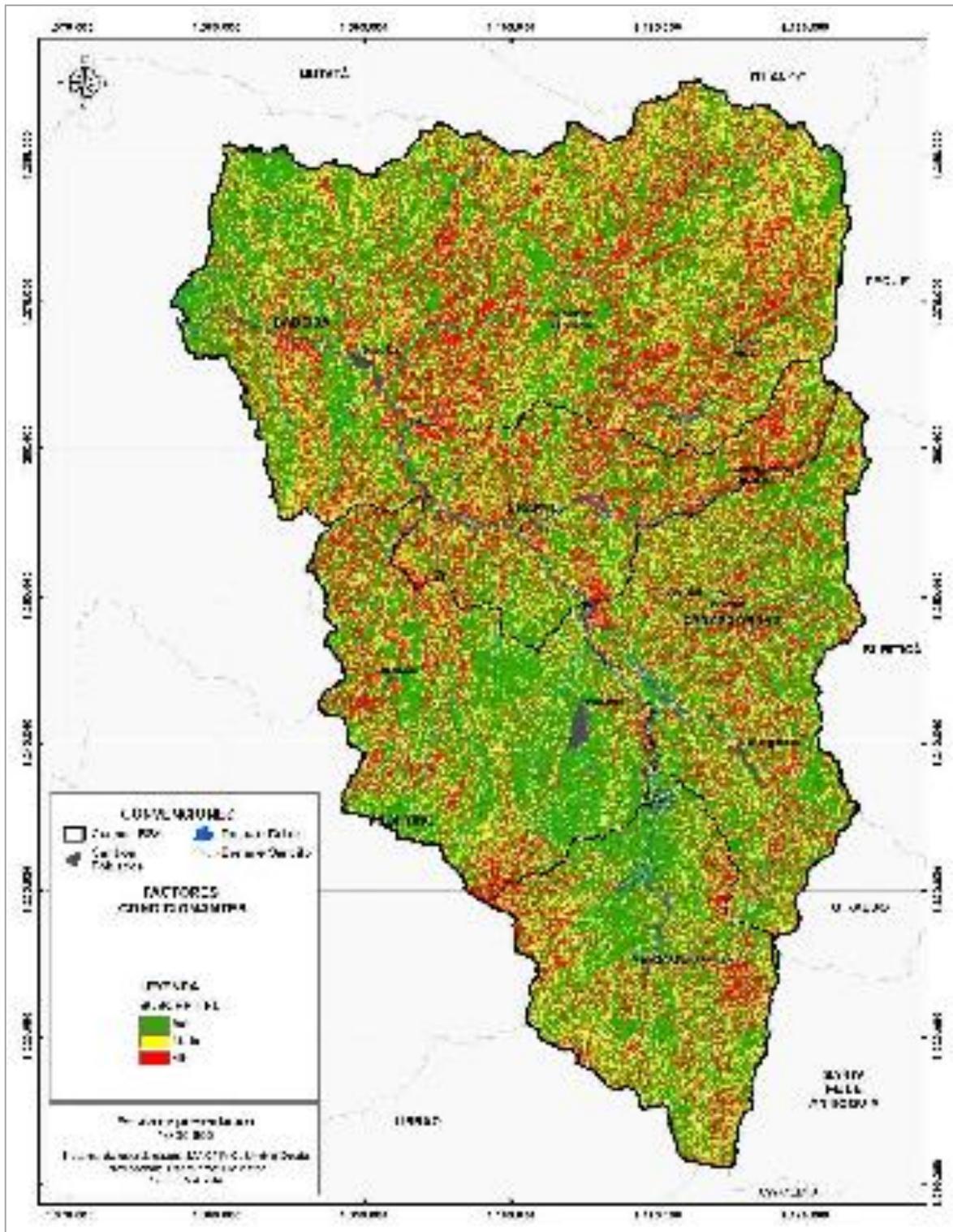
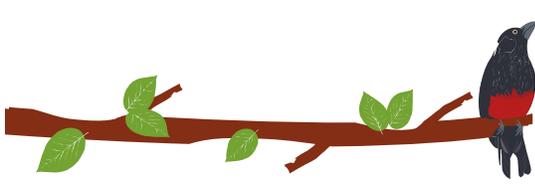


Figura 38. Susceptibilidad a movimientos en masa de la cuenca Río Sucio Alto  
Fuente: Elaboración propia

La susceptibilidad a movimientos en masa está condicionada principalmente por la existencia de procesos activos, la morfología del relieve y el material superficial (suelo, roca o intermedios) sobre el que reposa la ladera. Por esta razón se observan valores altos de susceptibilidad en sectores de la parte alta de la cuenca hidrográfica donde predominan las pendientes altas y materiales superficiales poco consistentes.

En términos de proporciones, la cuenca del río Sucio Alto es altamente susceptible a movimientos en masa. Los lugares en que se presenta susceptibilidad corresponden con zonas de ladera en la que ocurren deslizamientos y flujos y en los márgenes de los ríos en los que la socavación lateral puede generar desprendimiento y arrastre de material y en zonas poco provistas de vegetación. Esta condición de susceptibilidad alta ocurre en un 35,74% (77.731 ha) del total de la cuenca, la calificación media en un 41,52% (90.286 ha), y una categoría baja con un 22,74% (49.458 ha) del total.

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

#### **7.5.1.4 Evaluación de la amenaza por movimientos en masa**

A partir del mapa de susceptibilidad al fenómeno por movimientos en masa, se seleccionaron las zonas críticas (alta y media) para la zonificación definitiva de la amenaza por MM haciendo uso del método de factor de seguridad (talud infinito) (Fondo Adaptación, 2014), a las cuales se les efectuaron los estudios de geología para ingeniería descritos en la Parte 5.1 del protocolo.

De acuerdo con lo descrito en los alcances técnicos en el Numeral 1.3.7.2.1 aparte 2, en el tema de la evaluación de la amenaza a MM se establece: "Tomando en consideración las zonas establecidas como de susceptibilidad alta y media y los levantamientos de geología para ingeniería a escala 1:25.000 en áreas críticas, se establecerá la evaluación de la amenaza por MM en la cuenca, siendo como mínimo requerido el uso de métodos determinísticos para dicho análisis con base en el Factor de seguridad".

La Figura 39 muestran el mapa conceptual que se utilizó para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa (MM), a continuación, se hace una descripción de la aplicación del método definido en los alcances técnicos.

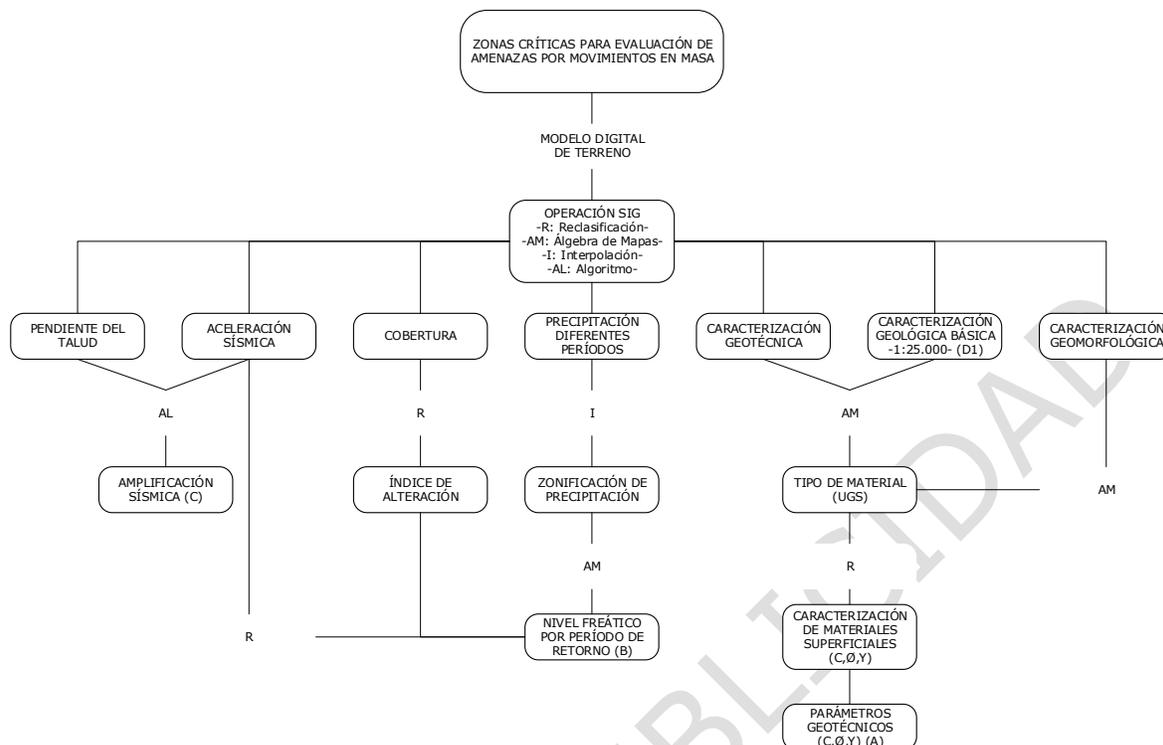


Figura 39. Mapa conceptual para la evaluación de la amenaza por MM en POMCA (parte 1).  
Fuente: Recuperado de Fondo Adaptación (2014).

#### 7.5.1.4.1 Modelo geológico-geotécnico

El estudio del comportamiento de los suelos y rocas en términos de su resistencia mecánica, deformación y permeabilidad a los fluidos, en condiciones naturales o por modificación antrópica, conduce a conocer estas características, que a la vez se expresan por medio de parámetros, los cuales se obtiene a partir de ensayos *in situ* y de laboratorios.

La zonificación geotécnica, es la subdivisión de un territorio en área que poseen la misma distribución de materiales, cuyas propiedades geomecánicas son similares, por lo tanto, tendrán un comportamiento mecánico semejante ante un mismo tipo de suceso, como por ejemplo un movimiento en masa o un sismo. El comportamiento de los materiales frente a los agentes naturales y antrópicos es un parámetro esencial en el análisis de la estabilidad de taludes.

En la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas (Fondo Adaptación, 2014), en particular en la evaluación de la amenaza por movimientos en masa se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

1. El espesor (h) promedio del suelo y/o depósito (metros) de cada UGS para los casos de suelos, depósitos y materiales intermedios.
2. Las características geológico-geotécnicas de los materiales potencialmente inestables, unidades geológicas superficiales (UGS).
3. Parámetros de cohesión (C),
4. Peso unitario del suelo (Y),
5. Ángulo de fricción ( $\phi$ ).

6. Capacidad de carga y descarga de las rocas (Porosidad y Permeabilidad).

En la Tabla 16, se presentan los parámetros geotécnicos obtenidos para la cuenca Río Sucio Alto.

Tabla 16. Parámetros geotécnicos obtenidos para las UGS de la cuenca Río Sucio Alto.

NOM_UNIDAD	UGS	$\Phi(^{\circ})$	C (kPa)	P_U (N/m <sup>3</sup> )	COEFICIENTE (m/día)	ESPESOR (m)
Suelo residual ígneo extrusivo limoso de alta y baja comprensibilidad, de las Diabasas y basaltos de San José de Urama.	Srie1	25.00	7.00	2.50	0.4500	12
Suelo residual ígneo extrusivo limoso de baja comprensibilidad de la Formación Barroso.	Srie2	26.00	11.00	2.52	0.2000	15
Suelo residual ígneo extrusivo limoso de baja comprensibilidad de los Basaltos de La Clara - Río Calle.	Srie3	33.00	17.00	2.62	0.2000	23
Suelo residual ígneo extrusivo arenarcilloso del Basalto de El Botón.	Srie4	50.77	42.06	2.55	0.5000	15
Suelo residual ígneo extrusivo arenarcilloso del Complejo Santa Cecilia la Equis.	Srie5	50.77	42.06	2.62	0.0010	11
Suelo residual ígneo intrusivo limoso de baja comprensibilidad de la Diorita de Morrogacho.	Srii1	33.00	17.00	2.68	0.2000	12
Suelo residual ígneo intrusivo arenoso no plástico de la Monzonita del Cerro Frontino.	Srii2	0.00	0.00	0.00	0.0000	13
Suelo residual ígneo intrusivo arenoso no plástico de la Monzonita de Nudillales.	Srii3	32.00	40.90	2.84	7.0000	12
Suelo residual sedimentario limoso de alta y baja comprensibilidad de los Chert y calizas de Nutibara.	Srs1	39.95	11.10	2.69	0.2000	30
Suelo residual arenolimoso arcilloso de alta y baja comprensibilidad de las Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao.	Srs2	33.20	17.02	2.60	0.5000	30
Suelo residual gravoarenoso limoso y arcilloso de la Formación Guineales.	Srs3	30.00	10.00	2.80	10.0000	18
Suelo residual sedimentario arenoso y arcilloso de las Sedimentitas de Beibaviejo.	Srs4	35.00	20.00	2.80	0.0010	18

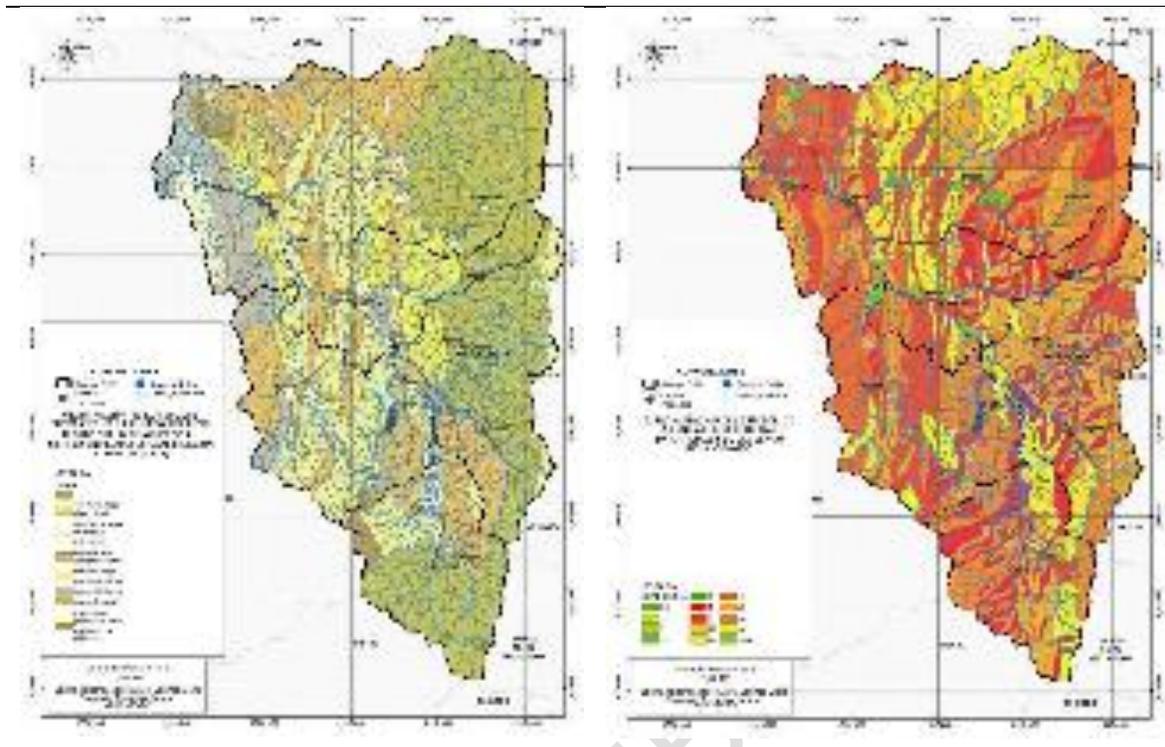


Figura 40. Clasificación de suelos de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS) y espesor de las Unidades Geológicas Superficiales presentes en la cuenca Río Sucio Alto.

Las UGS, se agruparon teniendo en cuenta la clasificación de suelos de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS): Fino de alta plasticidad (H), Fino de baja Plasticidad (L) y Arena (S) (Figura 40).

El espesor de la formación superficial es el equivalente al espesor del depósito de suelo (depósitos superficiales y regolitos de alteración) (Figura 40).

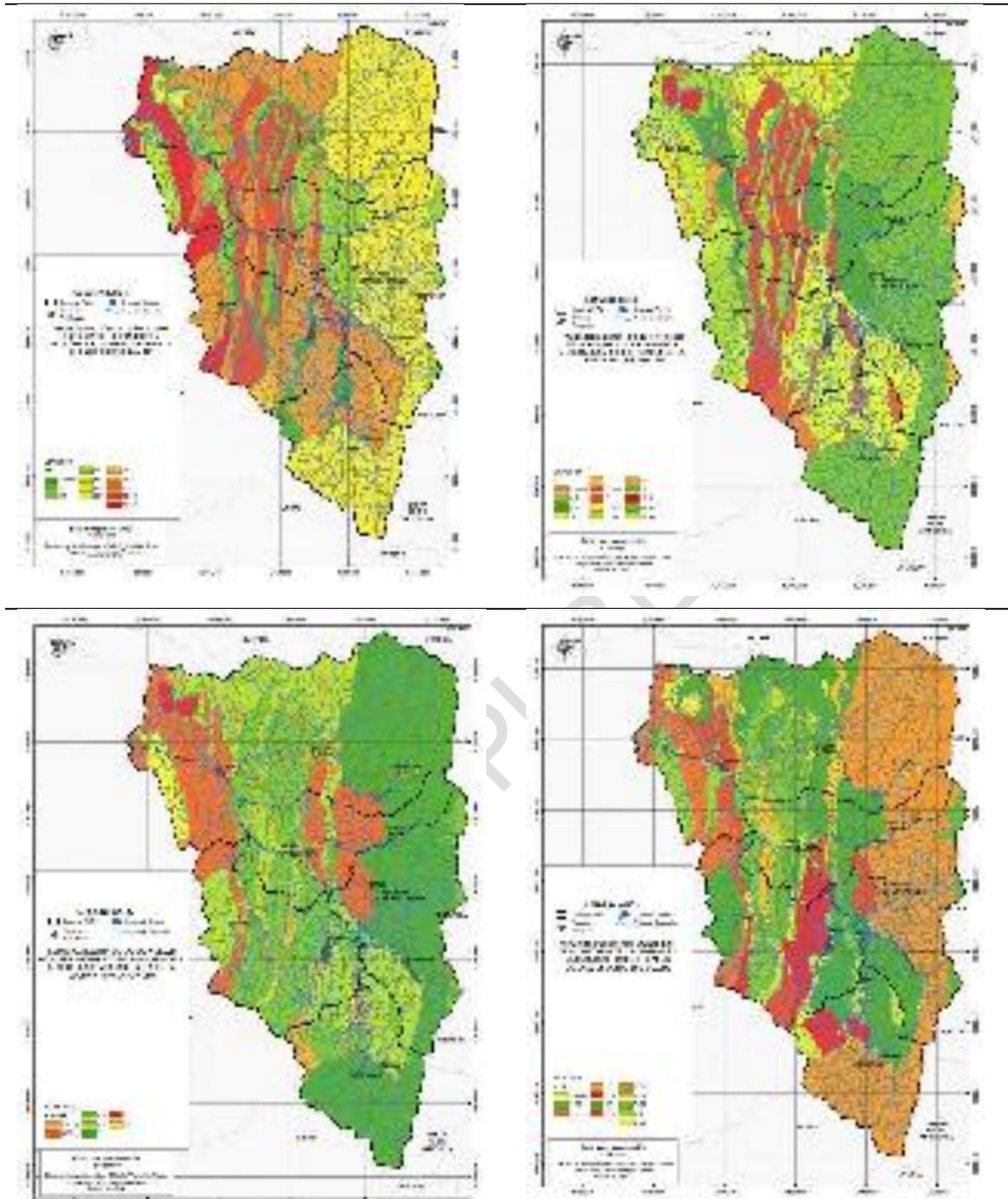
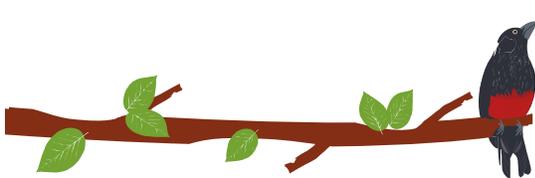


Figura 41. Cohesión, ángulo de fricción, peso unitario y capacidad de almacenamiento para los suelos de la cuenca Río SUCIO ALTO.

Las características de resistencia de la UGS, esta expresada en términos de cohesión y ángulo de fricción, peso unitario tanto para rocas como para suelos, esto dato se obtuvo a partir de los resultados de la caracterización de las UGS (Figura 41).

Los suelos clasificados son de baja y alta compresibilidad. La consistencia relativa de los suelos presenta variación importante desde consistencia muy blanda (correspondiente al 70% de las muestras ensayadas) a consistencia rígida. Los suelos residuales de menor consistencia son provenientes de las unidades geológicas, Cherts y calizas de Nutibara, Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao, depósitos aluviales, arcillolitas, conglomerados y areniscas de la Formación Guineales, en su respectivo orden.

Los suelos son susceptibles a presentar procesos de remoción de masas especialmente en temporadas de lluvias, debido a que la humedad natural es menor que la humedad de equilibrio, por lo tanto, el suelo se expandirá para buscar la cantidad de agua y alcanzar la humedad de equilibrio.

La expansividad de los suelos es desde Baja a muy Alta, correspondiendo los mayores valores a las unidades: Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao, Chert y calizas de Nutibara, y Diabasas y basaltos de San José de Urama, respectivamente. La expansividad alta a muy alta se presenta en el centro de la cuenca, parte menos abrupta.

Las litoarenitas de la Formación Urrao presenta los mayores valores de resistencia de la roca a carga puntual.

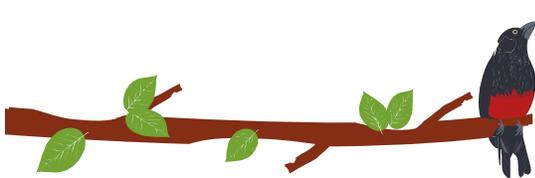
#### 7.5.1.4.2 Factor de seguridad

Con base en lo expuesto por (Alzate, Guevara, & Valero, 2012) y modificado en el protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas (Fondo Adaptación, 2014), la evaluación de la amenaza por movimientos en masa se desarrolla a través de los siguientes pasos:

1. Determinación de los parámetros geológico – geotécnicos de las áreas en estudio (A).
2. Determinación de los elementos detonantes a aplicar para diferentes escenarios: niveles freáticos (B) y amplificación sísmica (C).
3. Cálculo del Factor de Seguridad (FS) para las áreas en evaluación (D).
4. Generación del mapa de amenaza en función de probabilidades, teniendo en cuenta la afectación del material debido a la ocurrencia de sismos y al cambio del volumen de infiltración de aguas en los taludes (agentes detonantes) (E).
5. Validación y calibración de la amenaza con las áreas dinámicas por procesos naturales y antrópicos existentes (F).
6. Determinación de incertidumbres en la producción del mapa de amenaza.

La cuantificación del Factor de Seguridad tiene en cuenta las fuerzas resistentes al corte y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla. Entre menor sea el factor de seguridad mayor será el potencial de inestabilidad del talud analizado (Alzate, Guevara, & Valero, 2012). Un análisis de estabilidad implica básicamente hacer un estimativo del modelo de falla y de la resistencia al corte; el modelo de falla requiere la predicción de las cargas que serán resistidas y el efecto del agua. El estimativo del agua requiere consideración de las fuerzas de filtración y pesos unitarios saturados y efectivos (Fondo Adaptación, 2014).

De acuerdo con lo planteado por (Alzate, Guevara, & Valero, 2012) y (Torres Suarez, 2014), la tabla de agua en condiciones normales para el área, se calcula de acuerdo a la correlación semi empírica de los diferentes factores que influyen en el proceso de



infiltración de las aguas lluvias con base en la ecuación empírica que se plantea a continuación (Ecuación 2).

Ecuación 2. Cálculo aguas de infiltración de las aguas lluvias

$$\text{Nivel del agua (cm) para cada celda} = \frac{1}{(3R + P + 2A) + V} \times 100$$

Donde:

El nivel del agua máxima (cm) corresponde al valor de Zw que entra en la fórmula de cálculo del factor de seguridad.

R = Capacidad de carga y descarga de las rocas (Porosidad y Permeabilidad). Este valor se obtiene a partir de los atributos del mapa de UGS cuantitativo (unidades geológicas superficiales).

P = Valor de la Precipitación; este valor es variable y es el que permite junto con la aceleración sísmica generar los diferentes escenarios de evaluación de amenaza.

A = Pendiente del terreno.

V = Uso del suelo o cobertura vegetal.

La anterior ecuación se programó en el SIG ARCGIS 10, utilizando el tamaño de pixel correspondiente a la escala de trabajo para cada escenario planteado Figura 45.

7.5.1.4.3 Variables utilizadas para determinar los detonantes de la amenaza por Movimientos en Masa.

**VALORES DE PRECIPITACION POR PERÍODO DE RETORNO.** Es uno de los factores detonantes utilizados para la generación de la amenaza por factores climáticos, reúne datos de precipitación máxima diaria para un periodo de retorno de 100 años. En el área de estudio la precipitación media anual presenta valores entre 1519.64 a 3047.35 mm Figura 69.

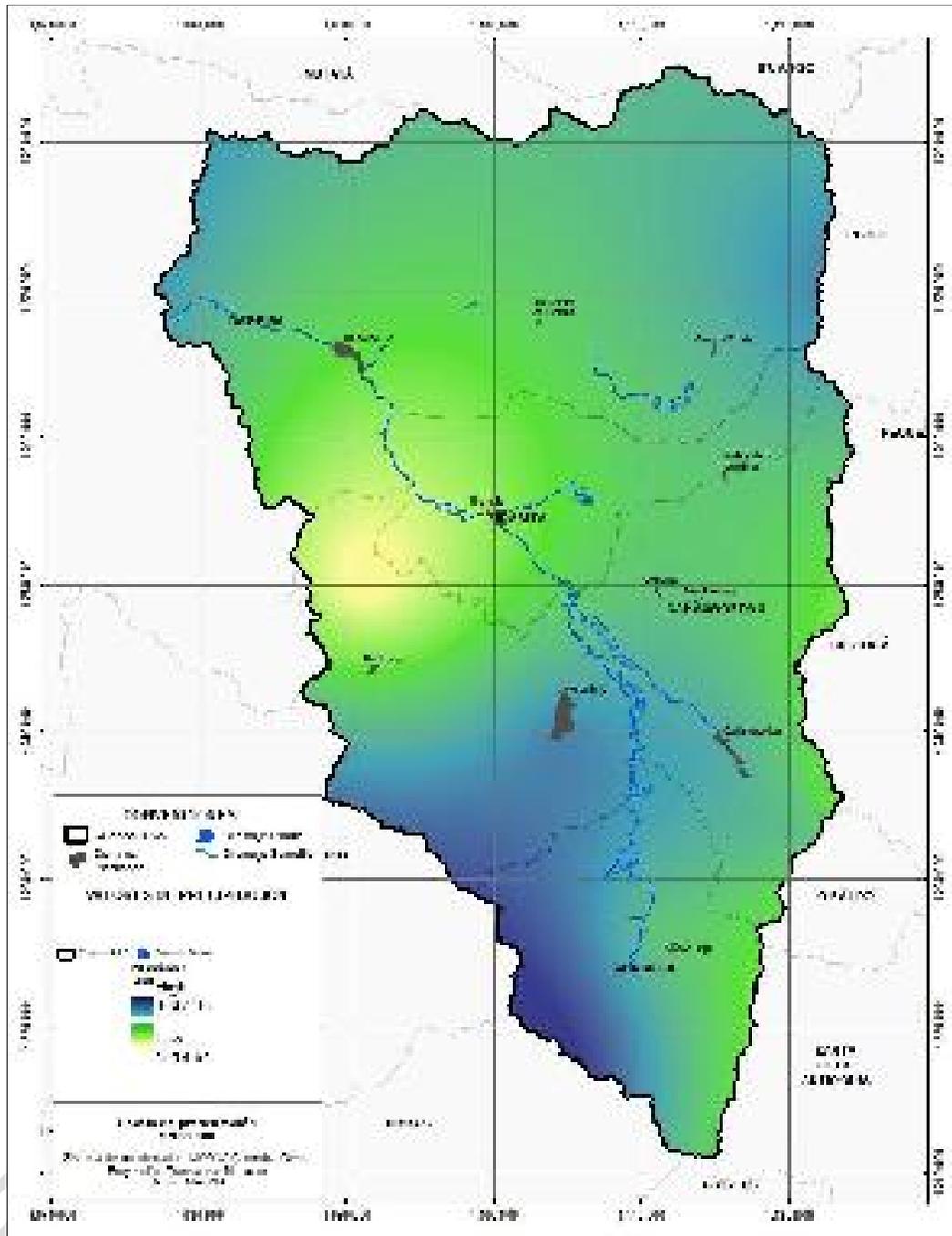
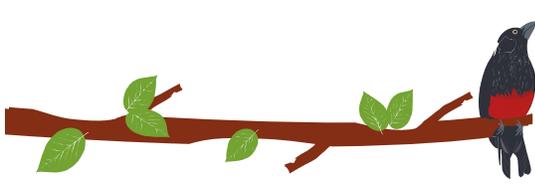
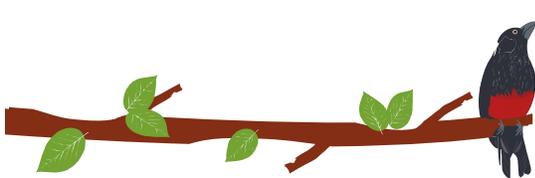


Figura 42. Precipitación media anual para la Cuenca Río Sucio Alto.

El comportamiento estacional de la variable precipitación total a nivel multianual para la cuenca están en el rango de los 77 a 282 mm/mes, se observa dos picos altos en los meses de mayo y octubre con valores aproximadamente de 282 y 272 mm al mes.

La construcción de curvas IDF, de gran importancia para la gestión del riesgo en cuencas no instrumentadas, requiere de información de pluviógrafos para la zona de estudio dado



que las condiciones de precipitación en las altas escalas temporales pueden obedecer a condiciones muy específicas del sitio (orografía, fenómenos locales, etc.). De esta forma, se procedió a la construcción de las curvas IDF a partir de información del IDEAM, de su sistema de información del recurso hídrico SIRH (Instituto de Hidrología y Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2014) y de la red de monitoreo automática con información de precipitación de alta resolución temporal (10 minutos) para una ventana espacial que abarca un radio de 60 km alrededor de la UAH Río Sucio Alto (enfoque regional).

En general, la construcción de curvas IDF consiste en la construcción de grupos estadísticos que representan eventos de precipitación de igual duración (10, 20, 30, 180 minutos) a los cuales se les ajusta una función de distribución de probabilidad empírica para caracterizar los conjuntos. Posteriormente, se extraen los parámetros de la función de distribución para caracterizar la intensidad del evento de una duración determinada para un periodo de retorno específico.

Los resultados de las curvas IDF se presentan a continuación, para la reconstrucción de las intensidades bajo distintos periodos de retorno y duraciones se debe hacer uso de los coeficientes y la ecuación en la Figura 43.

De acuerdo con la distribución espacial de las estaciones y la cuenca en análisis, se definió involucrar solo la información de la estación Hacienda Cotove dada su cercanía a la unidad de análisis y, por lo tanto, puede reflejar las condiciones de la cuenca Río Sucio Alto.

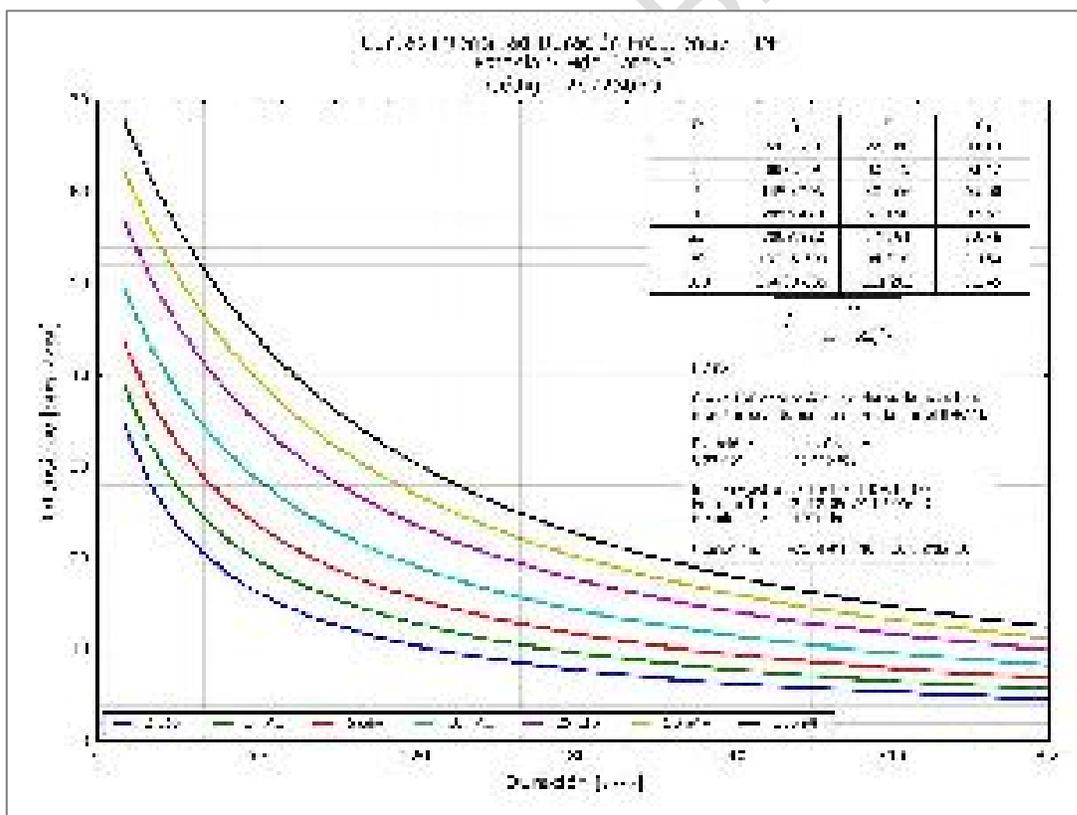


Figura 43. Curva I-D-F estación Hacienda Cotove

La lectura de la curva IDF es la siguiente: se determina la duración de la lluvia que podría ser de 60 minutos, se selecciona de acuerdo con el requerimiento o diseño que se planté realizar el periodo de retorno en años (p.e. 2 años) y se lee en las ordenadas el valor de

la intensidad en (mm/h), que para el ejemplo es de 50 mm/hr, como lluvia detonante (Figura 45).

Tabla 17. Valores de precipitación utilizados en los escenarios de análisis en la evaluación de amenaza por MM para la Cuenca Río Sucio Alto.

ESCENARIO	PRECIPITACIÓN
1	SECA
2	SECA
3	16.45
4	16.45
5	35.04
6	35.04
7	39.78
8	39.78
9	44.2
10	44.2

Fuente: Curvas IDF para la estación Hacienda Cotove.

En términos generales, la cuenca Río Sucio Alto se considera moderadamente bien drenada siendo consistente con los demás índices morfométricos estimados, una densidad de drenaje alta esta asociada con materiales impermeables a nivel superficial, vegetación dispersa y relieves montañosos (Strahler, 1952). Además de ello, indica que la unidad hidrográfica posee suficiente drenaje para cuando se presentan las tormentas.

La variable V = Uso del suelo o cobertura vegetal, es la variable de vegetación utilizada en el análisis de susceptibilidad, en la cual se tuvo en cuenta la relación de la cobertura con: infiltración y profundidad de protección como mínimo, de acuerdo al tipo de cobertura existente en el área la cuenca.

La variable densidad de vegetación/uso del suelo, se ha ponderado con valores arbitrarios que reflejan el grado de permeabilidad del terreno y la acción fijadora de discontinuidades y fracturas del macizo rocoso en la categoría sin vegetación (sustrato), para la Cuenca Río Sucio Alto. Los valores otorgados reflejan un orden relativo de permeabilidad según el tipo de terreno y cobertera vegetal.

Uso del suelo (densidad de vegetación) tiene una doble influencia en la estabilidad de los depósitos de su perfiacial: hidrológica (capacidad de infiltration en el suelo, la humedad del suelo, nivel freático, etc.) y mecánicos (fuerza de la raíz) (GREENWAY, 1987).

La variable A = Pendiente del terreno, es la misma variable utilizada en el análisis de susceptibilidad.

La capacidad de carga y descarga de las rocas (R) (Porosidad y Permeabilidad) se obtiene a partir de los atributos del mapa de UGS cuantitativo (unidades geológicas superficiales) teniendo en cuenta lo consignadao en el protocolo.

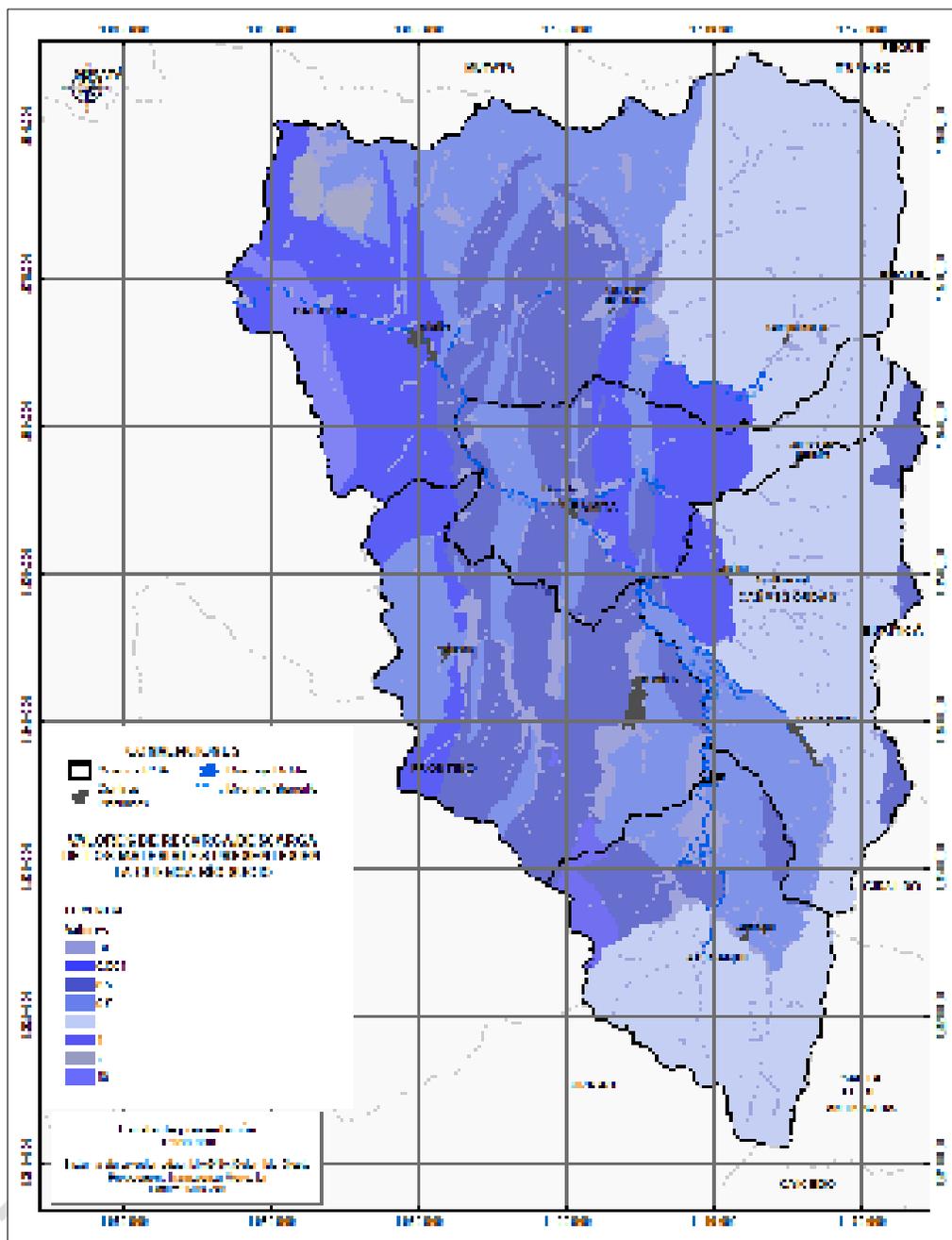
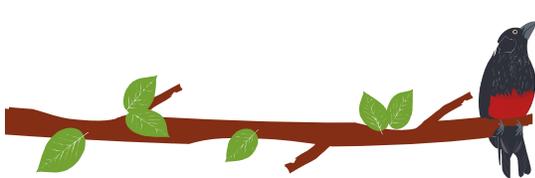


Figura 44. Capacidad de recarga/descarga de los materiales presentes en la Cuenca Río Sucio Alto.

Conociendo los parámetros requeridos para el cálculo del nivel freático establecido en la Ecuación 2. Cálculo aguas de infiltración de las aguas lluvias en el SIG ARCGIS 10, utilizando el tamaño de pixel correspondiente a la escala de trabajo con el fin de calcular el nivel freático para cada escenario planteado Figura 45.

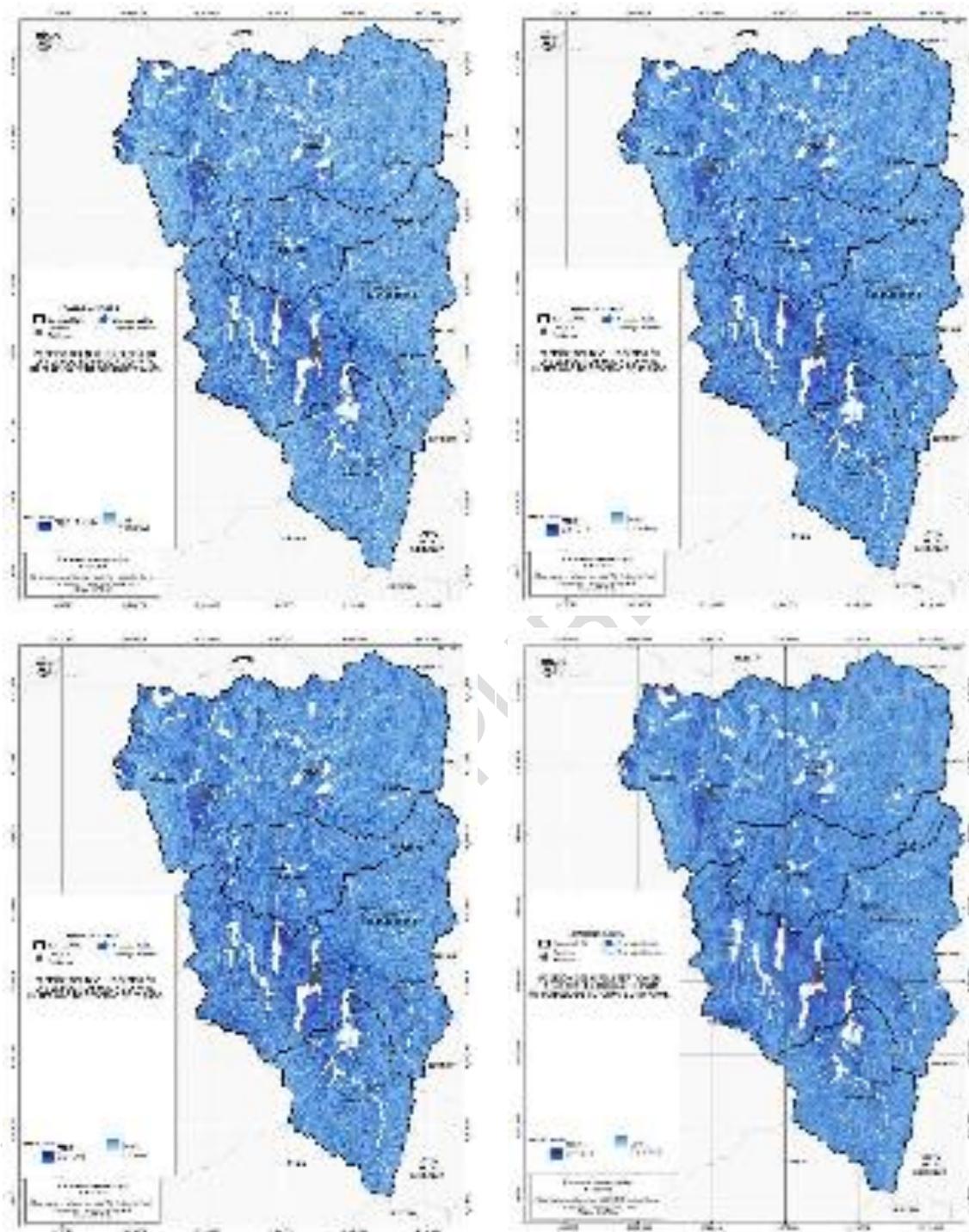
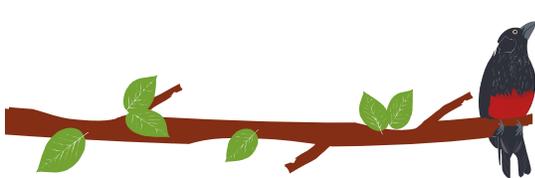
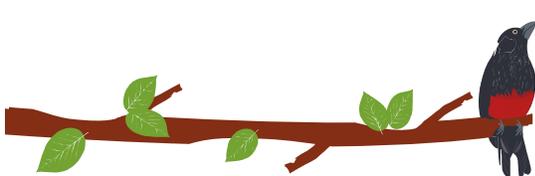


Figura 45. Posición del nivel freático ( $Z_w$ ) para diferentes períodos de retorno.

**REGISTRO DE EVENTOS POR MOVIMIENTOS EN MASA CUENCA RÍO SUCIO ALTO.** Teniendo en cuenta los registros de eventos por movimientos en masa (Tabla 18), en el cual se observa que en su mayoría, los deslizamientos tienen por causa la



lluvia, se definió como uno de los factores detonantes utilizados para la generación de la amenaza por factores climáticos. Las fechas registradas de los eventos activos de movimientos en masa para la Cuenca Río Sucio Alto, se observa que estas fechas coinciden con las condiciones hidrometeorológicas de la región, particularmente con época de lluvias (2006, 2010, 2015), por consiguiente, se considera que la lluvia es un agente activador de estos eventos.

Tabla 18. Registro de eventos por movimientos en masa en la cuenca Río Sucio Alto fuente: desinventar 2018, SIMMA, levantamiento en campo.

Municipio	Sitio	Fecha	DETONANTE
Abriaquí	Pie	22/04/2014	S/I
Abriaquí	Pie	20/03/2014	S/I
Uramita	Medio	01/01/2012	S/I
Cañasgordas	Pie	01/01/2011	S/I
Uramita	Pie	01/01/2011	S/I
Uramita	S/I	5/12/1943	Lluvias
Cañasgordas	S/I	18/02/1948	Lluvias
Cañasgordas	S/I	24/10/1955	Otra causa
Abriaquí	S/I	4/06/1956	Lluvias
Abriaquí	S/I	15/07/1956	Otra causa
Cañasgordas	S/I	25/10/1970	Otra causa
Cañasgordas	S/I	4/09/1971	Lluvias
Cañasgordas	Vía al mar.	24/09/1983	Lluvias
Uramita	Vía Amalfi-El mango. Km 10.	26/09/1984	Lluvias
Abriaquí	Vía El Mango-Anorí. (El Roble).	7/11/1984	Lluvias
Cañasgordas	Vía Rubicon-San Pascual Km6.	7/11/1984	Lluvias
Uramita	CARRETERA CAÑASGORDAS-MANGLAR.	23/10/1987	Otra causa
Uramita	S/I	13/09/1988	Lluvias
Cañasgordas	S/I	3/07/1996	Otra causa
Abriaquí	S/I	21/06/2001	Lluvias
Cañasgordas	S/I	11/11/2005	Lluvias
Abriaquí	S/I	15/12/2005	Inundación
Abriaquí	S/I	8/06/2007	Lluvias
Cañasgordas	S/I	22/05/2008	Lluvias
Uramita	S/I	12/03/2009	Vendaval
Cañasgordas	S/I	5/05/2009	Vendaval
Cañasgordas	S/I	14/05/2009	Vendaval
Abriaquí	S/I	10/06/2009	Vendaval
Uramita	S/I	1/07/2009	Vendaval
Cañasgordas	S/I	1/07/2009	Vendaval
Abriaquí	S/I	20/11/2011	Vendaval
Cañasgordas	S/I	6/12/2011	Vendaval

PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO  
FASE DE FORMULACIÓN

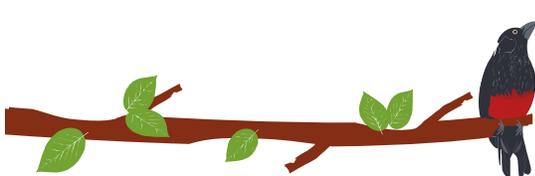
Uramita	S/I	23/12/2011	Lluvias
Abriaquí	S/I	31/12/2011	Lluvias
Abriaquí	S/I	22/08/2013	Desconocida
Abriaquí	S/I	8/11/2012	Lluvias
Abriaquí	S/I	16/10/2011	Socavacion margenes del rio
Abriaquí	S/I	17/08/2011	Socavacion margenes del rio
Abriaquí	S/I	4/08/2011	Lluvias
Abriaquí	S/I	21/06/2011	Socavacion margenes del rio
Abriaquí	S/I	2/06/2011	Lluvias
Abriaquí	S/I	8/10/2010	Lluvias
Abriaquí	S/I	1/10/2010	Socavacion margenes del rio
Abriaquí	S/I	21/09/2010	Lluvias
Abriaquí	S/I	10/03/2010	Socavacion margenes del rio
Abriaquí	S/I	5/03/2010	Socavacion margenes del rio
Abriaquí	S/I	17/12/2009	Socavacion margenes del rio
Uramita	S/I	10/03/2009	Lluvias
Uramita	S/I	25/09/2012	S/I
Uramita	S/I	31/05/2012	S/I
Uramita	S/I	10/04/2012	S/I
Uramita	S/I	2/07/2008	S/I
Uramita	S/I	10/06/2007	S/I
Uramita	Finca Anamú	10/06/2007	S/I
Uramita	S/I	6/09/2000	S/I
Uramita	S/I	3/06/1999	S/I
Uramita	S/I	3/07/1996	S/I
Uramita	VIA URAMITA-JUNTAS KM 16	1/09/1995	S/I
Uramita	S/I	19/11/1993	S/I
Uramita	EL REVENIDERO	10/10/1991	S/I
Uramita	S/I	23/04/1974	S/I
Uramita	EL REVENIDERO	25/10/1970	S/I
Uramita	S/I	25/10/1970	S/I
Uramita	S/I	15/07/1956	S/I
Uramita	Corona - Punta	24/01/1955	S/I
Abriaquí	S/I	27/08/2009	S/I
Abriaquí	S/I	11/05/1998	S/I
Cañasgordas	S/I	11/11/2005	S/I
Uramita	S/I	10/06/2007	S/I
Cañasgordas	S/I	1/11/2008	S/I
Abriaquí	S/I	10/06/2009	S/I
Cañasgordas	S/I	1/05/2013	S/I
Abriaquí	S/I	22/05/2013	S/I



PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO  
FASE DE FORMULACIÓN

Uramita	S/I	8/04/2015	S/I
Uramita	S/I	25/07/2016	S/I
Cañasgordas	S/I	13/09/2016	S/I
Cañasgordas	S/I	8/10/2012	S/I
Cañasgordas	S/I	20/08/2012	S/I
Cañasgordas	S/I	12/10/2011	S/I
Cañasgordas	S/I	12/10/2011	S/I
Cañasgordas	S/I	8/10/2011	S/I
Cañasgordas	S/I	10/10/2010	S/I
Cañasgordas	S/I	15/02/2010	S/I
Cañasgordas	S/I	1/11/2008	S/I
Cañasgordas	S/I	6/05/1999	S/I
Cañasgordas	S/I	9/03/1999	S/I
Cañasgordas	S/I	4/11/1994	S/I
Cañasgordas	S/I	3/11/1989	S/I
Cañasgordas	S/I	9/08/1988	S/I
Cañasgordas	S/I	27/11/1987	S/I
Cañasgordas	S/I	22/10/1986	S/I
Cañasgordas	S/I	13/10/1986	S/I
Cañasgordas	S/I	9/10/1986	S/I
Cañasgordas	S/I	10/07/1984	S/I
Cañasgordas	S/I	20/10/1983	S/I
Cañasgordas	S/I	3/04/1983	S/I
Frontino		20/12/1942	Lluvias
Frontino		11/06/1943	Lluvias
Frontino		25/10/1943	Lluvias
Dabeiba		25/08/1950	Lluvias
Dabeiba	Carrera al mar.	26/10/1956	Lluvias
Dabeiba	El Revenidero.	15/06/1957	Lluvias
Dabeiba		13/09/1958	Lluvias
Dabeiba	Rio sucio.	30/09/1964	Lluvias
Dabeiba	Carretera al mar.	9/11/1964	Lluvias
Dabeiba		20/10/1970	Lluvias
Dabeiba	Encalichada.	13/12/1971	Lluvias
Frontino	Vía Frontino-Nutibara.	18/06/1973	Lluvias
Dabeiba	El Revenidero.	23/04/1974	Lluvias
Dabeiba	Vía Dabeiba-Mutatá. km 4.	20/11/1974	Lluvias
Dabeiba	Zona Suburbana.	7/04/1975	Lluvias
Dabeiba	Vía Medellín - Turbo.	28/08/1975	Lluvias
Dabeiba	V. Uramagrande.	12/08/1978	Lluvias
Frontino		5/04/1979	Lluvias





PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO  
FASE DE FORMULACIÓN

Frontino		13/10/1980	Lluvias
Dabeiba		24/02/1982	Lluvias
Dabeiba	Vía al mar (Rubicon).	5/06/1984	Lluvias
Dabeiba	Vía Dabeiba - La Ilorona.	28/10/1984	Lluvias
Dabeiba	Vía Medellín-Turbo.	31/10/1984	Lluvias
Dabeiba	Vía Paso Ancho - El Boton. Km 20.	7/11/1984	Lluvias
Frontino	Vía Chorodo-Frontino.	13/09/1988	Lluvias
Frontino	Vía Nutibara-Murri	13/09/1988	Lluvias
Dabeiba	Carretera al mar.	19/10/1988	Lluvias
Frontino	Vía Frontino- Gomoroto.	12/10/1989	Lluvias
Dabeiba	Vía Medellín-Turbo. Kms 204 250.	13/01/1990	Lluvias
Frontino	Vía Nutibara - Nurri Km 17.	26/09/1990	Lluvias
Frontino	KM 4 VIA NUTIBARA-MURRÍ.	24/08/1995	Lluvias
Dabeiba		21/11/2005	Lluvias
Dabeiba	Barrio Antioquia y sectores aledaños al Hospital	1/11/2007	Lluvias
Frontino	VARIOS	3/03/2008	Inundación
Dabeiba	VEREDA CAMPARRUSIA	20/09/2008	Deslizamiento
Frontino	CORRE EL CERRO	25/04/2011	Vendaval
Frontino	HERRADURA Y NOBOGA	11/05/2011	Vendaval
Frontino	VEREDA MADRE LAURA	20/05/2011	Vendaval
Frontino	CASCO URBANO	6/09/2011	Vendaval
Dabeiba	VARIAS	5/11/2011	Vendaval
Frontino	EL MADERO	31/12/2011	Deslizamiento
Dabeiba		1/01/2012	Lluvias
Dabeiba	VEREDA EL PITAL	22/05/2013	Lluvias
Frontino	VEREDA LA HONDITA	23/12/2013	Lluvias
Frontino	VEREDA EL CERRAZON	26/03/2014	Lluvias
Dabeiba		8/05/2015	Desconocida
Dabeiba	Llano Gordo, resguardo Sever de la comuyndiad indigena Embera	12/10/2016	Lluvias
Dabeiba	CATATA	12/04/2012	S/I
Dabeiba	S/I	9/05/2008	S/I
Dabeiba	Bs. La Selva y Antioquia	9/05/2008	S/I
Dabeiba	Vía a Urabá, sitio Alto Bonito - Guneales Km95	1/12/2007	S/I
Dabeiba	Vía Dabeiba - Santafe de Antioquia	5/12/2006	S/I
Dabeiba	Vía Dabeiba - Santafe de Antioquia - PR81+00	2/05/2006	S/I
Dabeiba	Sector Norilladas, Vía Dabeiba - Santafe de Antioquia - PR 14-00	2/05/2006	S/I
Dabeiba	Vía Dabeiba - Santafe de Antioquia - Mutatá, sitio La Chorquina	11/03/2006	S/I



PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO  
FASE DE FORMULACIÓN

Dabeiba	Vía Mutatá - Dabeiba, cañón de la Llorona, sitio Choromandó	16/12/2005	S/I
Dabeiba	Vía a la Vda. La Estrella	21/11/2005	S/I
Dabeiba	Taparales	12/05/2001	S/I
Dabeiba	S/I	23/07/2000	S/I
Dabeiba	S/I	10/08/1999	S/I
Dabeiba	S/I	3/06/1999	S/I
Dabeiba	S/I	3/05/1999	S/I
Dabeiba	S/I	1/09/1998	S/I
Dabeiba	S/I	24/12/1993	S/I
Dabeiba	VIA AL MAR: DABEIBAURAMA KM 12	29/09/1993	S/I
Dabeiba	VIA PASO ANCHO-EL BOTON, KM 2	7/11/1984	S/I
Dabeiba	S/I	5/08/1950	S/I
Dabeiba	S/I	25/08/1950	S/I
Dabeiba	S/I	5/06/1957	S/I
Dabeiba	S/I	3/09/1964	S/I
Dabeiba	S/I	23/01/1969	S/I
Dabeiba	Vía Cañasgordas - Dabeiba. Sitio Rubicon	10/07/1984	S/I
Dabeiba	VIA DABEIBA-LA LLORONA	8/01/1984	S/I
Dabeiba	S/I	4/02/1982	S/I
Dabeiba	Peñas Blancas	0/12/1981	S/I
Dabeiba	Carretera a Turbo	15/02/1981	S/I
Dabeiba	S/I	9/02/1981	S/I
Dabeiba	S/I	8/11/1979	S/I
Dabeiba	URAMA GRANDE	12/08/1978	S/I
Dabeiba	S/I	2/09/1975	S/I
Dabeiba	ZONA SUBURBANA	7/04/1975	S/I
Dabeiba	EL REVENIDERO	3/04/1974	S/I
Dabeiba	ENCALICHADA	13/12/1971	S/I
Dabeiba	RIO AMPARRA	23/03/1971	S/I
Dabeiba	S/I	29/10/1970	S/I
Dabeiba	S/I	5/10/1970	
Dabeiba	Carretera Medellín Turbo. El Revenidero	25/10/1970	S/I
Dabeiba	S/I	20/10/1970	S/I
Dabeiba	S/I	1/09/1970	S/I
Frontino	Sector el Murri	09/05/2014	S/I
Frontino	S/I	23/04/2011	S/I
Frontino	Vía Medellín - Urabá, km 46	6/07/2008	S/I
Frontino	Vía Uramita - Cañasgordas, entrada al municipio de Frontino - La Juguera, Km 42	02/07/2008	S/I
Frontino	S/I	27/05/2008	S/I



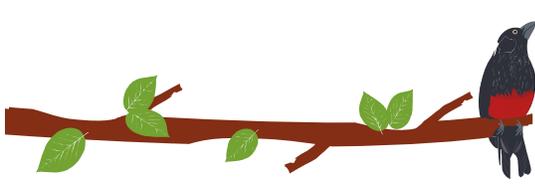
Frontino	S/I	6/05/1999	S/I
Frontino	VIA NUTIBARA-MURRI	24/08/1995	S/I
Frontino	VIA NUTIBARA-MURRI	8/07/1993	S/I
Frontino	VIA CAÑASGORDAS-INZOR	29/01/1993	S/I
Frontino	VIA FRONTINO-ABRIAQUI KM 2	27/01/1993	S/I
Frontino	VIA FRONTINO-ABRIAQUI KM 2	2/01/1993	S/I
Frontino	CORREG. NUTIBARA CL "LA RONDA"	7/06/1991	S/I
Frontino	S/I	7/06/1991	S/I
Frontino	Corregimiento Nutibara	4/06/1991	S/I
Frontino	S/I	6/05/1991	S/I
Frontino	VIA NUTIBARA-MURRI, KM 17	26/09/1990	S/I
Frontino	VIA FRONTINO-GOMOROTO	12/01/1989	S/I
Frontino	S/I	29/11/1988	S/I
Frontino	VIA NUTIBARA-MURRI	13/09/1988	S/I
Frontino	VIA CHORODO-FRONTINO	13/09/1988	S/I
Frontino	ZONA SUBURBANA	13/10/1980	S/I
Frontino	ZONA SUBURBANA	5/04/1979	S/I
Frontino	S/I	7/10/1974	S/I
Frontino	Carmen	12/06/1943	S/I
Frontino	EL CERRO	11/06/1943	S/I
Frontino	S/I	25/01/1943	S/I
Frontino	S/I	2/12/1942	S/I
Frontino	km 24 vía Musinga - La Blanquita.	23/04/2011	S/I
Frontino	km 4 vía Frontino - Abriaquí.	17/04/2011	S/I
Frontino	vía Nutibara - La Blanquita.	5/11/2010	S/I
Frontino	vereda Chuscal	27/10/2010	S/I

Fuente: Elaboración propia a partir del inventario de eventos por mm.

El Protocolo contempla que "deben correlacionarse las fechas de los deslizamientos con las de los eventos activadores, especialmente lluvia, con el fin de definir los periodos de retorno que se usarán en los diferentes escenarios de análisis" (Tabla 3-2 del Protocolo, pág. 71) (Tabla 19), aunque estos escenarios están contemplados, se verificó que efectivamente los eventos registrados coinciden con los periodos de retorno del detonante lluvia calculados en el capítulo de hidrología para la Cuenca Río Sucio Alto, como efectivamente ocurre.

Tabla 19. Escenarios de análisis de escenarios de evaluación de amenaza por MM

ESCENARIO	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: Tabla 3-2 del Protocolo, pág. 71

**AMENAZA SÍSMICA.** Es uno de los factores detonantes utilizados para la generación de la amenaza sísmica, calculado con base en valores de aceleración máxima horizontal a nivel de terreno firme asignados a una zona o región, de acuerdo a estudios técnicos, en Colombia este prámetro este definido en el Mapa de amenaza sísmica y aceleración (NSR 10). La tendencia de las áreas se encuentra agrupada predominantemente en sentido suroeste – noreste. En la cuenca se encuentran dos rangos de aceleración máxima, entre 0.2 y 0.25 (Figura 46), que las califica como zonas de amenaza alta a nivel nacional. Para evaluar el grado de afectación que produce un evento sísmico en la estabilidad de las laderas se introduce la incidencia de la aceleración horizontal, tomada como una fuerza horizontal, sobre un elemento infinito del talud.

ETAPA DE PUBLICACIÓN

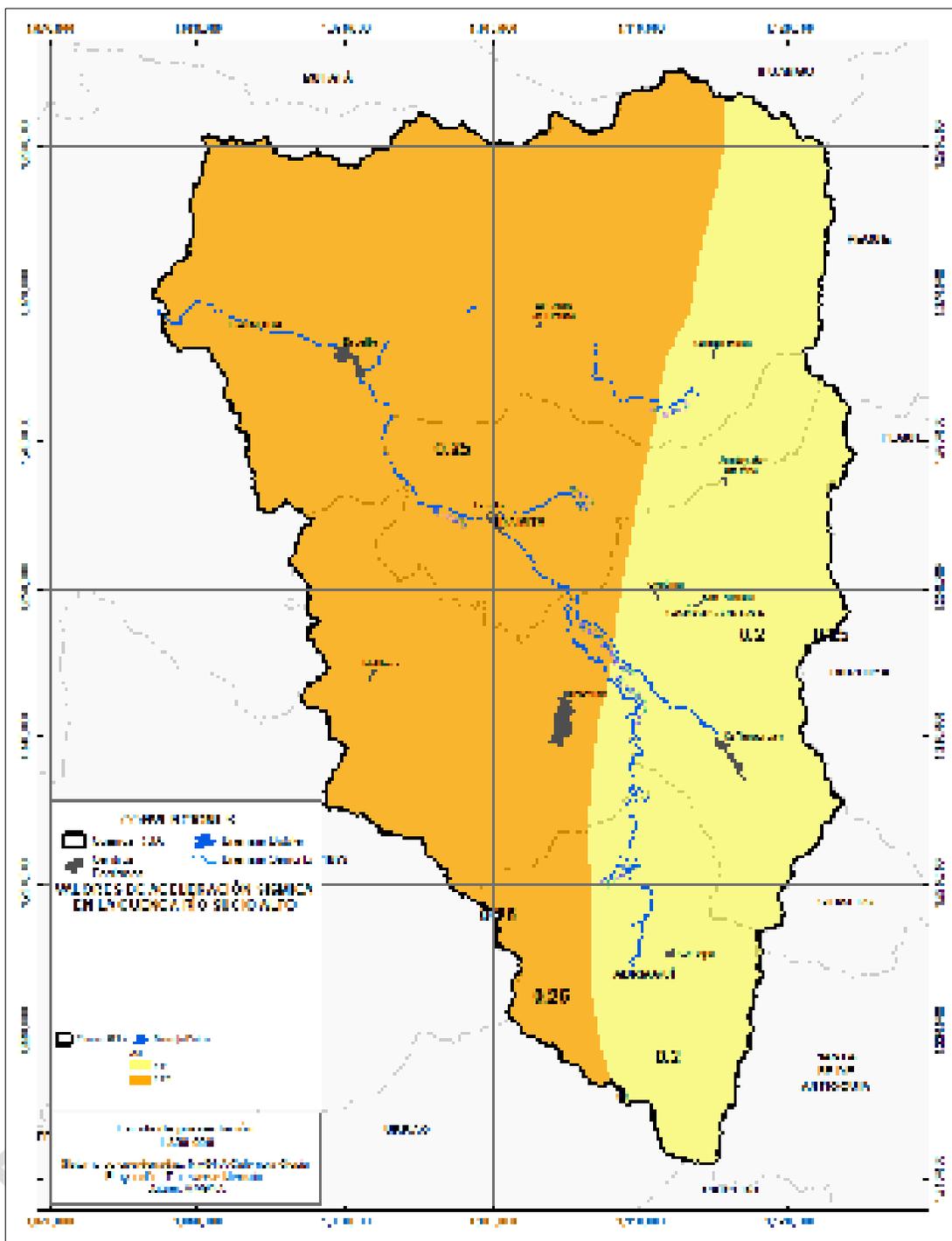
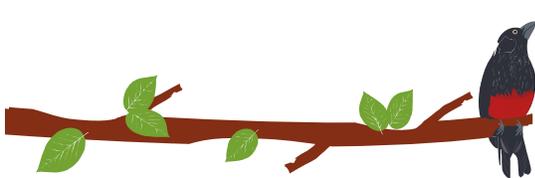
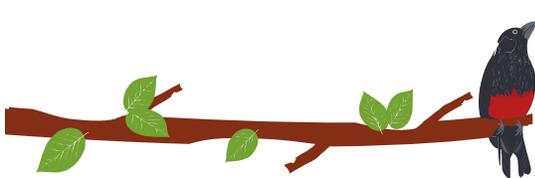


Figura 46. Valores de aceleración sísmica para la cuenca Río SUCIO ALTO (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

La **amplificación sísmica**, también conocida como **efectos locales**, plantea que los efectos del sismo se ven incrementados por las características del sitio donde ocurre el evento sísmico. Una de las principales variables que determina si la propagación de las ondas en el depósito de suelo puede o no generar amplificación en la intensidad sísmica



de análisis es el espesor del depósito de suelo blando y se define principalmente por zonas de igual clasificación unificada de suelos mediante las propiedades índices. Cada estrato se caracteriza por su densidad húmeda y por su índice de liquidez, definiendo de esta manera su espesor y el tipo de comportamiento que lo caracteriza, bien sea el comportamiento característico de las arcillas, arenas o conglomerado (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

La determinación de la aceleración sísmica estuvo basada en datos generados por la norma Sismo Resistente NSR-10 Título A. La expresión empleada para su determinación es la que sigue:

Ecuación 3

$$S_a = STx A_a x F_a x I$$

Dónde:

*ST*: Coeficiente de amplificación sísmica

*A<sub>a</sub>*: Coeficiente de aceleración horizontal pico efectiva

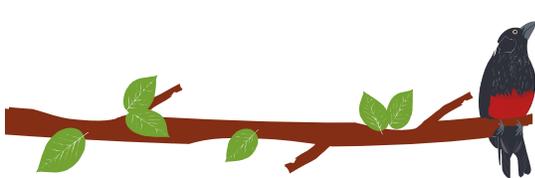
*F<sub>a</sub>*: Coeficiente de amplificación

*I*: Coeficiente de importancia, que en este caso es 1

A continuación, se describen las variables utilizadas.

El tipo de perfil de suelo se basa en los valores de los parámetros del suelo de los 30 metros superiores del perfil, medidos al menos cada 1.5 metros de espesor. La clasificación se da en la Tabla 20.

Tabla 20. Clasificación de los perfiles de suelo



Tipo de perfil	Características	Características
A	Rocas muy duras	$v_p > 500 \text{ m/s}$
B	Rocas moderadamente duras	$300 \text{ m/s} < v_p < 500 \text{ m/s}$
C	Perfiles de suelos muy densos o rocas blandas, que se comportan al momento de ser sometidos a un nivel de tensión características de suelos muy densos o rocas blandas, que se comportan al momento de ser sometidos a un nivel de tensión	$200 \text{ m/s} < v_p < 300 \text{ m/s}$ $N < 50$ $v_s > 150 \text{ (Efecto sismático)}$
D	Perfiles de suelos ligeros que se comportan al momento de ser sometidos a un nivel de tensión características de suelos ligeros que se comportan al momento de ser sometidos a un nivel de tensión	$180 \text{ m/s} < v_p < 200 \text{ m/s}$ $50 < N < 100$ $100 \text{ (Efecto sismático)} < v_s < 200 \text{ (Efecto sismático)}$
E	Perfiles que cambian al momento de ser sometidos a un nivel de tensión	$10 \text{ m/s} < v_p$ $10 < N < 50$ $v_s < 40$ $50 \text{ (Efecto sismático)} < v_s$
F	Perfiles de suelos tipo I, que tienen una gran cantidad de agua y se comportan al momento de ser sometidos a un nivel de tensión $F_1$ — Suelos de tipo I, que tienen una gran cantidad de agua y se comportan al momento de ser sometidos a un nivel de tensión $F_2$ — Suelos de tipo I, que tienen una gran cantidad de agua y se comportan al momento de ser sometidos a un nivel de tensión $F_3$ — Suelos de tipo I, que tienen una gran cantidad de agua y se comportan al momento de ser sometidos a un nivel de tensión $F_4$ — Suelos de tipo I, que tienen una gran cantidad de agua y se comportan al momento de ser sometidos a un nivel de tensión	

Fuente: Tomado de NSR-10, Título A (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

Con base en lo anterior, para las Unidades Geológicas (UGS) cartografiadas se definieron los siguientes tipos de perfil (Tabla 21).

Tabla 21. Tipo de perfil por Unidad Geológica Superficial

TIPO DE MATERIAL	UGS	TIPO DE PERFIL
Roca intermedia	Ri	B
Roca moderadamente blanda	Rmbs	C
Suelo Residual	Srie1, Srie2, Srie3, Srie4, Srie5, Srie1, Srie2, Srie3, Srs1, Srs2, Srs3 y Srs4	C
Suelo Transportado	Stfal1, Stfft6, Stfdt5Ftas, Stftz3Fta, Stfal1Fca, Stfdt5Ftas, Stftz3Fta, Strc1, Strc3Dlfd, Strc4Dlfd, Strftz3 y Stfft6Ftan	D

Fuente: Elaboración propia

Los valores de Fa están consignados en la Tabla 22, coeficiente que se encuentra en función de Aa y del tipo de perfil previamente definido. Para valores intermedios de Aa se permite interpolar entre los valores del mismo tipo de perfil.

En la Tabla 22 se presentan los valores del coeficiente Fa que amplifica el sismo teniendo en cuenta el tipo de material

Tabla 22. Valores propuestos coeficiente Fa.

TIPO DE PERFIL	INTENSIDAD DE MOVIMIENTOS SÍSMICOS EN LA CUENCA	
	Aa ≤ 0,2	
B	1,0	
C	1,2	
D	1,4	

Fuente: Adoptado y modificado de NSR-10 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

El Coeficiente de Importancia (I) está en función del grupo de uso. La Tabla 23 contiene los cuatro (4) grupos definidos por la normativa NSR-10.

Tabla 23. Clasificación grupo de uso.

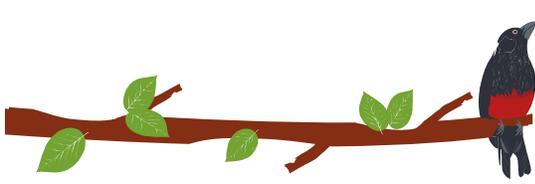
GRUPO	TIPO DE ESTRUCTURA
I	Estructuras de ocupación normal
II	Estructuras de ocupación especial
III	Estructuras de atención a la comunidad
IV	Edificaciones indispensables

Fuente: NSR-10 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

Para las zonas críticas de la Cuenca Río Sucio Alto de movimientos en masa aplica el Grupo I, al cual la NSR-10 le asigna un coeficiente de importancia de 1.00.

Modificar la aceleración obtenida por un factor de Amplificación Sísmica (ST) que depende de las características del sitio. Para este caso se tomó el factor de amplificación producto del efecto topográfico que depende de la altura y la inclinación o pendiente del talud (Jibson, R. W., 1987), y el factor de amplificación por materiales (NSR10). Para determinar esta amplificación se utilizó el modelo digital del terreno (DEM) y funciones de vecindad para marcar las zonas de cambios topográficos importantes (mayor de 40° de pendiente). En cada una de estas zonas se origina una ampliación, que corresponde a un porcentaje de la aceleración horizontal con el fin de tener en cuenta el perfil geológico, las propiedades estáticas y dinámicas del suelo y la topografía en la respuesta sísmica.

El factor de amplificación sísmica se definió de acuerdo a lo establecido por el Euro Código, el cual asigna un valor de amplificación, considerando la topografía (pendiente) que presenta la zona en estudio. A grandes rasgos, establece para pendientes entre los 15 y 30°, un factor de amplificación igual a 1.2. En caso de que la pendiente del talud o ladera supere los 30°, el valor de amplificación será de 1.4.



Partiendo del mapa de pendientes generado, le fue asignado a cada unidad de trabajo (pixel), el valor de amplificación sísmica (ST) correspondiente.

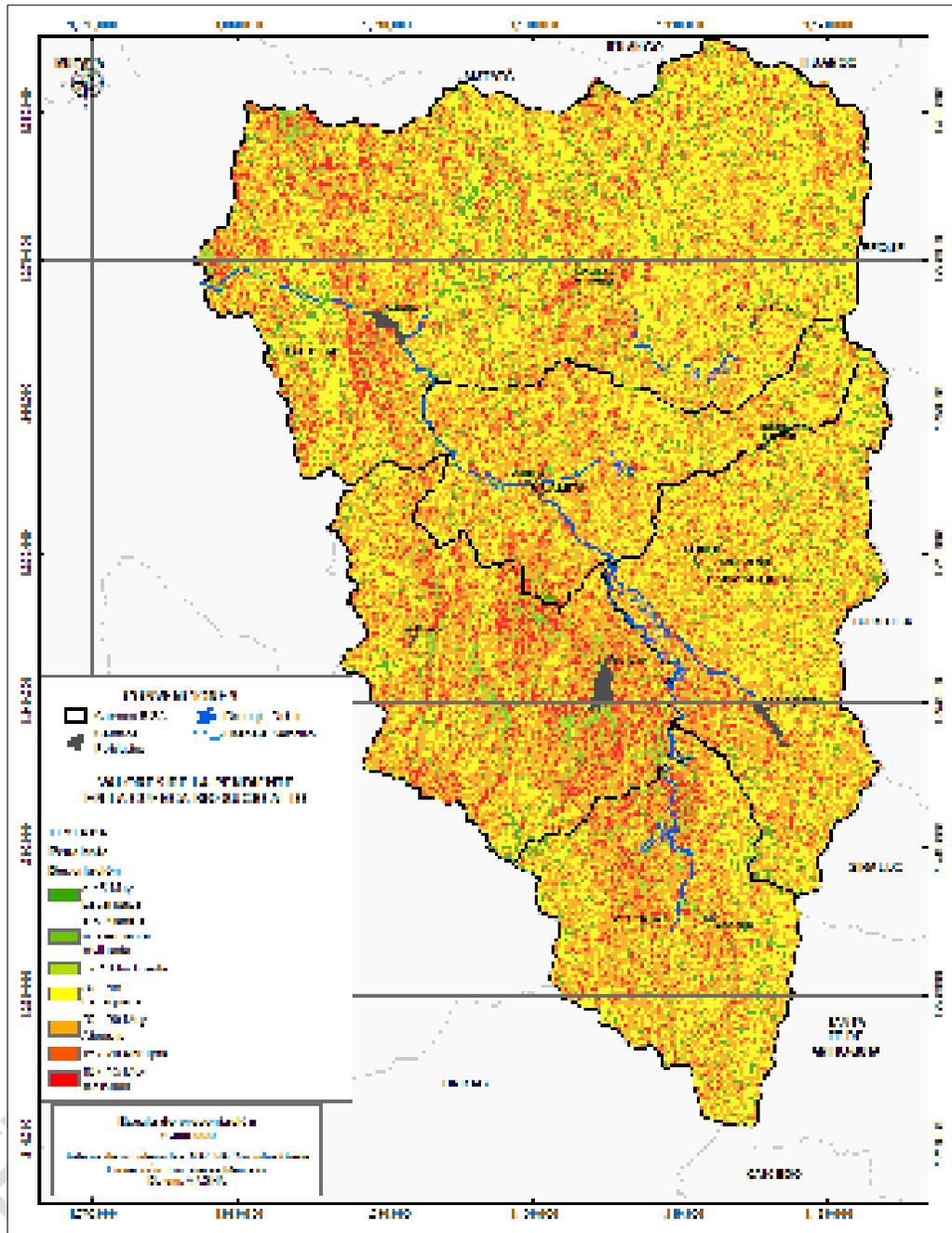


Figura 47. Reclasificación de la pendiente mostrando las zonas de cambios topográficos con pendientes mayores de 40°. Fuente: Elaboración propia a partir del DEM.

contiene el mapa de la aceleración sísmica horizontal propuesta para la evaluación y zonificación de la amenaza por lo movimientos en masa para la Cuenca del Río Sucio Alto, resultado de la aplicación del procedimiento anteriormente descrito.

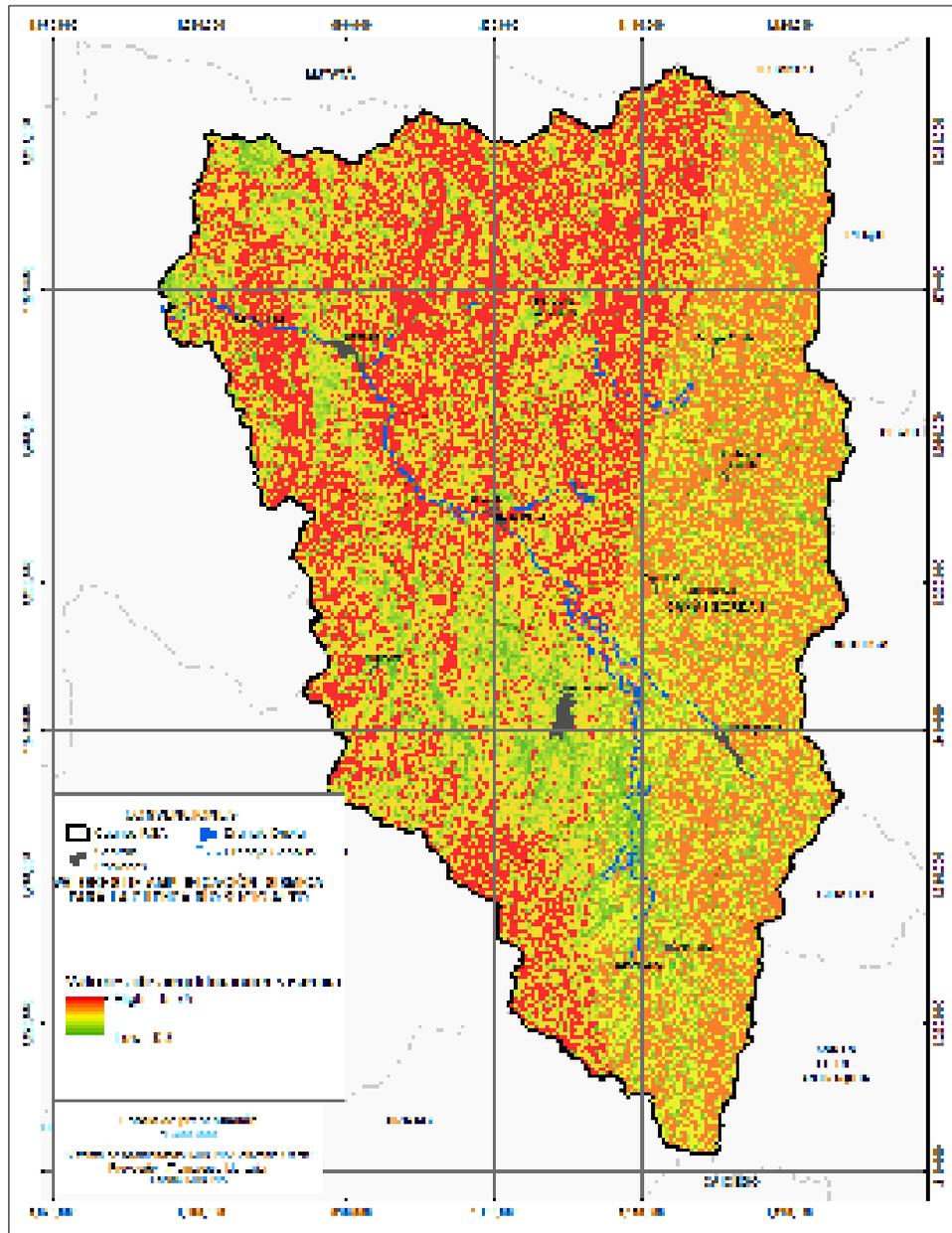
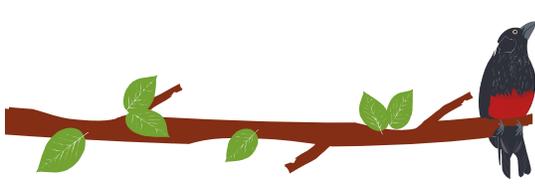


Figura 48. Amplificación sísmica, calculada a partir de valores de aceleración máxima horizontal a nivel de terreno firme (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

#### 7.5.1.4.4 Cálculo del factor de seguridad por período de retorno

La amenaza está definida como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno dado, en un área determinada. Esta probabilidad se calcula con base en la recurrencia de detonantes como la lluvia y los sismos. El objetivo final del análisis del peligro de deslizamiento de tierras (escala mayor de 1:10.000) es crear mapas cuantitativos de peligro. El grado del peligro puede ser expresado por un Factor de Seguridad, que es la relación entre las fuerzas que causan la falla de pendiente y los que previene la falla de pendiente. F-valores mayores que 1 indica las condiciones fijas, y F-valores menores

que 1 es inestable (Tabla 24). En  $F = 1$  la pendiente está en una falla. Existen muchos modelos diferentes para el cálculo de Factores de Seguridad, en este proyecto se usará, el modelo de pendientes infinitas. Este modelo dimensional describe la estabilidad de la pendiente con un infinito número de posibilidades de fallas en un plano.

Tabla 24. Grados de estabilidad según rangos del FS para MM.

RANGOS	GRADOS DE ESTABILIDAD
<1.2	BAJA
1.2-1.5	MEDIA
>1.5	ALTA

Fuente: Elaboración propia.

El factor de seguridad se calcula según la fórmula siguiente: Brunsden y Previo, 1979 en (Fondo Adaptación, 2014).

Ecuación 4. Cálculo del Factor de Seguridad.

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

Donde:

$c'$  = intercepto de cohesión

$\phi$  = ángulo de fricción

$\gamma$  = peso unitario de la capa de suelo

$\beta$  = inclinación del terreno

$\alpha$  = coeficiente de aceleración horizontal y amplificación sísmica

$h$  = espesor de la capa de suelo

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

FS = Factor de seguridad

La anterior expresión se programó en el SIG ARCGIS 10, considerando condiciones estáticas y pseudoestáticas utilizando el tamaño de pixel correspondiente a la escala de trabajo.

Con el apoyo del SIG ArcGis 10 se pudo desarrollar de una forma automática el calculo del FS, evaluando los siguientes escenarios Figura 50, Figura 51, Figura 52, Figura 53 y Figura 53:

1. Condición seca sin sismo.

2. Nivel freático con período de retorno de lluvias de 2, 20, 50 y 100 años sin sismo.
3. Condición totalmente saturada sin sismo.
4. Condición seca con sismo.
5. Período de retorno de lluvias de 2, 20, 50 y 100 años con sismo.

Para cada uno de los escenarios se obtuvo un valor del FS para cada celda, de esta forma se estableció con certeza que áreas son potencialmente inestables, cuales estables y cuales pueden pasar a ser inestables para cada uno de los escenarios en evaluación. Los grados de estabilidad para movimientos en masa en la Cuenca Río Sucio Alto, se definen teniendo en cuenta el Factor de Seguridad (FS).

Para el escenario seco, y sin agua  $z_w=0$  y por lo tanto también  $m_h=0$ .

Escenario saturado, cuando todo el suelo sobre la superficie de falla esta saturado con agua,  $z_w=z$  por lo que  $m_h=1$ .

El escenario Fseco da una situación más estable.  $Z_w$  es igual a cero. Como puede observarse en , el Factor de Seguridad es bajo, lo que significa que el área de la Cuenca Sucio Alto presenta una alta inestabilidad, aun bajo condiciones secas.

El escenario con la pendiente saturada y con aceleración sísmica, contexto no muy realista (probabilidad poco frecuente), pero esto da una estimación pesimista de la estabilidad de las pendientes. Cuando se tiene un suelo saturado, significa que el nivel freático está en la superficie. Cuando el agua subterránea alcanza el máximo, que puede ocurrir una vez cada 2, 20, 50 y 100 años (período de retorno), con dos factores incidente involucrado (lluvia y la aceleración sísmica), el grado del peligro expresado por el Factor de Seguridad, indica el aumento de la inestabilidad.

En la Figura 49, Figura 50, Figura 51, Figura 52, Figura 53 y Figura 53, se presenta el Factor de Seguridad para los diferentes escenarios planteados, en las que se evidencia el grado de inestabilidad de la Cuenca Río Sucio Alto sin existir elementos detonantes, es decir que la situación de inestabilidad responde a las condiciones inherentes del área, los elementos detonantes aumentan las condiciones de peligro del área .

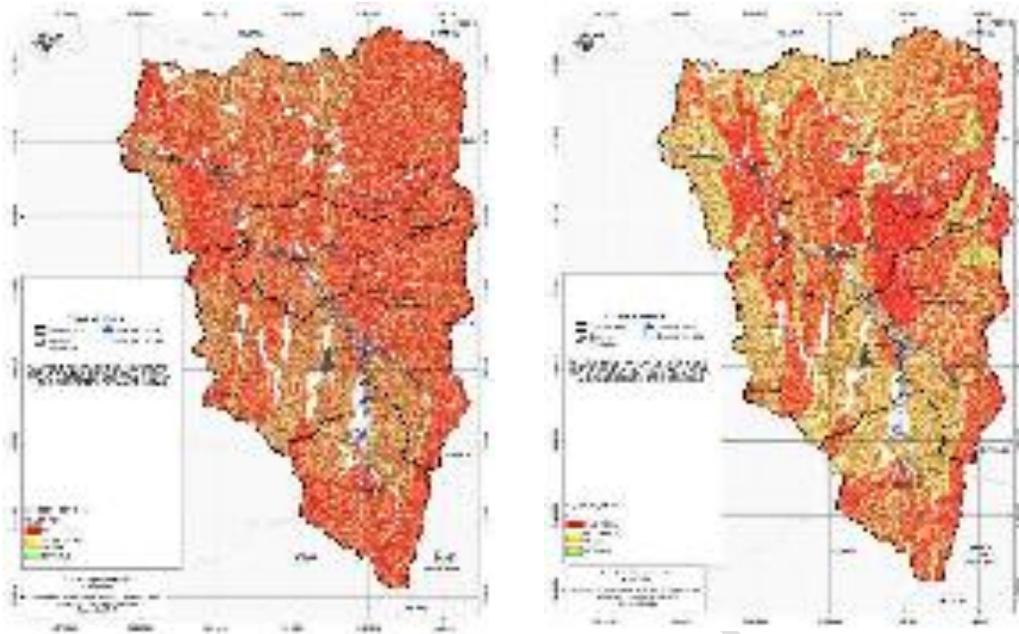
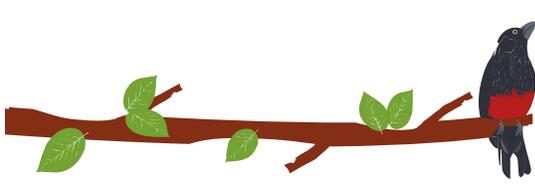


Figura 49. Factor de seguridad para escenarios seco sin sismo y con sismo.  
Fuente: Elaboración propia.

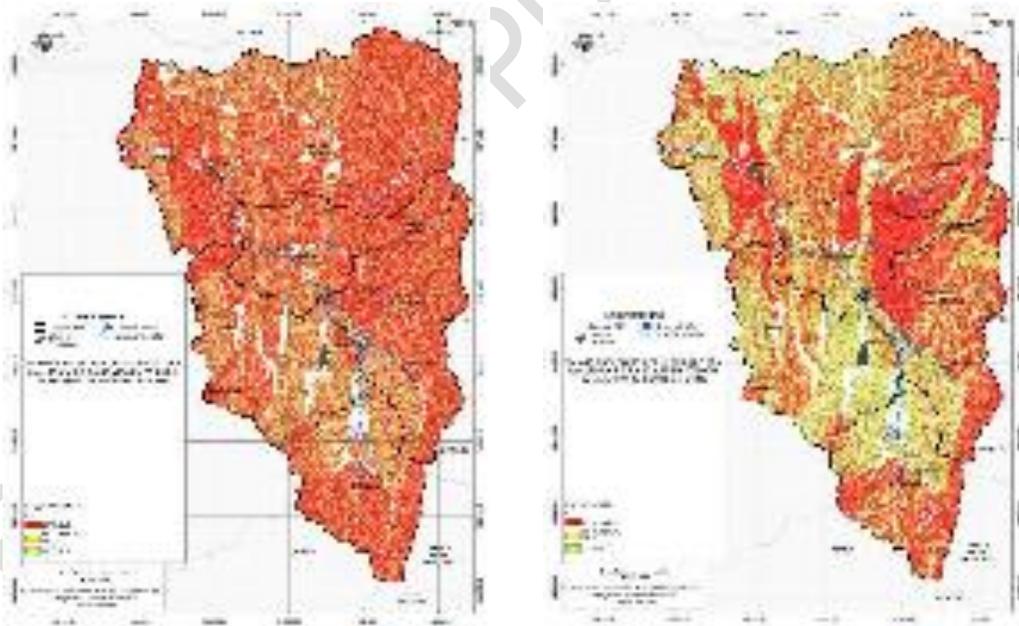


Figura 50. Factor de seguridad para escenarios de 2 años saturado sin sismo y con sismo.  
Fuente: Elaboración propia.

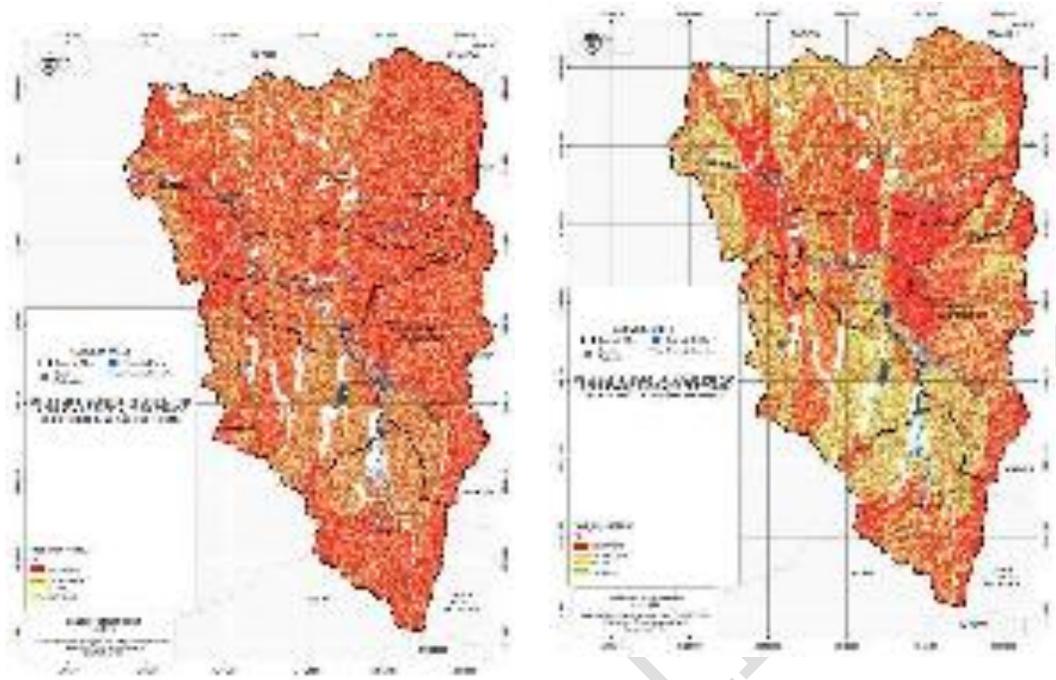
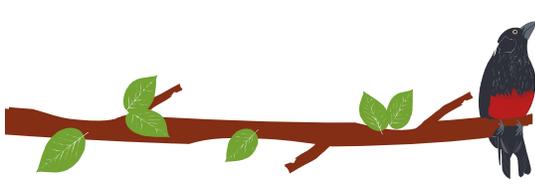


Figura 51. Factor de seguridad para escenarios 20 años saturado sin sismo y con sismo.  
Fuente: Elaboración propia.

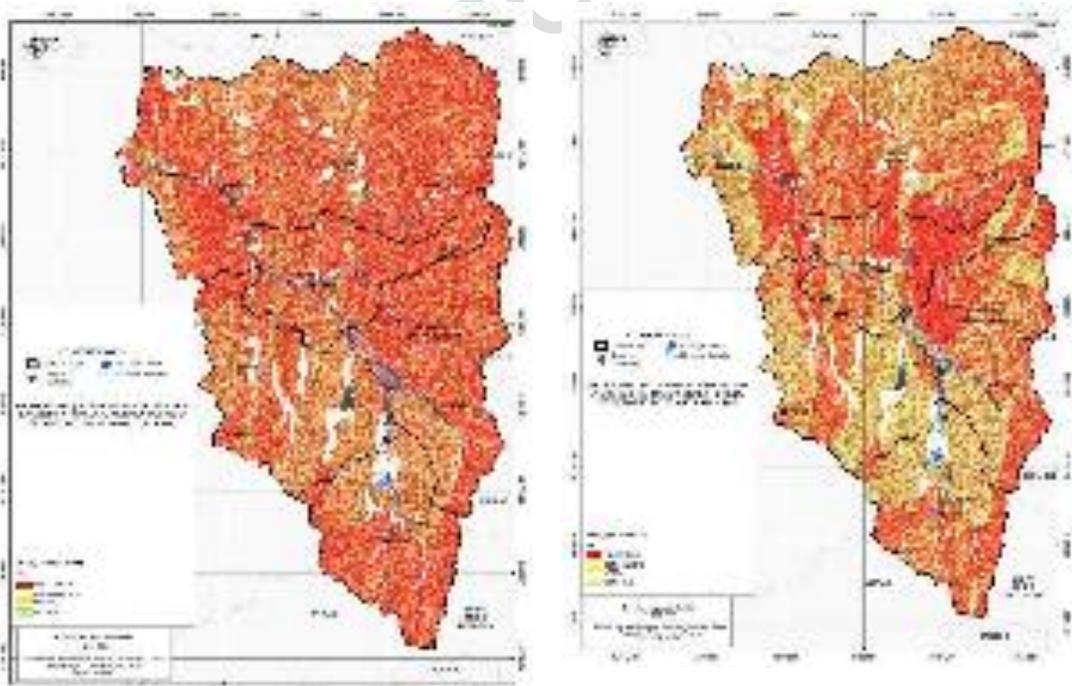


Figura 52. Factor de seguridad para escenarios de 50 años saturado sin sismo y con sismo.  
Fuente: Elaboración propia.

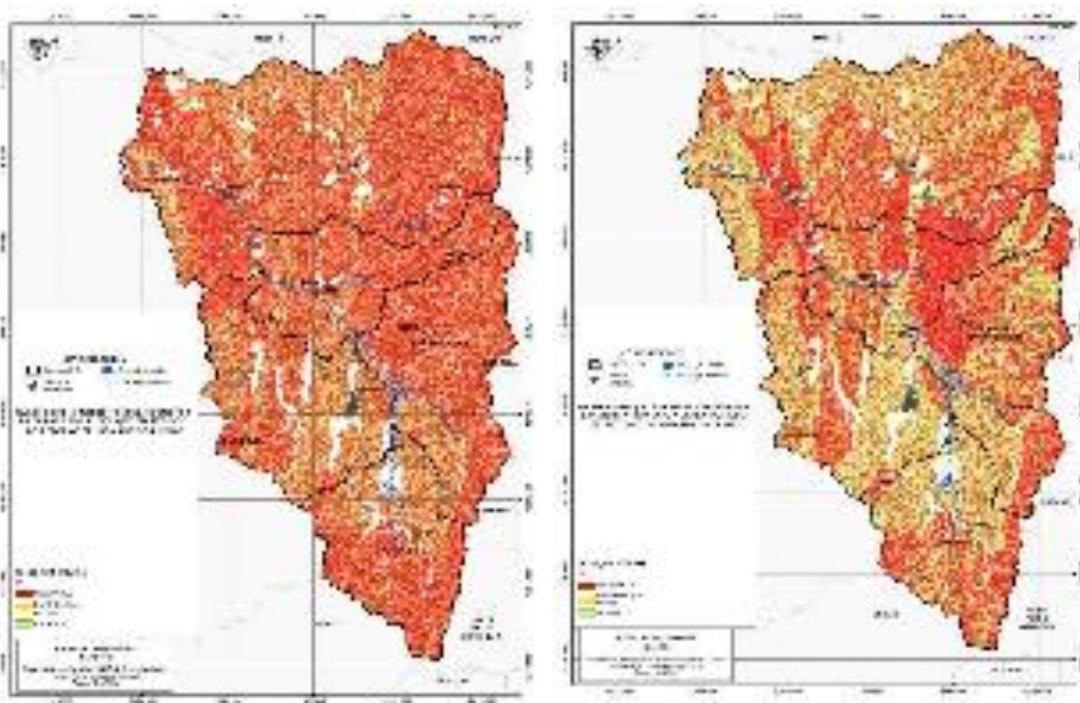
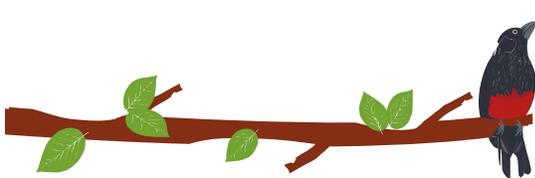


Figura 53. Factor de seguridad para periodo de retorno de 100 años saturado sin sismo y con sismo.

Fuente: Elaboración propia.

#### 7.5.1.4.5 Cálculo de la amenaza por Movimientos en Masa (MM) final

Conociendo el valor del FS para cada escenario, se procede al cálculo de la desviación estándar teniendo en cuenta todos los escenarios planetados. Como el valor de la variable es una desviación estándar (290.91) por arriba de la media (2.59), se utiliza el valor +Z.

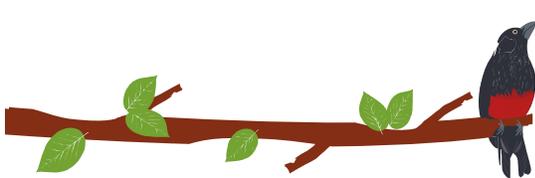
La amenaza es la probabilidad de ocurrencia del fenómeno, en este caso de inestabilidad, con la desviación estándar de FS final se calcula el área bajo la curva normal y la probabilidad de ocurrencia de acuerdo a la siguiente ecuación (Alzate, Guevara, & Valero, 2012):

Ecuación 5 Cálculo de Amenaza Final.

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

$$P = (0.5 + Z)100$$

$$P = (0.5 - Z)100$$



Donde:

Z = distancia entre el FS y la ordenada en la curva normal. Siempre representa un área menor a 1.

$\sigma$  (FS) = Desviación estándar del Factor de Seguridad.

P = Probabilidad de ocurrencia de falla

Los resultados indican que existe una alta probabilidad de ocurrencia de un evento de inestabilidad en la Cuenca Río Sucio Alto, como puede observarse en la Figura 54.

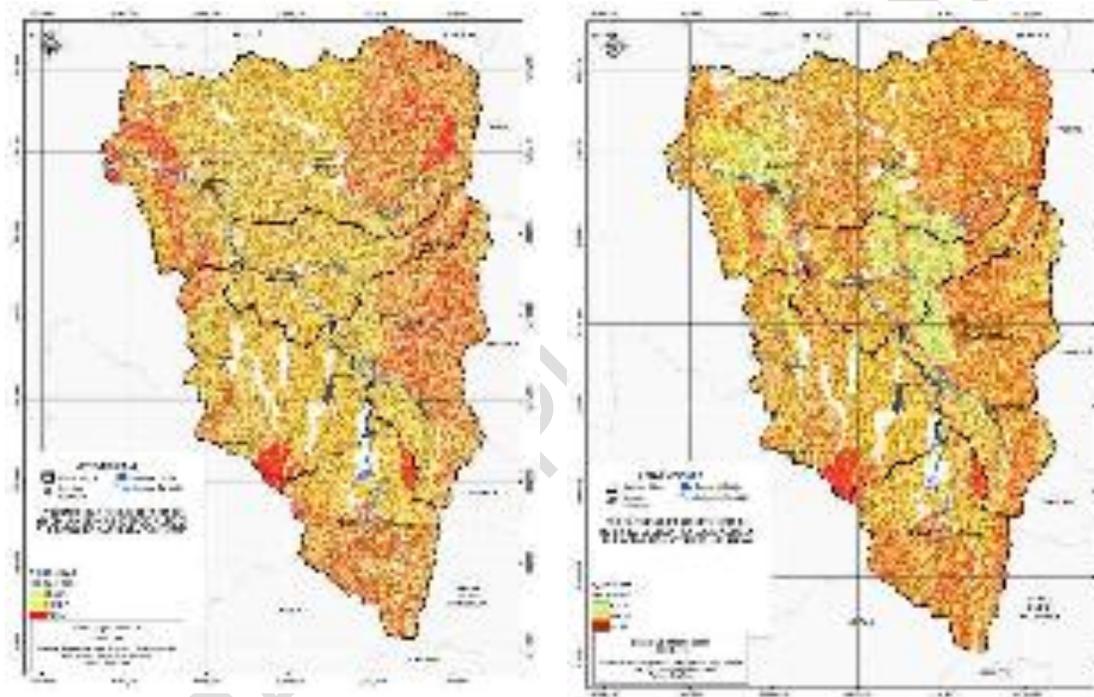


Figura 54. Probabilidad de ocurrencia de un movimiento en masa en la Cuenca Río Sucio Alto, para el escenario con sismo, sin sismo.

En función de los resultados de la susceptibilidad y los detonantes sismo y lluvia, la amenaza por movimientos en masa para la Cuenca Río Sucio Alto debe considerarse dinámica en el tiempo y en el espacio.

Con fundamento en los valores de probabilidad de falla obtenidos para cada escenario en la Cuenca Río Sucio Alto y adoptando los rangos propuestos por el Servicio Geológico Colombiano en Tabla 25, se espacializa el nivel de amenaza en la cuenca obteniendo el mapa de amenaza.

Tabla 25. Criterio para la clasificación de la amenaza en función de la probabilidad anual de falla.

NIVEL DE AMENAZA	PROBABILIDAD DE FALLA	CALIFICACIÓN
------------------	-----------------------	--------------

Baja	<0,001	1
Media	0,001-0,16	2
Alta	>0,16	3

Fuente: (Servicio Geológico Colombiano, 2015).

De acuerdo a la metodología, las áreas con probabilidad de falla menor al 10% entrarán en la categoría de Amenaza Baja, las áreas con probabilidad de falla mayor a 40% y menor a 70%, tendrán Amenaza Media y las áreas mayores del 75% tendrán Amenaza Alta. Con estos criterios se procedió a reclasificar el raster de Amenaza, para obtener un raster de números enteros, el cual se vectorizó para generar los shapes de Amenaza, cabe resaltar que las áreas con susceptibilidad baja (planas y semiplanas) ante movimientos en masa se excluyen del análisis.

En la Figura 54 se presenta la espacialización de las amenazas para cada uno de los 10 escenarios.

A partir de estos mapas de amenaza, se analizó cada escenario resultante con el fin de escoger el escenario que finalmente se tomó como mapa de amenazas por movimientos en masa para la Cuenca del Río Sucio Alto y realizar el análisis de vulnerabilidad y riesgos.

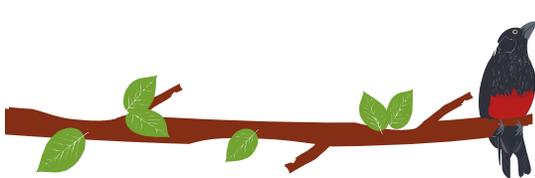
Los escenarios 1 y 2 presentan una condición seca, con sismo o sin sismo no se ecoge debido a su improbabilidad de ocurrencia, es decir estos escenarios son improbables ya que en la Cuenca Río Sucio Alto se presentan precipitaciones en ocasiones intensas, inclusive cada época de lluvias, por lo tanto, estos escenarios pierden validez. Aunque la amenaza baja solo se da en las partes bajas de la cuenca como lo son los valles aluviales, resulta ser media-alta para el resto de la cuenca.

El escenario 3, representa de manera aproximada a lo registrado en los eventos históricos, donde se observa períodos de retornos entre 1 y 3 años en general, aunque un periodo de retorno de la precipitación de 2 años significa un tiempo corto para una infiltración profunda que represente una condición de alta humedad o saturación del suelo capaz de generar movimientos en masa de grandes dimensiones. Lo observado y lo registrado en la información de eventos históricos, las dimensiones de los movimientos en masa presentados en la cuenca son de dimensión considerable que afecta en particular las vías de comunicación, siendo el más representativo los deslizamientos rotacionales. El escenario con la pendiente saturada y con aceleración sísmica, esto tampoco es una situación muy realista, pero esto nos da una estimación pesimista de la estabilidad de las pendientes.

Con el escenario 4, escenario con la pendiente saturada y con aceleración sísmica, esto no es una situación muy realista, pero esto nos da una estimación pesimista de la estabilidad de las pendientes.

El escenario 5, el periodo de retorno de 20 años corresponde a un escenario más realista que integra de manera estadística la recurrencia del fenómeno dentro de la cuenca para el período 1971-2016 de acuerdo al registro de eventos históricos, donde se observan retornos entre 5 y 10 años en general. Cuando el agua subterránea alcanza el máximo, que puede ocurrir una vez cada 20 años (período de retorno: 20 años), con dos factores incidente involucrado (principalmente la lluvia para elevar el nivel freático y la aceleración sísmica), aunque probabilísticamente nos da una mejor representación, este escenario es más amplio que el horizonte de planificación exigido para la cuenca

El escenario 6 presenta una amenaza media-baja en la cuenca, lo cual se aleja de la realidad de la cuenca.



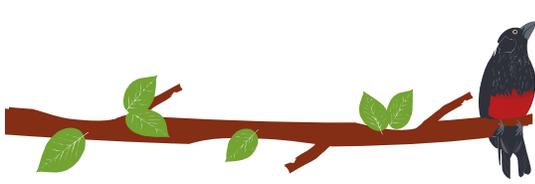
Los escenarios 7, 8, 9 y 10 corresponden a periodos de retorno de lluvias de 50 y 100 años respectivamente, los cuales si bien se han presentado esporádicamente en la región, no son el fenómeno usual, tal como se concluyó del análisis del registro de eventos históricos.

De acuerdo a lo anterior, el escenario que mejor refleja la condición del territorio, un periodo de retorno de la lluvia (condiciones normales) mezclado con la sismicidad (condiciones críticas), el periodo de retorno de 2 años es el escenario bajo el cual la planificación ambiental del territorio se puede realizar teniendo en cuenta condiciones actuales analizadas para la cuenca y el horizonte de planificación definido para el POMCA (10 años).

Planteados los escenarios de la amenaza, se zonifica la amenaza y se obtiene el mapa final de amenaza a movimientos en masa (Figura 55). La definición del modelo geológico-geotécnico incluye la consideración de los factores detonantes de inestabilidad prevalentes en el área de la cuenca, los cuales están directamente relacionados con las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas de las laderas presentes en la cuenca.

ETAPA DE PUBLICIDAD





PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO  
FASE DE FORMULACIÓN

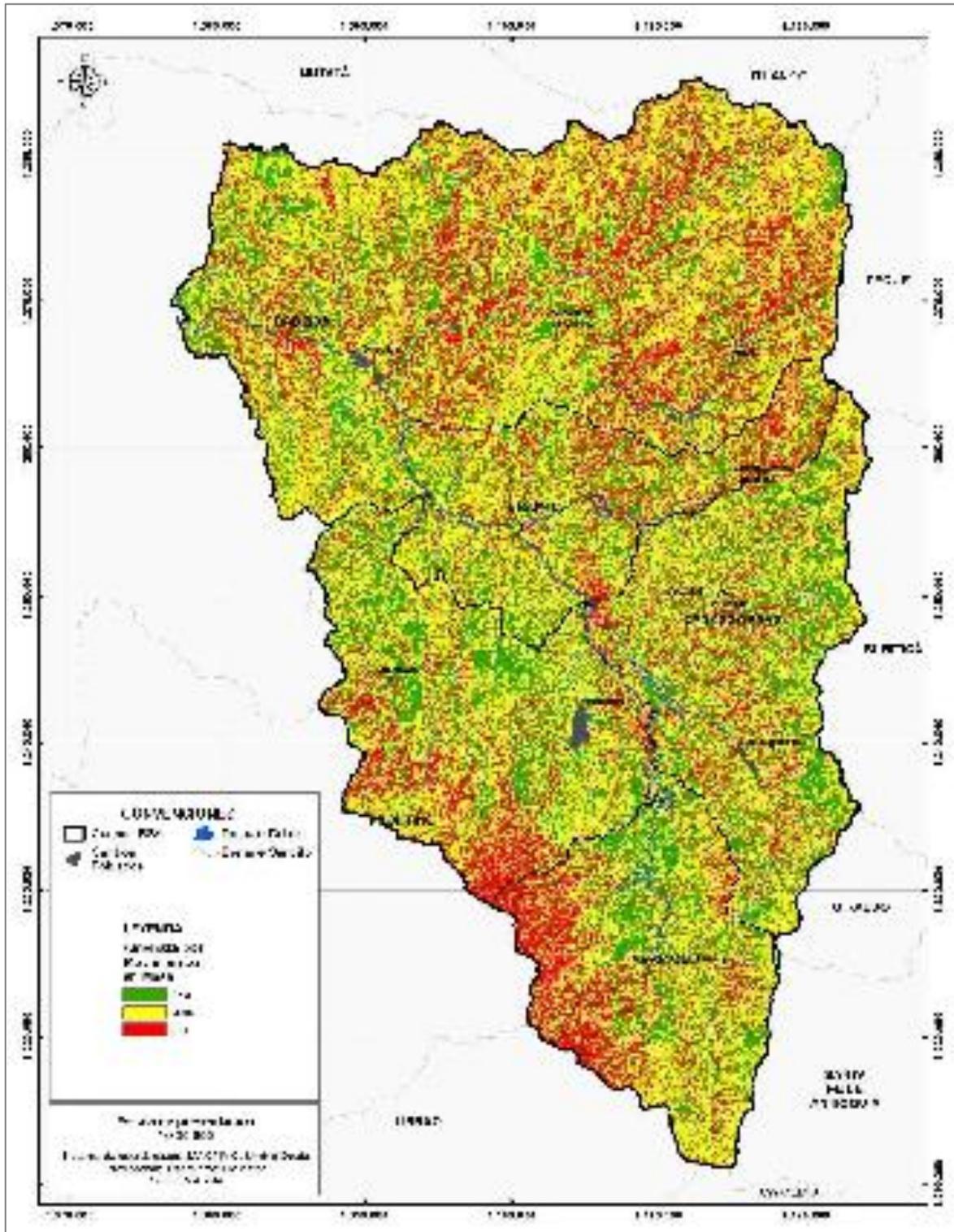


Figura 55. Amenaza Relativa por Movimientos en masa en la Cuenca del Río Sucio Alto.

La amenaza por movimientos en masa de la cuenca Río Sucio Alto, se define en tres categorías: alta, media y baja con un dominio mayoritario de la amenaza media.

Finalmente, se genera el mapa de amenaza por movimientos en masa en las áreas críticas de la cuenca y para los diferentes escenarios evaluados a escala 1:25.000. La categorización de la amenaza se definió con base en niveles de probabilidad de acuerdo a los detonantes evaluados, obteniendo tres niveles o categoría de amenaza:

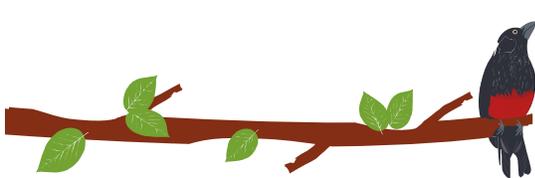
- Amenaza alta

Coincide con las áreas de susceptibilidad alta y media a los movimientos en masa, y en donde los valores de precipitación media anual son del rango de 1.519,64 a 3.047,35 mm. Las zonas de alta probabilidad de generación de movimientos en masa son las que presentan contrastes de relieves altos, donde la configuración morfométrica está determinada por las altas pendientes y donde actualmente se presenta la deforestación.

En la Figura 56 se observan un deslizamiento típico del sector de El Madero los cuales son activo, compuesto y creciente de tipo rotacional, en Suelo residual arenolimoso arcilloso de alta y baja comprensibilidad de las Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao, con dimensiones aproximadas de 60m de altura, 120m de longitud y 80m de ancho (espesor masa deslizada 10m). La morfodinámica, permitió identificar los procesos de erosión y movimientos en masa, que han ocurrido en el área de estudio, utilizando criterios indirectos sobre la estabilidad o inestabilidad del terreno con fines de la zonificación. En el proceso de identificación y caracterización de los movimientos en masa en la cuenca del Río Sucio Alto, se utilizaron ortofotos a color de alta resolución para la identificación e interpretación de los movimientos en masa y posteriormente, se verificaron en campo, usando los formatos de campo del SGC (Servicio Geológico Colombiano, 2017), con los cuales se efectuaron descripciones y se tomaron datos del inventario de los movimientos en masa, los que en su gran mayoría corresponden a movimientos activos del tipo golpe de cuchara (Figura 56 y Figura 57).



Figura 56. Deslizamiento de tipo rotacional en la cuenca alta del río Cañasgordas, donde se evidencia el escarpe



o zona de inicio (e), cuerpo o zona de depósito (d) sobre suelo residual de las litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu), estación GJAM-09, vía Nacional Medellín – Turbo, vereda El Madero, municipio de Cañasgordas, Antioquía, coordenadas (1119730E - 1235601N).



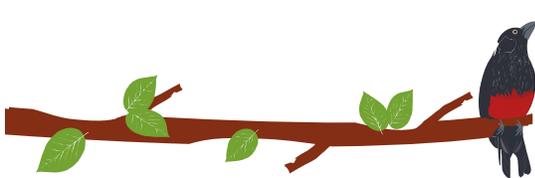
Figura 57. Movimiento en masa tipo deslizamiento, donde se evidencia el escarpe o zona de inicio (e), cuerpo o zona de depósito (d) sobre suelo residual de las litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu), estación GJAM-11, vía Nacional Medellín – Turbo, Cañasgordas, Antioquía, coordenadas (1116082E - 1238881N).

- Amenaza media

Coincide con las zonas de susceptibilidad media a movimientos en masa, la precipitación media anual se encuentra entre 1.519,64 a 3.047,35. Representa el 5,74% del área total de la cuenca.

La categoría de amenaza media comprende unidades origen estructural-denudacional. Está constituida por suelos superficiales pobremente drenados, superficiales a moderadamente profundos. La cobertura es esencialmente de pastos con espacios naturales, además de vegetación secundaria o en transición, cobertura que no brinda estabilidad a los suelos. Aunque los valores sísmicos y de precipitación son importantes y los parámetros del suelo no son los mejores, las condiciones del relieve y de susceptibilidad son moderadas para reducir la probabilidad de generación de movimientos en masa, en esta categoría la reptación es el movimiento más representativo.

Se encontró que los resultados son coherentes con lo observado en la comprobación de campo y los resultados de la susceptibilidad. La amenaza media a movimientos en masa es la segunda en representatividad del área y se concentra sobre todo en zonas de pendiente moderada, la cobertura predominante son los mosaicos de cultivos, espacios naturales, con raíces poco profundas, lo que contribuye a una menor estabilidad del terreno y aumenta la susceptibilidad a movimientos en masa.



Finalmente se obtuvo tres categorías de amenaza: alta, media y baja, donde predomina la amenaza media, que coincide con las áreas de susceptibilidad alta y media, lo que indica la alta capacidad para generar movimientos en masa en las zonas que presentan relieves altos, altas pendientes, la roca presenta discontinuidades estratigráficas y la deforestación está presente en gran parte de las zonas.

#### 7.5.1.4.6 Validación de los resultados del mapa para MM.

La salida cartográfica resultante de la zonificación de la amenaza por los movimientos en masa, fue verificada con el mapa de procesos morfodinámicos (inventario de eventos activos cartografiados), garantizando de esta forma que estos procesos se encuentren dentro de las área de amenaza, también se hizo su respectiva validación en campo (Figura 58 y Figura 59), además de la validación con los actores de la cuenca.



Figura 58. Deslizamiento de gran magnitud presentado sobre un lomo denudado ubicado en el corregimiento de Camparrusia, municipio de Dabeiba, Antioquía. Estación GJAM-47, cuyas coordenadas son: N 1265800, E 1114838.

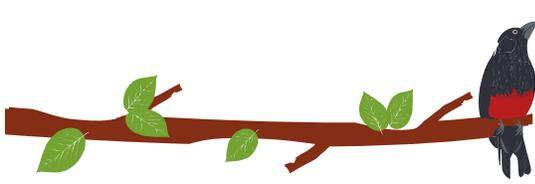
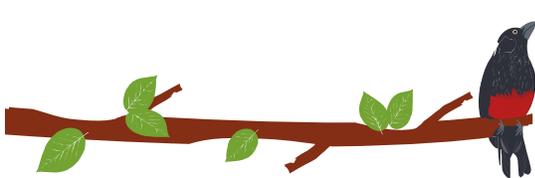


Figura 59. Flujos de detritos sobre la vía San José de Urama-Camparrusia. Estación GJAM-46, cuyas coordenadas son: N 1266055, E 1115105.

ETAPA DE PUBLICACIÓN



PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO  
FASE DE FORMULACIÓN

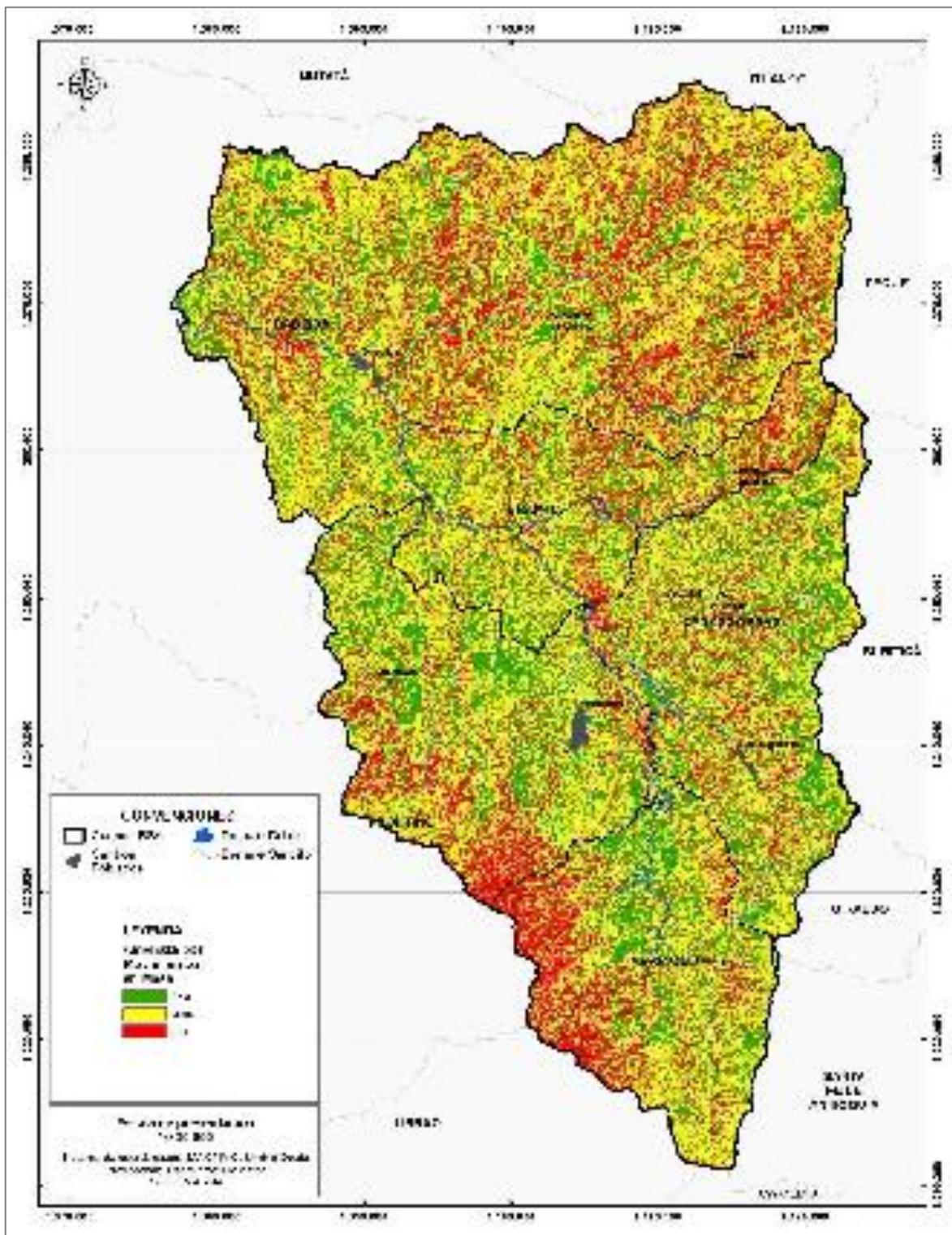


Figura 60. Zonificación final de la amenaza por los movimientos en masa en la Cuenca del Río SUCIO ALTO.

La Tabla 26, se presenta la distribución de las categorías de amenaza por movimientos en masa para la Cuenca Río Sucio Alto en donde la categoría Media predomina en la cuenca con 51,74%.

Tabla 26. Categorías de la amenaza por movimientos en masa presente en la Cuenca Río Sucio Alto.

CATEGORÍA	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE
BAJA	56.202	25.84
MEDIA	112.512	51,74
ALTA	48.762	22,42

Fuente: Elaboración propia.

Estos resultados son consecuentes con la realidad del territorio de la cuenca, el cual presenta en general episodios de movimientos en masa de tipo profundos muy frecuentes, la mayoría de ellos localizados en bordes de las vías y áreas rurales puntuales debido a una inadecuada intervención antrópica manifestada a partir de apertura de taludes para vías, ocupación de laderas de alta o media pendiente, inapropiado manejo de aguas residuales y de escorrentía, entre otras razones.

Al comparar los mapas de Susceptibilidad y de Amenaza ante movimientos en masa, se concluye:

Las zonas ubicadas en las pendientes altas tanto la Susceptibilidad como la Amenaza van de medias a altas.

Las zonas de pendientes moderadas pasan de Susceptibilidad alta a Amenaza media.

El tipo de movimientos en masa más representativo dentro de la cuenca son los deslizamientos, los cuales se presentan como un movimiento de suelo ladera abajo sobre una superficie de rotura, zonas relativamente delgadas con intensa deformación de corte (arcillas plásticas), la superficie de rotura coincide con planos estructurales de estratificación (deslizamientos traslacionales capas delgadas de suelo) (Figura 53).



Figura 61. Deslizamiento rotacional estabilizado sobre la vía Dabeiba-Mutatá, en los cuales se observa la magnitud del mismo. Estación GJAM-23, cuyas coordenadas son: N 1267077, E 1087173.

Otro tipo de movimiento identificado son los **flujos de detritos y lodos**, los cuales se presentan en forma de lóbulo y abanico con morfología alomada y aterrazada, limitada por escarpes abruptos. Su depósito está constituido por bloques rocosos angulares a subredondeados de detritos y bloques embebidos en una matriz más fina (Figura 62, Figura 63 y Figura 64). Su origen está relacionado a eventos fluvio torrenciales encauzados. En la cuenca se localizan como pequeños cuerpos que se originan en la parte superior de las microcuencas, sobre corrientes con régimen torrencial, tributarias del Rio Urama y Rio Sucio haciéndose muy delgados en la medida en que su material es transportado ladera abajo hasta desaparecer completamente (SGC, 2015). En la cuenca se localizan al NE, asociados a zonas de falla y cauces de ríos controlados estructuralmente (SGC, 2015) (Figura 59).

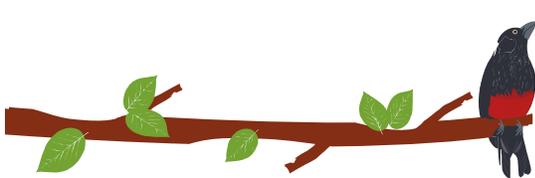


Figura 62. Cono de talus (Dct), en los cuales se observa la acumulación de bloques. escarpe o zona de inicio (e) del deslizamiento, cuerpo o zona de depósito (d). Estación GJAM-18, cuyas coordenadas son: N 1255644, E 1111860.



Figura 63. Flujos de detritos sobre la vía San José de Urama-Camparrusia. Estación GJAM-46, cuyas coordenadas son: N 1266055, E 1115105.

**Los flujos de lodo y tierra**, se presentan siguiendo las hondonadas y drenajes fluviales. Localmente presenta diques marginales que limitan el cauce. Su origen es relacionado al transporte de materiales producto de la saturación del suelo. En la cuenca se presenta hacia el S (Abriaquí), como pequeños flujos de material suelto (Figura 64), sobre laderas de altas pendientes (SGC, 2015).

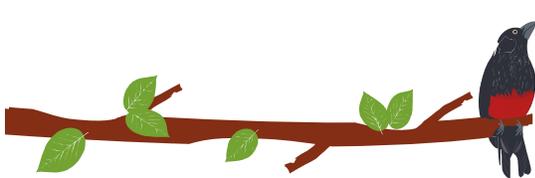
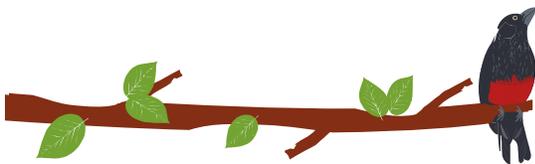


Figura 64. Flujos de lodo y tierra (Difl) sobre la vía Abriaquí-Corcovado. Estación GJAM-37, cuyas coordenadas son: N 1265800, E 1114838.

Los suelos son susceptibles a presentar procesos de remoción de masas especialmente en temporadas de lluvias, debido a que la humedad natural es menor que la humedad de equilibrio, por lo tanto, el suelo se expandirá para buscar la cantidad de agua y alcanzar la humedad de equilibrio.

Las Unidades Geológicas Superficiales de la cuenca Río Sucio Alto están afectadas por estructuras de falla formadas bajo condiciones frágiles y en niveles de deformación intermedios, estas últimas caracterizadas por el desarrollo de zonas amplias deformadas donde afloran principalmente milonitas. Dos direcciones de fallamiento predominan en esta área: N-S y N45°W y buzamientos variables entre 70° y 45° de inclinación principalmente hacia el NE. Relacionadas a éstas se presentan fallas inversas, fallas de rumbo y fallas normales. Los tensores regionales del SW-NE producen los planos de falla con direcciones N-S a N55°E, siendo la mayoría de las fallas encontradas en el corte Dabeiba-Uramita de tipo inverso con componente sinextral, las cuales son generadas en ambientes compresivos.

Las fallas de dirección N-S conforman la tendencia estructural regional dominante en la zona norte de la Cordillera Occidental y en la cuenca, es el límite o borde del Complejo Cañasgordas con el Complejo Santa Cecilia-La Equis está representado por numerosas fallas trenzadas dando origen a un mosaico de bloques deformados de diferente litología, el cual se denomina Sistema de Fallas de Dabeiba, compuesto por fallas dispuestas de manera anastomosada que limitan fajas y lentes de diabasas y basaltos con bloques de chert y calizas y bloques de litoarenitas, limolitas y lodolitas, así como también limitan bloques de tobas-aglomerados-basaltos del Complejo Santa Cecilia-La Equis, los Basaltos de El Botón y la Formación Guineales.



El Sistema de fallas de Dabeiba afecta las rocas del Complejo Cañasgordas, y limita bloques de diferente litología dentro del complejo como diabasas, chert, calizas, litoarenitas y lodolitas. El sistema está representado aproximadamente por 13 a 15 fallas; el límite occidental del Sistema de fallas de Dabeiba es la Falla Dabeiba-Pueblo Rico, que corresponde al contacto fallado del Complejo Cañasgordas con el Basalto de El Botón; el límite oriental del sistema es la Falla de La Herradura que pone en contacto la zona de mayor deformación con rocas menos deformadas del Complejo Cañasgordas.

La Falla la Herradura controla el río Herradura entre la vereda Pontón Llano Grande y la desembocadura de éste al río Sucio, para continuar hacia el norte en dirección N-S hasta la vereda Llano Grande cerca de la Inspección de Urama Grande, donde es truncada parcialmente por una falla del sistema N45°W (SGC, 2013).

La Falla Dabeiba-Pueblo Rico se considera como el límite tectónico entre el Complejo Cañasgordas y el Complejo Santa Cecilia-La Equis (SGC, 2013), el cual en la cuenca no está representado por una falla única y continua, sino por varias fallas que limitan bloques de ambos complejos espacialmente truncados por fallas NW y NE que desplazan los bloques en sentido E-W y que involucra no sólo al bloque Cañasgordas y al arco de Chocó-Panamá sino también al Arco de El Botón.

El Sistema de fallas Amparradó – Murindó, es un grupo de fallas de dirección Norte-Sur que afloran al occidente de la Falla Dabeiba-Pueblo Rico y al oriente de la Falla Murindó y que afectan el Complejo Santa Cecilia-La Equis, el Basalto de El Botón, la Formación Guineales y Sedimentitas de Cruces. El Sistema de Fallas Amparradó – Murindó comprende las fallas Cerrazón, Amparradó, Chimurro, Togoridó, Amparradó Occidental, Sabaletas, Compañía y Pantanos.

La Falla de La Cerrazón en la cuenca se toma como una falla de cabalgamiento con vergencia al oriente, que corresponde al contacto oriental de la Formación Guineales con el Basalto de El Botón, poniendo a cabalgar rocas volcánicas y piroclásticas sobre conglomerados de la Formación Guineales, con un plano de falla sinuoso con buzamiento menor a 55 grados.

También se presentan fallas y lineamientos de dirección N-W SGC (2013) como un conjunto de estructuras que afecta las fallas y lineamientos de dirección Norte-Sur, pero que aparentemente es truncado por el sistema de fallas Noreste. En la cuenca se presentan fallas de dirección NW en la vereda El Águila, entre la Aguada y la quebrada La Esperanza y en un segmento del río Sucio afectando el contacto de la Formación Guineales. Se caracteriza porque trunca las fallas y bloques litológicos de dirección N-S, indicando que corresponde a fallas más recientes que las del rumbo regional N-S.

Fallas y lineamientos de dirección NE. Este sistema de fallas está representado por fallas de poca longitud que truncan los bloques litológicos y las fallas del sistema N-S y desplazan al sistema de fallas NW, considerando por tal razón que corresponden a las fallas más jóvenes que afectan la zona de estudio. Este sistema presenta una estructura importante en el sector entre la vereda El Botón y el río Togoridó, limita un bloque de rocas sedimentarias de la Formación Guineales, el cual está en contacto fallado con rocas

volcánicas y desplaza el límite tectónico entre los complejos Cañasgordas y el Basalto de El Botón, que se ha denominado regionalmente como Falla Dabeiba – Pueblo Rico. Al sur de esta falla se presentan fallas cortas de este sistema que limitan la Formación Guineales y fraccionan el Basalto de El Botón en bloques.

Los pliegues presentes están relacionados a fallas dentro de bloques de rocas sedimentarias, donde el eje axial en los pliegues mayores, es paralelo a la tendencia regional N-S. Los bloques litológicos constituidos por paquetes de chert y caliza (Chert y calizas del Nutibara) presentan como respuesta a la deformación el desarrollo de pliegues complejos y localmente en chevrón en los bordes de las fallas y al interior de los bloques.

Las Unidades Geológicas Superficiales de la cuenca Río Sucio Alto presentan espesores muy altos de suelos residuales, llegando a sobrepasar los 40 metros, estos espesores están relacionados tanto con la composición de la roca, como por los agentes químicos ayudados por el tectonismo presente que desarrolla zonas amplias deformadas.

### 7.5.1.5 Conclusiones

El proceso de zonificación de amenaza es la definición de las características geoambientales de la zona de estudio, las cuales permiten la formulación y comprobación de una hipótesis con la que se pueda establecer la relación entre diferentes factores geoambientales y la ocurrencia de movimientos en masa, teniendo en cuenta el inventario de procesos morfodinámicos.

La caracterización de los macizos rocos y el alto grado de fracturamiento, se hace evidenciando su relación con las fallas geológicas presentes en la cuenca, e a mayor profundidad de perfiles de meteorización y características de resistencia desfavorables, mayores son los problemas de inestabilidad, como lo evidencian los datos tomados en campo. La presencia de materiales geológicos (roca y suelo) de baja resistencia (inherente) o la presencia de discontinuidades, son factores relacionados con la ocurrencia de movimientos en masa. Discontinuidades como las fallas, planos de estratificación, de foliación, diaclasas, contraste de materiales que generan cambios de permeabilidad en los horizontes de meteorización, son el origen de características de debilidad en los materiales (Servicio Geológico Colombiano, 2017).

En épocas de alta pluviosidad se pueden llegar a presentar deslizamientos de falla circular en perfiles de meteorización de alto espesor, en la zona la problemática está basada en los deslizamientos presentes por cambios de plasticidad y granulometría, La unidad Srs2 (K2alu) está conformada por materiales (arcillas) muy susceptibles a los procesos de remoción en masa, (superficies de falla circular profunda, por su condición blanda las arcillas y su característica plástica, presentan una buena capacidad de retener agua.

La estabilidad de los taludes y las laderas está gobernada por un conjunto de variables topográficas, geológicas, ambientales y antrópicas que determinan la posibilidad de los movimientos en masa, la mayoría de los procesos de inestabilidad se presentan una vez las fuerzas desestabilizantes superan la resistencia de los materiales a desplazarse.

Las relaciones de causalidad entre la ocurrencia de movimientos en masa y los factores condicionantes y detonantes dependen de las particularidades geoambientales del área.

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

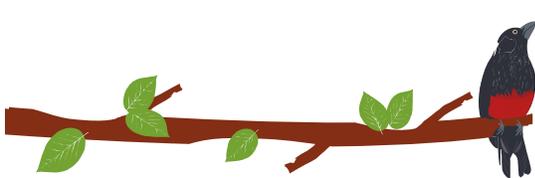
- La inestabilidad que se evidencia en la Cuenca Río Sucio Alto, es una amenaza natural resultado de la interacción de variables abióticas, por consiguiente, las zonas establecidas como de alta y media inestabilidad geológica se califican como frágiles.
- La interdisciplinariedad en el ordenamiento ambiental de la Cuenca Río Sucio Alto es fundamental para entender la real cabida de las temáticas asociadas a las condiciones socioeconómicas del área y deben materializarse de manera clara en este instrumento de gestión ambiental, el cual debe dar las pautas para el ordenamiento territorial.

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

- Procesos tectónicos, que están ocurriendo actualmente en el territorio.
- Procesos antrópicos, relacionados con la acción de la población sobre el medio ambiente, por ejemplo, generando deforestación en una zona de ladera o incendios forestales que desestabilicen una pendiente.
- Procesos litológicos, donde se presentan materiales con baja cohesión o poco consolidados.
- Procesos topográficos, zonas con pendientes altas en donde se supera el ángulo de reposo de un material.
- Procesos climáticos, existen precipitaciones frecuentes con un régimen de lluvias elevado.
- Los resultados aquí consignados deben tenerse en cuenta en la etapa de formulación y zonificación, ya que las zonas críticas de amenaza alta debe ser un condicionante para los usos propuestos del suelo, además establecer requerimientos para estas zonas propensas a la ocurrencia de eventos amenazantes en la cuenca, especialmente en el área rural.

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

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



El procedimiento para evaluar las características de la amenaza por inundación, se indica en la Figura 65, en este caso se concentró en integrar información del catálogo de eventos, informes de zonificación nacional y regional.

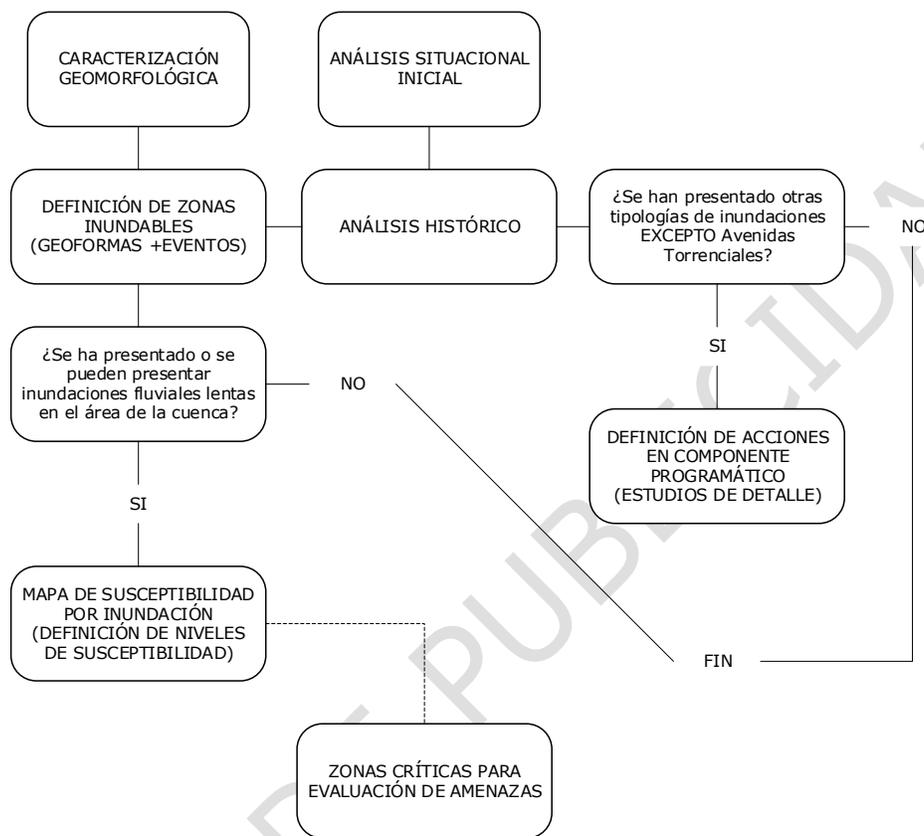


Figura 65. Diagrama de flujo para la evaluación de la susceptibilidad por inundaciones fluviales lentas.  
Fuente: Recuperado de (Fondo Adaptación, 2014).

### 7.5.2.1 Información básica e insumos utilizados

En la Tabla 27, se presenta una lista de la información utilizada en la caracterización de las variables del modelo de susceptibilidad y amenaza por inundación en la cuenca Río Sucio Alto.

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

Tabla 27. Información usada en la modelación de susceptibilidad y amenaza por inundación.

COMPONENTE	INSUMOS	ESCALA	FORMATO	FUENTE
General	Cartografía base	1:25.000	GeoDataBase	IGAC
Modelo digital de elevación (DEM)	DEM de la cuenca	Píxeles de 12,5*12,5 metros	En dato continuo	ALOS PALSAR
"Amenazas Costeras"	NA	pdf		Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM
Puntos SIMMA	NA		xlsx	SGC, 2014
Inventario	Georeferenciación eventos de inestabilidad	Detalle	GeoDataBase	Propia
Geología	Mapa de la Cuenca Río Sucio Alto	1:25.000	GeoDataBase	Propia
Geomorfología	Mapa de la Cuenca Río Sucio Alto (Geomorfología_SGC) Estudio evolutivo del medio fluvial mediante análisis multitemporal de imágenes de sensores remotos y fotografías aéreas del área.	1:25.000	GeoDataBase	Propia
Cobertura y usos del suelo	Mapa de la Cuenca Río Sucio Alto	1:25.000	GeoDataBase	Propia
Amenaza	Detonante sismo	1:25.000	GeoDataBase	Propia
Amenaza inundación por Detonante lluvia	Mapa de Amenaza	1:100.000	Shapefile	IDEAM
	Datos Pluviométricos		Shapefile	SGC

Fuente: (Fondo Adaptación, 2014)

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

### 7.5.2.2 Descripción metodológica para obtener susceptibilidad a inundaciones

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

- Imágenes satelitales.

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

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

### 7.5.2.3 Descripción de variables de susceptibilidad a inundaciones

Las variables que se tuvieron en cuenta para definir la susceptibilidad a inundaciones en el área de la cuenca hidrográfica del río Sucio Alto fueron la localización de inundaciones (LIN) y los factores condicionantes (Subunidades Geomorfológicas y Unidades de Terreno) como se ilustra en la Figura 66.

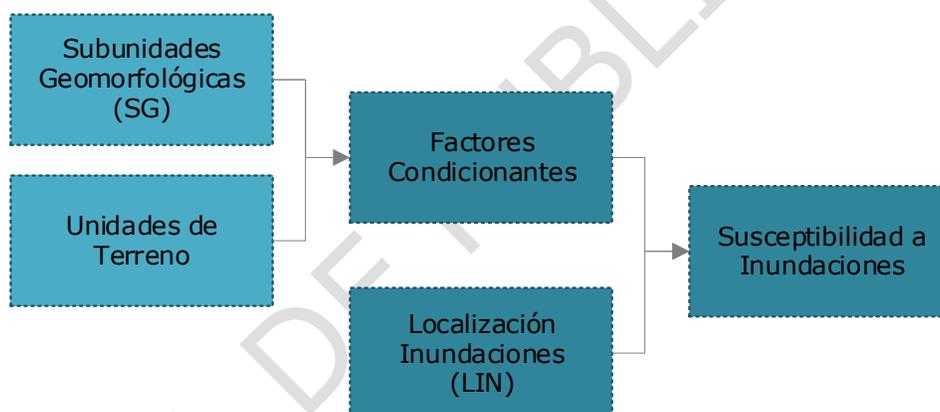


Figura 66. Variables que determinan a la zonificación de la susceptibilidad a la amenaza por inundaciones

- **Localización de inundaciones (LIN)**

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

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

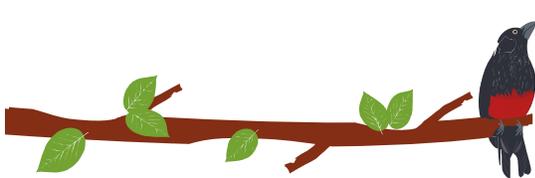
En general, para la cuenca hidrográfica del río Sucio Alto, la mayor incidencia por inundaciones está estrechamente relacionada a las principales corrientes hídricas como lo son el río Urama, Verde, Uramita, Cañasgordas y La Herradura.

• **Subunidades geomorfológicas (UG)**

Corresponde a geformas generadas a lo largo de un sistema fluvial como resultado de los procesos erosivos y de acumulación que varían en función de su pendiente, caudal y carga de sedimentos. Cada subunidad se identifica según el material del depósito, morfogénesis, pendientes, contrastes morfológicos (rugosidad, curvatura, etc.) y cronología (Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2012); siendo esta última característica la que permite determinar las áreas susceptibles a inundarse según la temporalidad de los procesos (activos, intermitentes o antiguos). Este parámetro fue analizado con base en las unidades geomorfológicas según Carvajal definidas para el área de la cuenca hidrográfica (Figura 67 y Tabla 28).

Tabla 28. Susceptibilidad por subunidades geomorfológicas a inundaciones

ID_UN_GEOM	Región	Unidad	Calif
Ac	Ambiente Antropogénico	Canteras	MEDIA
Ap	Ambiente Antropogénico	Áreas Pobladas	ALTA
Ap	Ambiente Antropogénico	Áreas Pobladas	BAJA
Ap	Ambiente Antropogénico	Áreas Pobladas	MEDIA
Dco	Ambiente Denudacional	Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión	BAJA
Dct	Ambiente Denudacional	Cono de talus	BAJA
Deem	Ambiente Denudacional	Escarpe de erosión menor	BAJA
Deeme	Ambiente Denudacional	Escarpe de erosión mayor	BAJA
Dlde	Ambiente Denudacional	Lomo denudado	BAJA
Dldeal	Ambiente Denudacional	Lomo denudado alto de longitud larga	BAJA
Dldebl	Ambiente Denudacional	Lomo denudado bajo de longitud larga	BAJA
Dldi	Ambiente Denudacional	Lomeríos de disectados	BAJA
Dle	Ambiente Denudacional	Ladera erosiva	BAJA
Dlfd	Ambiente Denudacional	Cono o lóbulo de flujo de lodo y tierra	BAJA
Dlfl	Ambiente Denudacional	Cono o lóbulo de flujo de lodo y tierra	MEDIA
Dlo	Ambiente Denudacional	Ladera ondulada	BAJA
Dlpd	Ambiente Denudacional	Lomeríos poco disectados	BAJA
Dpa	Ambiente Denudacional	Pedimentos de acumulación	BAJA
Dpe	Ambiente Denudacional	Pedimentos de erosión	BAJA
Dsd	Ambiente Denudacional	Sierra denudada	BAJA
Fca	Ambiente Fluvial	Cauce aluvial	ALTA
Fca	Ambiente Fluvial	Cauce aluvial	BAJA
Fta	Ambiente Fluvial	Terraza de acumulación	ALTA
Fta	Ambiente Fluvial	Terraza de acumulación	BAJA
Fta	Ambiente Fluvial	Terraza de acumulación	MEDIA
Ftae	Ambiente Fluvial	Escarpe de terraza de acumulación	MEDIA
Ftan	Ambiente Fluvial	Terraza de acumulación antigua	MEDIA
Ftas	Ambiente Fluvial	Terrazas de acumulación subreciente	MEDIA
R	Ambiente Estructural	Afloramiento rocoso	BAJA



PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO  
FASE DE FORMULACIÓN

Sefc	Ambiente Estructural	Espolón faceteado	BAJA
Sefcml	Ambiente Estructural	Espolón faceteado moderado de longitud larga	BAJA
Sefesml	Ambiente Estructural	Espolón festoneado morado de longitud larga	BAJA
Sesal	Ambiente Estructural	Espolón de longitud larga	BAJA
Sesbl	Ambiente Estructural	Espolón bajo de longitud larga	BAJA
Sesbm	Ambiente Estructural	Espolón bajo de longitud media	BAJA
Sesml	Ambiente Estructural	Espolón moderado de longitud larga	BAJA
Sft	Ambiente Estructural	Faceta triangular	BAJA
Slcp	Ambiente Estructural	Ladera contrapendiente	BAJA
Sle	Ambiente Estructural	Ladera estructural	BAJA
Slfe	Ambiente Estructural	Lomo de Falla	BAJA
Ss	Ambiente Estructural	Sierra	BAJA
Ssh	Ambiente Estructural	Sierra homoclinal	BAJA
Sshlc	Ambiente Estructural	Ladera contrapendiente de sierra homoclinal	BAJA
Sshle	Ambiente Estructural	Ladera estructural de sierra homoclinal	BAJA
Sslp	Ambiente Estructural	Sierra y lomos de presión	BAJA
Sss	Ambiente Estructural	Sierra sinclinal	BAJA
Ssslc	<Null>	Ladera de contrapendiente sierra sinclinal	BAJA

Fuente: Elaboración propia a partir del mapa de geomorfología

ETAPA DE PUBLICIDAD





de inundación; estas unidades al pertenecer a la dinámica de las corrientes hídricas y estar constituidas por materiales finos arcillosos aumentan su cota de nivel durante las temporadas de lluvias y afectan planos anegadizos constituyéndolos como depósitos fluvio-lacustres (limosos y arcillosos) de encharcamiento temporal, que de manera general bordean las cuencas de decantación generados por el desbordamiento y dinámica natural del río generalmente son susceptibles a inundarse.

- **Unidades de terreno (UT)**

Corresponde a geoformas particulares del terreno consideradas dentro de un nivel del sistema jerárquico, relacionada con las formas de relieve: ambientes morfogenéticos y sistemas de terreno (Zinck, 2012). Cada geoforma se clasifica según su génesis, morfología y geometría del relieve. Su análisis permite identificar geoformas asociada a procesos de inundación y subsiguientemente determinar zonas susceptibles a este tipo de fenómeno amenazante. Este parámetro fue analizado con base en las unidades de terreno según Zinck (1989), definidas para el área de la cuenca hidrográfica (ver Figura 68 y Tabla 29).

Tabla 29. Susceptibilidad por unidades de terreno a inundaciones

ID_UN_GEOM	Paisaje	Tipo de Relieve	Forma de Terreno	Calif
MQO	MONTAÑA	Abanicos Terraza	Plano ondulado	MEDIA
MQT	MONTAÑA	Abanicos Terraza	Talud	MEDIA
MDP	MONTAÑA	Cono de Deyección	Cuerpo	BAJA
MSIS	MONTAÑA	Espinazos	Frente	BAJA
MSsS	MONTAÑA	Espinazos	Frente	BAJA
MSIR	MONTAÑA	Espinazos	Revés	BAJA
MSsR	MONTAÑA	Espinazos	Revés	BAJA
MFfC	MONTAÑA	Filas y Vigas	Cima	BAJA
MFiC	MONTAÑA	Filas y Vigas	Cima	BAJA
MFfL	MONTAÑA	Filas y Vigas	Ladera	BAJA
MFiL	MONTAÑA	Filas y Vigas	Ladera	BAJA
MFvL	MONTAÑA	Filas y Vigas	Ladera	BAJA
MJP	MONTAÑA	Manto Coluvial	Cuerpo	BAJA
MVP1	MONTAÑA	Valle Estrecho	Plano de terraza 1	MEDIA
MVP2	MONTAÑA	Valle Estrecho	Plano de terraza 2	MEDIA
MVV	MONTAÑA	Valle Estrecho	Vega	ALTA
MZV	MONTAÑA	Vallecito	Vega	MEDIA

Fuente: Elaboración propia a partir del mapa de geomorfología

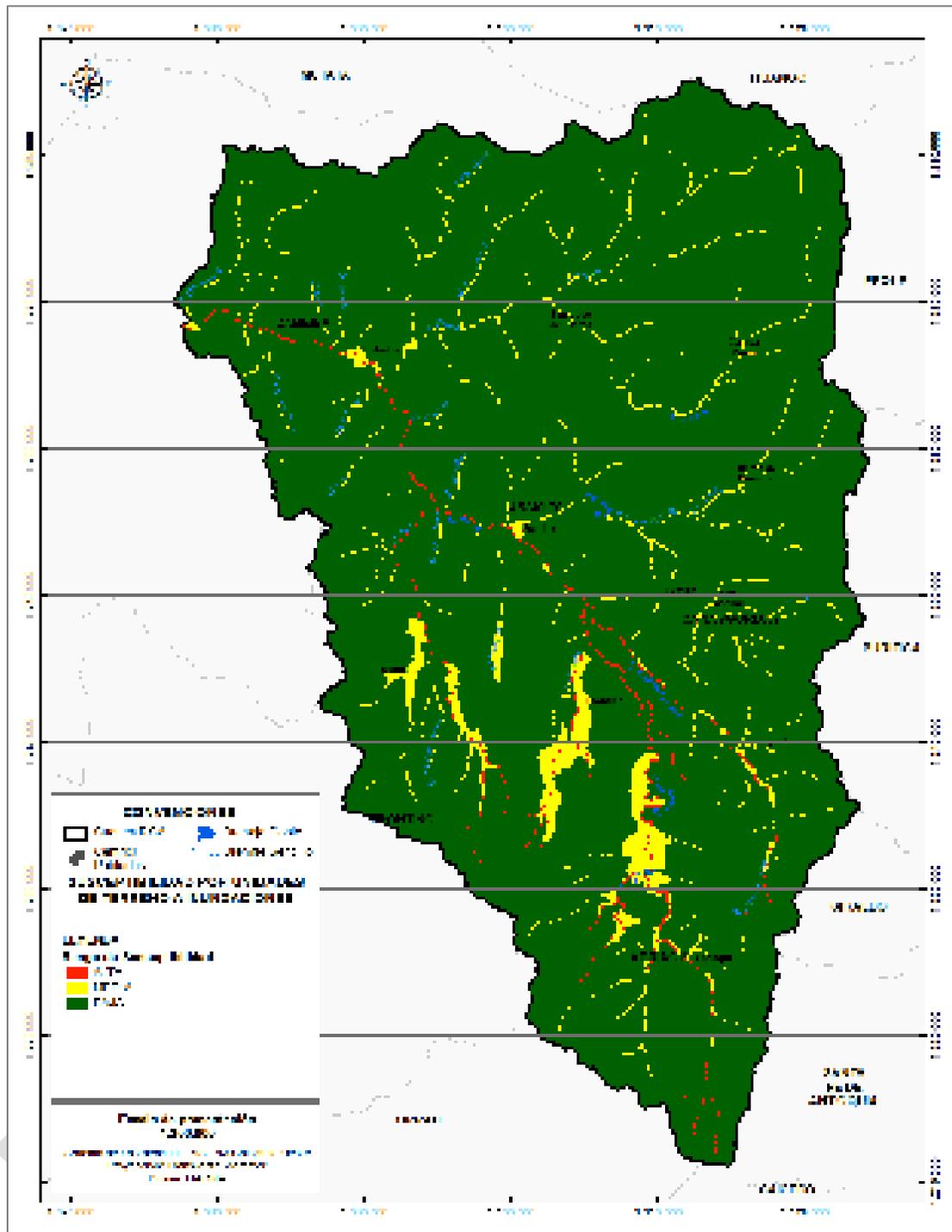
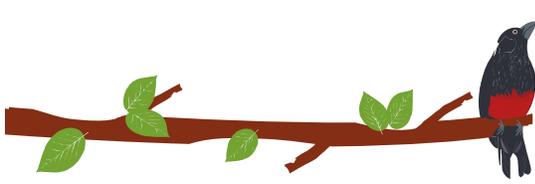
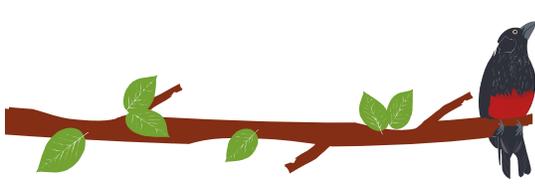


Figura 68. Susceptibilidad por unidades de terreno a inundaciones.  
Fuente: Elaboración propia

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



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

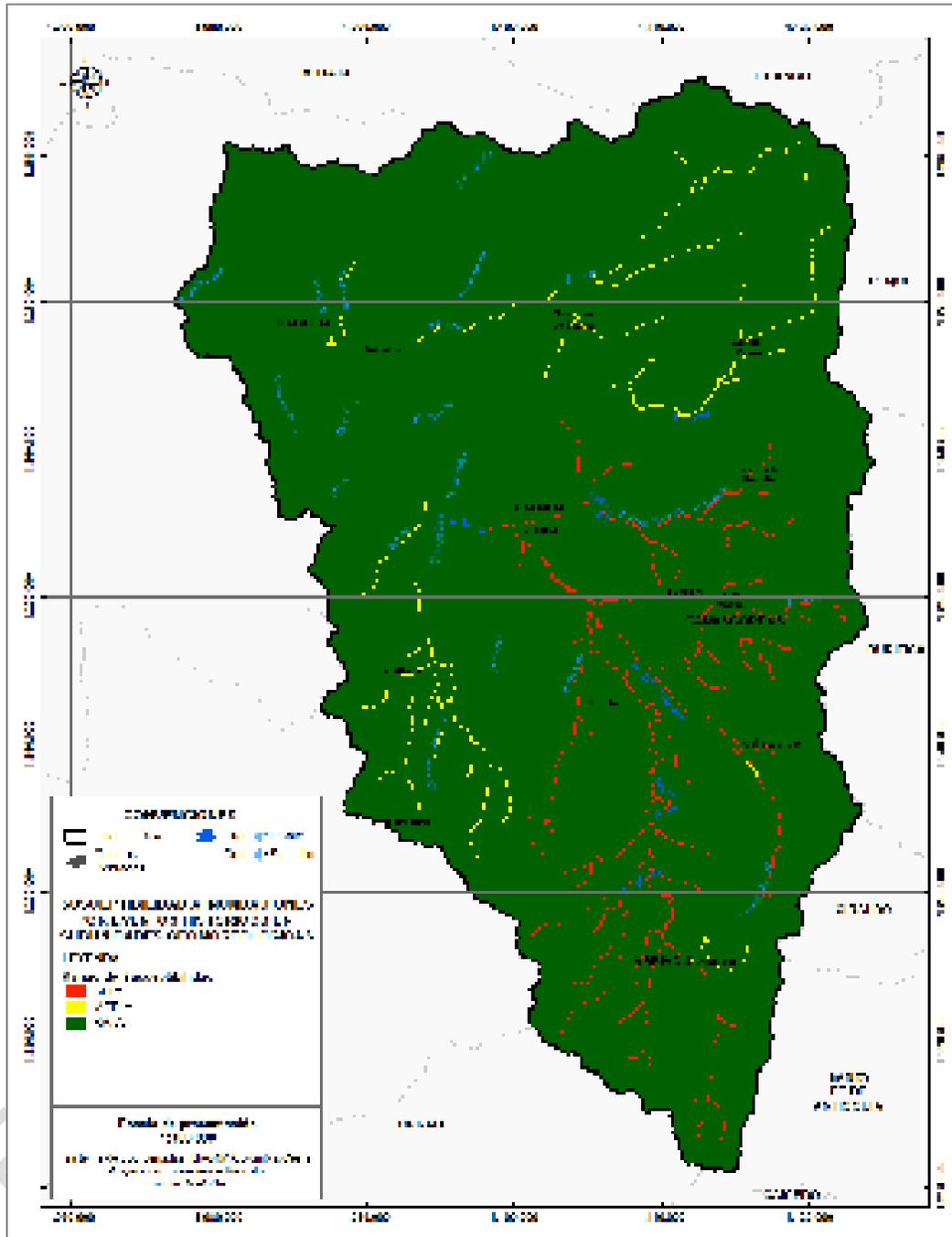


Figura 69. Susceptibilidad a inundaciones por eventos históricos en subunidades geomorfológicas



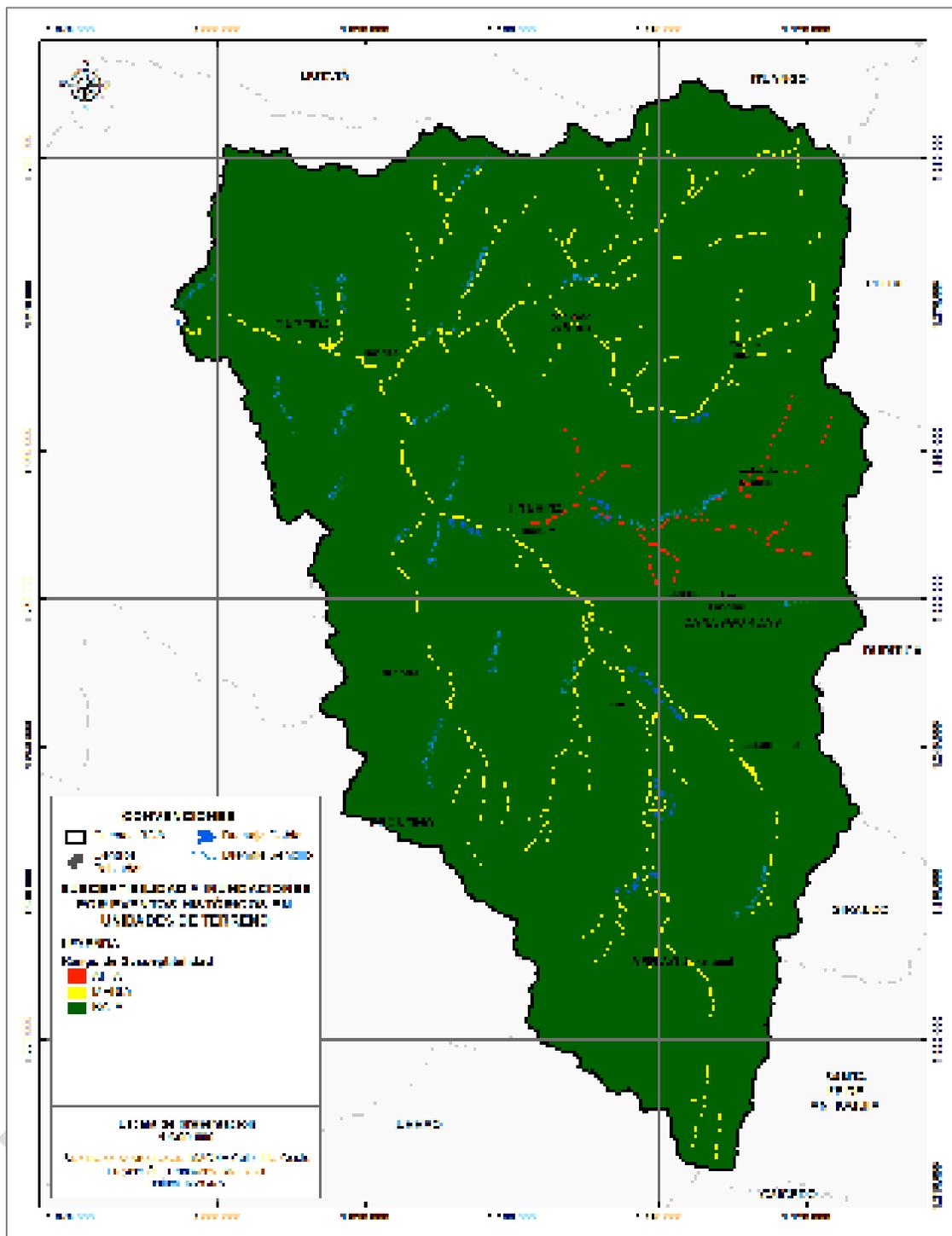
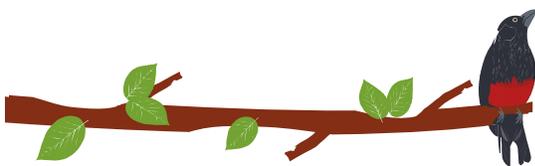


Figura 70. Susceptibilidad a inundaciones por eventos históricos en unidades de terreno. Fuente: Elaboración propia.

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

Para el análisis de la caracterización de las áreas susceptibles a inundación en la cuenca hidrográfica río Sucio Alto el modelo de susceptibilidad se obtuvo por medio de la



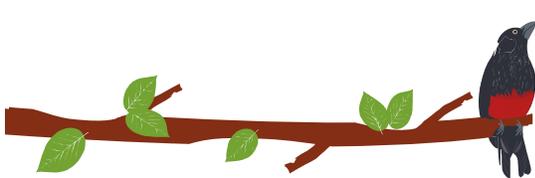
integración de la información referente a la localización de inundaciones (LIN) y los factores condicionantes (Subunidades Geomorfológicas y Unidades de Terreno) de las geoformas y tipos de relieve presentes en el área. En general la cuenca hidrográfica está caracterizada por presentar las mayores elevaciones hacia las áreas externas de la cuenca, tiende a disminuir hacia el norte en el cañon del río Sucio o mejor conocido como el cañon de la Llorona. Los ambientes fluvio-aluvial se presentan escasos asociados a los valles de los principales ríos de la cuenca, que han permitido (entre otros) el desarrollo de paisajes morfogenéticos de planicie aluvial y valle, donde las pendientes bajas favorecen la ocurrencia de eventos de inundación.

Como resultado de lo anterior se obtiene el mapa de susceptibilidad a inundaciones (ver Figura 71); en donde aproximadamente 1.421 hectáreas (es decir el 0,65% del área total) se catalogan con una susceptibilidad alta a inundaciones. Dentro de estas áreas se encuentran formas del terreno del paisaje morfogenético de valles aluviales, planos de inundación, terrazas bajas, albardón, trezado, entre otras, que cuentan con actividad hídrica reciente, las caracteriza como unidades con una alta susceptibilidad a fenómenos de inundación.

Por otro lado, aproximadamente 5.401 hectáreas (es decir el 2,5% del área total) se catalogan con una susceptibilidad media a inundaciones asociados a terrazas medias, meandros y planicies de inundaciones con poca actividad fluvial, o con un desarrollo de terraceo significativo que se encuentran a una posición distal al cuerpo de agua predominante.

ETAPA DE PUBLICIDAD





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

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

- Análisis de susceptibilidad por geomorfología e histórico de eventos solicitado por los alcances técnicos del POMCA.

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

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

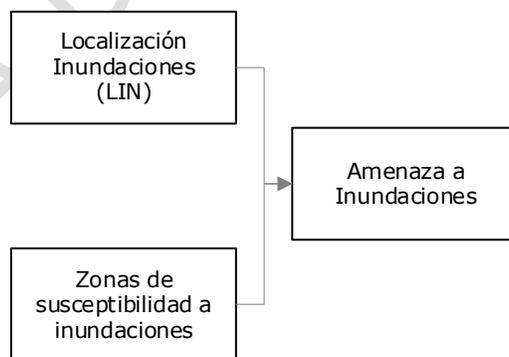
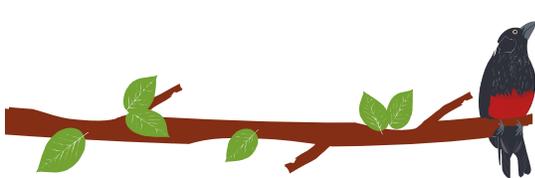


Figura 72. Variables para la modelación de la amenaza por inundaciones. Fuente: Elaboración propia.

#### • Inundaciones históricas

La consolidación de esta información se realiza a partir de la revisión de fuentes secundarias, en las que se describe su ubicación por asociación a proximidad de puntos





o zonas de referencia. Permite identificar zonas de amenaza por inundación basada en la frecuencia de ocurrencia, que al integrarse con las zonas de susceptibilidad permite definir la zonificación de la amenaza.

Este análisis arroja que, en la Cuenca Río Sucio Alto, se han presentado al menos 36 eventos asociados a los fenómenos de inundación, durante el período comprendido entre los años 1942 a 2018, los cuales han afectado a más de 9.985 personas y 435 viviendas, se teniendo un total de 36 eventos de inundaciones espacializados, los cuales se utilizaron para la calificación de la amenaza por inundaciones.

Este parámetro fue analizado con ayuda de la base de datos recolectada en campo. La información se maneja en formato vector tipo punto y se categoriza de acuerdo a su recurrencia (alta, menor a 15 años; media, entre 15 y 50 años, y baja, mayor a 50 años) como se observa en la Tabla 30.

Tabla 30. Categorización de la recurrencia de los eventos de inundación

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

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

- **Zonas de susceptibilidad a inundaciones**

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

### 7.5.2.7 Zonificación de la amenaza a inundaciones

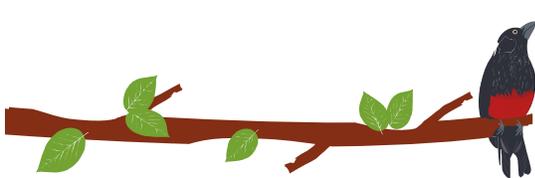
En virtud de la temporalidad de los eventos reportados y georreferenciados por inundaciones y por las condiciones de la cuenca de relieve montañoso no presenta áreas importantes de amenaza alta por inundaciones, estas se concentran en los valles aluviales del río Sucio (ver Figura 73)

En general, las zonas de amenaza media abarcan 9.293 ha equivalente al 4,3% de la territorio en donde la recurrencia de los eventos es media. Adicional, zonas donde no hay registros históricos de inundaciones, donde el cuerpo hídrico asociado tiene una menor incidencia o donde hay un aumento en el índice de relieve, son catalogadas como zonas de amenaza baja, áreas que están principalmente relacionadas con crestones y lomas del paisaje morfogenético de montaña y lomerío.

La zonificación resultante permite identificar en escala regional las áreas de posible afectación por inundaciones en el caso de crecientes en temporadas de altas precipitaciones.

En términos generales de proporciones, la mayoría de la extensión de la cuenca (95% correspondiente a 206.318 ha) presenta amenaza baja por inundaciones. No obstante, las áreas de amenaza media (4,3% o 9.293 ha) y alta (1% o 1.863 ha), aun cuando no son proporcionalmente altas, deberá notarse que se encuentran en los valles aluviales



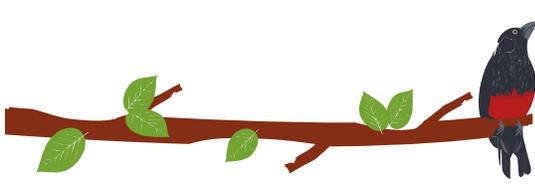


del río sucio contiguos a las áreas urbanas y centros poblados y la parte baja de la cuenca, lo que representaría algunas condiciones de riesgo que se consideran más adelante.

Los rangos de la amenaza por inundación se derivan del análisis probabilístico de los eventos históricos validados, donde la frecuencia de este tipo de eventos esta relacionado con los períodos de lluvias, así como del análisis geomorfológico a través de las geoformas asociadas a procesos de inundación. Las geoformas asociadas a procesos activos evidenciados con los depósitos sueltos, procesos de erosión- sedimentación, además de evidencias de inundaciones recientes o actividad fluvial reiterada identificadas en el análisis multitemporal y de eventos históricos con recurrencias menores a 15 años (amenaza alta). Las geoformas asociadas a procesos erosivos o sedimentarios suavizados (de baja pendiente) o flujos secundarios identificables en campo, además de eventos históricos con recurrencia de entre 15 y 100 años, son indicadores de áreas susceptibles de inundación por eventos de moderada frecuencia de presentación (amenaza media) (Figura 73).

Zonas susceptibles a inundaciones: Los valles aluviales del río La Herradura, Cañasgordas, Frontino y Sucio.

ETAPA DE PUBLICIDAD



PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO  
FASE DE FORMULACIÓN

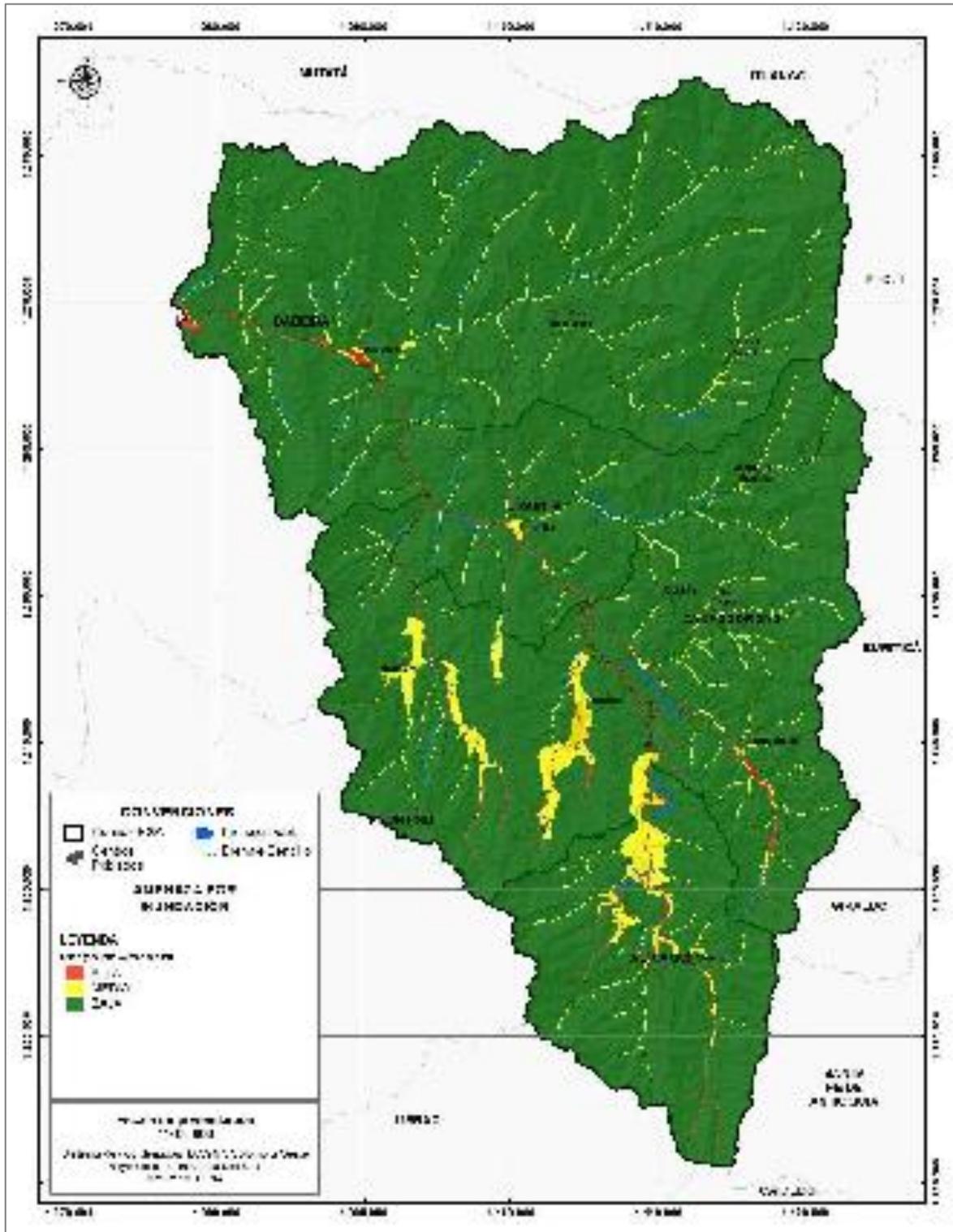
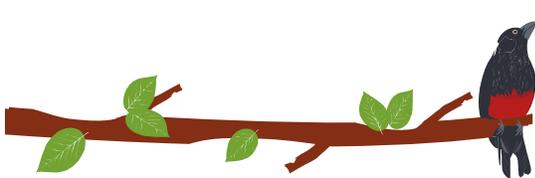


Figura 73. Amenaza por inundación en la cuenca del Río Sucio Alto



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

El procedimiento para evaluar las características de la amenaza por avenidas torrenciales, se indica en la síntesis metodológica (Figura 74), en este caso se concentró en integrar información del catálogo de eventos, características morfológicas y morfométricas de la cuenca Río Sucio Alto.

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

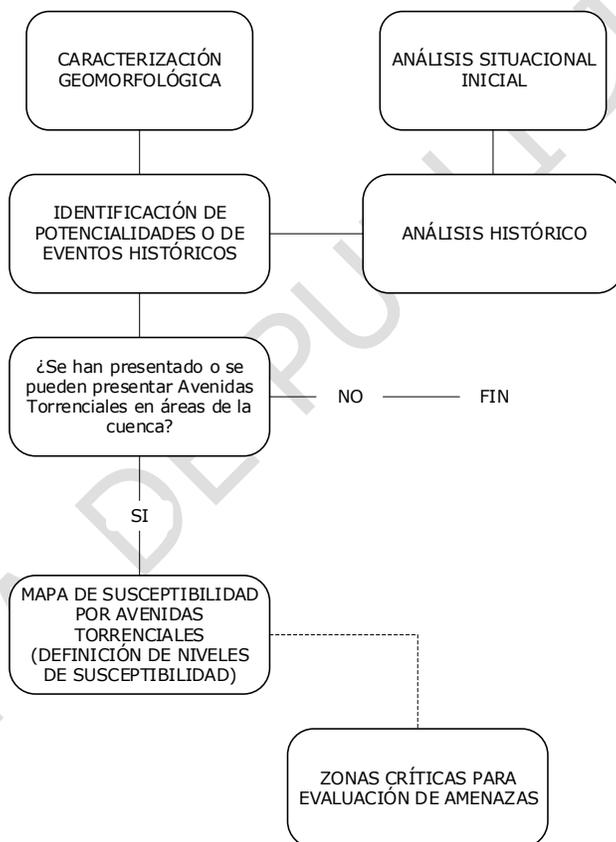


Figura 74. Diagrama de flujo para la evaluación de la susceptibilidad por avenidas torrenciales.

Fuente: Recuperado de Fondo Adaptación (2014).

#### 7.5.1.1 Información básica e insumos utilizados

A continuación, en la Tabla 31, se presenta una lista de la información que se usó para caracterizar las variables del modelo de susceptibilidad y amenaza por avenidas torrenciales en la cuenca Río Sucio Alto.

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

Tabla 31. Información utilizada para la modelación de susceptibilidad y amenaza por avenidas torrenciales en la Cuenca Río Sucio Alto.

COMPONENTE	INSUMOS	ESCALA	FORMATO	FUENTE
General	Cartografía base	1:25000	GeoDataBase	IGAC
Modelo digital de elevación (DEM)	DEM de la cuenca	Píxeles de 12,5*12,5 metros	En dato continuo	ALOS PALSAR
"Amenazas Costeras"	NA	pdf		Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM
Puntos SIMMA	NA		xlsx	SGC, 2014
Inventario	Georeferenciación eventos de inestabilidad	Detalle	GeoDataBase	Propia
Geología	Mapa de la Cuenca Río Sucio Alto	1:25000	GeoDataBase	Propia
Geomorfología	Mapa de la Cuenca Río Sucio Alto (Geomorfología_SGC). Estudio evolutivo del medio fluvial mediante análisis multitemporal de imágenes de sensores remotos y fotografías aéreas del área.	1:25000	GeoDataBase	Propia
Cobertura y usos del suelo	Mapa de la Cuenca Río Sucio Alto	1:25000	GeoDataBase	Propia
Amenaza	Detonante sismo	1:25000	GeoDataBase	Propia
Detonante lluvia	Datos Pluviométricos		Shapefile	SGC

Fuente: Fondo Adaptación (2014).

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

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

Otra variable evaluada fue el Índice de Variabilidad a Eventos Torrenciales (IVET), el cual se calculó para las subcuencas y representa el grado de susceptibilidad de una

cuenca a presentar eventos de carácter torrencial. Este índice varía cualitativamente desde bajo a muy alto. Particularmente, el IVET depende de dos variables: El Índice de Variabilidad (IV) y el índice morfométrico descritos a continuación:

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

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

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

### 7.5.1.3 Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales – IVET

De acuerdo con los lineamiento propuestos por el (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014), a continuación se presenta el cálculo del IVET a nivel de afluentes principales de las subcuencas jerarquizadas.

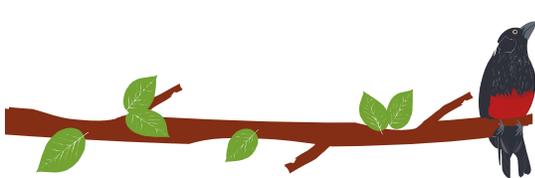
Una forma de expresar el potencial de avenidas torrenciales de una cuenca es mediante el índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales. En éste, la vulnerabilidad se expresa en relación con los *índices morfométricos de torrencialidad e Índice de variabilidad*. Este índice permite detectar la mayor o menor tendencia para que en la cuenca se presenten procesos torrenciales, es decir, el grado de vulnerabilidad a este tipo de procesos. Una condición muy alta para el índice corresponde a áreas que se caracterizan por ser potencialmente inestables, que responden rápida y violentamente a lluvias de alta intensidad y corta duración, generando avenidas torrenciales de forma frecuente.

Los insumos necesarios para la conceptualización del IVET son parámetros morfométricos y caudales característicos de las subcuencas, información que se describe en detalle en capítulos posteriores, sin embargo, para este acápite se citan de manera puntual para el análisis matricial del IVET. El proceso metodológico que según (IDEAM, 2013a) se debe seguir es el siguiente:

#### 7.5.1.3.1 Índice morfométrico de torrencialidad.

Relación entre los parámetros morfométricos como el coeficiente de compacidad o de forma, la pendiente media de la cuenca y la densidad de drenaje, los cuales son indicativos de la forma como se concentra la escorrentía, la oportunidad de infiltración, la velocidad y capacidad de arrastre de sedimentos, la eficiencia o rapidez de la escorrentía y de los sedimentos para salir de la cuenca luego de un evento de precipitación y con ello inferir cuál podría ser el nivel de susceptibilidad a procesos torrenciales, en la Tabla 32 se puede consultar las relaciones propuestas para categorizar este índice.

Tabla 32. Relaciones para categorizar el índice morfométrico



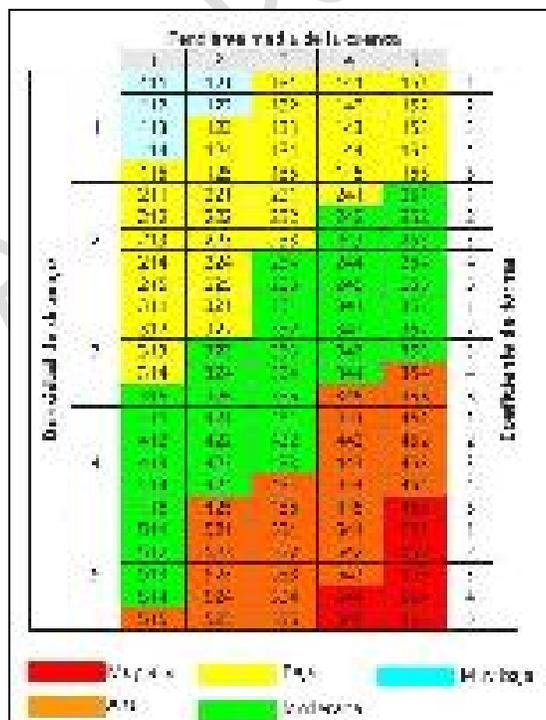
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO  
FASE DE FORMULACIÓN

Índice morfométrico	Escala	Áreas de la cuenca de drenaje (km <sup>2</sup> )		Categorías				
		1	2	3	4	5		
Índice de pendiente (m/100m)	1:00000	<10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	>60
	1:25000	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	>70
	1:50000	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	>70
Área de drenaje (km <sup>2</sup> )	1:50000	<10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	>60
	1:100000	<10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	>60
Coeficiente de estabilidad								

Fuente: (IDEAM, 2013a)

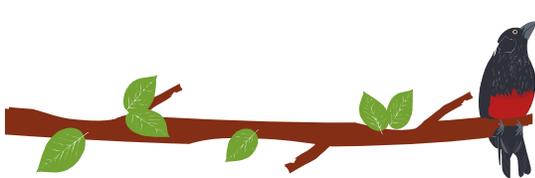
En la Tabla 33 se presentan las categorías del índice morfométrico que van desde muy alta hasta muy baja, en función de los parámetros pendiente media de la cuenca, densidad de drenaje y coeficiente de forma. Una condición muy alta para el índice morfométrico corresponde a áreas que se caracterizan por ser inestables y potencialmente inestables, que responden rápida y violentamente a lluvias de alta intensidad y corta duración, generando avenidas torrenciales de forma frecuente.

Tabla 33. Relaciones entre variables morfométricas para la categorización del índice



Fuente: (IDEAM, 2013a)





La categoría alta muestra áreas con una respuesta hidrológica rápida con una cobertura de suelo que permite procesos torrenciales que se presentan frecuentemente en periodos lluviosos. La condición media, en cambio, presenta una respuesta a procesos hidrológicos de moderada a rápida y los eventos se presentan generalmente en las épocas de las mayores precipitaciones al año.

En la Tabla 34 se puede consultar los resultados del índice morfométrico para las cuencas jerarquizadas.

Tabla 34 . Cálculo del índice morfométrico para las subcuencas jerarquizadas

Código	Subcuenca	Densidad de drenaje [Km/Km <sup>2</sup> ]	Pendiente media de la cuenca (%)	Coeficiente Compacidad [Kc]	Clases morfométricas			Índice morfométrico
					Densidad	Pendiente	[Kc]	
1111-01-0100	Rio Choromando	1.82	56.88	2.08	3	4	1	Moderada
1111-01-0200	Directos Rio Sucio - Q. Beiba Viejo - Q. El Pital	1.97	53.24	1.86	3	4	1	Moderada
1111-01-0300	Rio Verde Bajo	1.73	52.46	1.80	2	4	1	Baja
1111-01-0400	Rio Verde Alto	1.66	49.32	2.07	2	3	1	Baja
1111-01-0500	Rio Musinga	1.62	50.03	1.91	2	3	1	Baja
1111-01-0600	Rio Frontino	1.87	38.09	1.92	3	3	1	Moderada
1111-01-0700	Rio La Herradura	1.67	50.74	2.14	2	3	1	Baja
1111-01-0800	Rio Canas Gordas	1.63	54.74	2.03	2	4	1	Baja
1111-01-0900	Rio Chuza	1.51	58.17	1.77	2	4	1	Baja
1111-01-1000	Rio Santo Domingo	1.57	58.48	1.75	2	4	1	Baja
1111-01-1100	Q. El Indio	1.54	62.00	1.82	2	4	1	Baja
1111-01-1200	Rio Urama Alto	1.49	59.27	1.96	2	4	1	Baja
1111-01-1300	Rio Paramo	1.48	61.07	1.79	2	4	1	Baja
1111-01-1400	Q. Playones	1.53	61.56	1.99	2	4	1	Baja
1111-01-1500	Q. Chimiado	1.43	59.64	1.82	2	4	1	Baja
1111-01-1600	Q. Antado	1.87	50.24	2.06	3	3	1	Moderada
1111-01-1700	Rio Quiparado	1.81	47.02	2.16	3	3	1	Moderada

1111-01-1800	Directos Rio Sucio - Q. Ambalema	1.52	55.90	1.68	2	4	1	Baja
1111-01-1900	Q. Noboga	1.59	36.26	1.90	2	3	1	Baja
1111-01-2000	Rio Sucio	1.56	51.56	1.81	2	4	1	Baja
1111-01-2100	Rio Uramita	1.55	55.38	2.22	2	4	1	Baja
1111-01-2200	Q. La Esperanza	1.45	57.64	1.73	2	4	1	Baja
1111-01-2300	Q. Encalichada	1.49	56.29	1.81	2	4	1	Baja
1111-01-2400	Directos Rio Sucio - Q. Murrabal - Q. Caliche	1.80	55.71	1.76	2	4	1	Baja
1111-01-2500	Rio Urama Bajo	1.55	61.53	2.09	2	4	1	Baja
1111-01-2600	Directos Rio Sucio - Q. Carra	2.15	54.74	1.83	4	4	1	Alta

Fuente: Elaboración propia

Los resultados indican que en general la cuenca presenta una baja susceptibilidad, esto es, áreas que se caracterizan por ser estables y, que responden de forma moderada a lluvias de alta intensidad y corta duración, generando avenidas torrenciales de forma menos frecuente. Sin embargo, algunas subcuencas como río Frontino en la parte alta y la Q. Antado, río Quiparado, río Choromando y los afluentes directos a río Sucio entre Q. Beiba Viejo y Q. El Pital presentan una moderada susceptibilidad a eventos torrenciales desde el punto de vista morfométrico. Los afluentes al río Sucio - Q. Carra presenta alta susceptibilidad a este tipo de eventos. Sin embargo, vale la pena recalcar que esta subunidad no representa un área de drenaje como tal, sino una ladera en ese tramo del río Sucio, como se puede observar en la Figura 75.

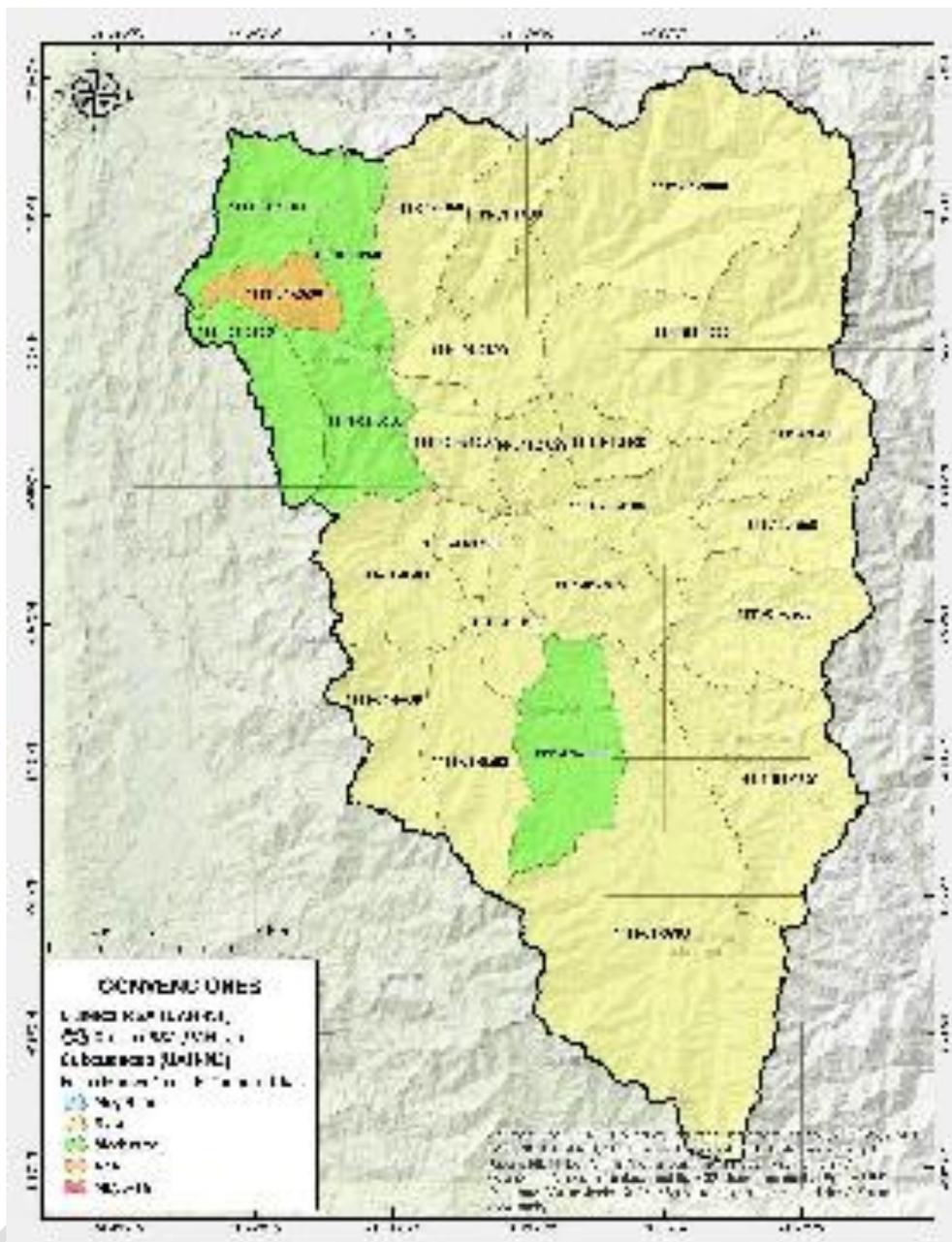
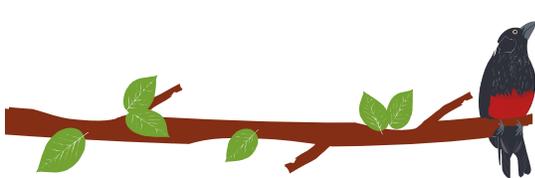


Figura 75. Distribución espacial del Índice Morfométrico de Torrencialidad en las subcuencas del RSA.

#### 7.5.1.3.2 Índice de variabilidad

Este índice se obtiene de la curva de duración de caudales (CDC); muestra como es la variabilidad de los caudales en una determinada cuenca. Una cuenca torrencial es aquella que presenta una mayor variabilidad, es decir, existen diferencias grandes entre los caudales mínimos y los valores máximos. Cuencas con variabilidades pequeñas muestran que los caudales tienden a mantenerse y los cauces por los que existe flujo, generalmente tienen la capacidad para transportar estos caudales. El comportamiento con variabilidad pequeña es típico de cauces de llanuras, los cuales generalmente no presentan procesos torrenciales.

Cuencas de área pequeña con pendientes altas, por lo general presentan caudales de creciente, alternado de caudales medios y bajos con magnitudes muy inferiores a las de los caudales máximos, que hacen que la CDC muestre una gran variabilidad, en la Tabla 35 se puede consultar el índice.

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

Ecuación 6. Índice de variabilidad

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

Dónde:

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

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

Tabla 35. Clasificación del índice de vulnerabilidad (IV)

Índice de variabilidad	Vulnerabilidad
<10	Muy Baja
10.1 - 37	Baja
37.1 - 47	Media
47.1 - 55	Alta
>55	Muy alta

Fuente: (IDEAM, 2013a)

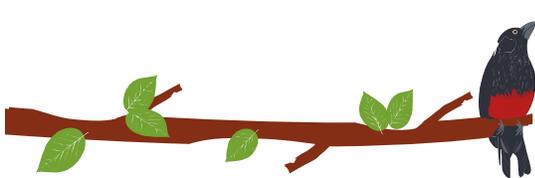
#### 7.5.1.3.3 Unidades geomorfológicas

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

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

- Subunidades Geomorfológicas (SG)

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

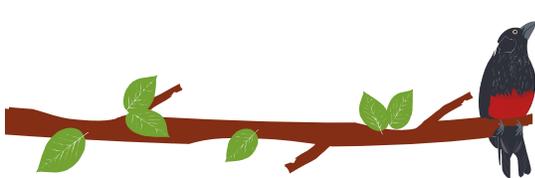


torrencial según la temporalidad de los procesos (activos, intermitentes o antiguos). Este parámetro fue analizado con base en las unidades geomorfológicas según Carvajal (ver Figura 76 y Tabla 36). La información se maneja en formato vector tipo polígono.

Tabla 36. Susceptibilidad de subunidades geomorfológicas a eventos torrenciales

ID_UN_GEOM	Región	Unidad	Calif
Ac	Ambiente Antropogénico	Canteras	BAJA
Ap	Ambiente Antropogénico	Áreas Pobladas	ALTA
Ap	Ambiente Antropogénico	Áreas Pobladas	BAJA
Ap	Ambiente Antropogénico	Áreas Pobladas	MEDIA
Dco	Ambiente Denudacional	Cono y lóbulo colovial y de soliflucción	BAJA
Dct	Ambiente Denudacional	Cono de talus	MEDIA
Deem	Ambiente Denudacional	Escarpe de erosión menor	BAJA
Deeme	Ambiente Denudacional	Escarpe de erosión mayor	BAJA
Dlde	Ambiente Denudacional	Lomo denudado	BAJA
Dldeal	Ambiente Denudacional	Lomo denudado alto de longitud larga	BAJA
Dldebl	Ambiente Denudacional	Lomo denudado bajo de longitud larga	BAJA
Dldi	Ambiente Denudacional	Lomeríos de disectados	BAJA
Dle	Ambiente Denudacional	Ladera erosiva	BAJA
Dlfd	Ambiente Denudacional	Cono o lóbulo de flujo de lodo y tierra	BAJA
Dlfl	Ambiente Denudacional	Cono o lóbulo de flujo de lodo y tierra	MEDIA
Dlo	Ambiente Denudacional	Ladera ondulada	BAJA
Dlpd	Ambiente Denudacional	Lomeríos poco disectados	BAJA
Dpa	Ambiente Denudacional	Pedimentos de acumulación	BAJA
Dpe	Ambiente Denudacional	Pedimentos de erosión	BAJA
Dsd	Ambiente Denudacional	Sierra denudada	BAJA
Fca	Ambiente Fluvial	Cauce aluvial	ALTA
Fca	Ambiente Fluvial	Cauce aluvial	BAJA
Fta	Ambiente Fluvial	Terraza de acumulación	ALTA
Fta	Ambiente Fluvial	Terraza de acumulación	BAJA
Ftae	Ambiente Fluvial	Escarpe de terraza de acumulación	MEDIA
Ftan	Ambiente Fluvial	Terraza de acumulación antigua	MEDIA
Ftas	Ambiente Fluvial	Terrazas de acumulación subreciente	MEDIA
R	Ambiente Estructural	Afloramiento rocoso	BAJA
Sefc	Ambiente Estructural	Espolón facetado	BAJA
Sefcml	Ambiente Estructural	Espolón facetado moderado de longitud larga	BAJA
Sefesml	Ambiente Estructural	Espolón festoneado morado de longitud larga	BAJA
Sesal	Ambiente Estructural	Espolón de longitud larga	BAJA
Sesbl	Ambiente Estructural	Espolón bajo de longitud larga	BAJA
Sesbm	Ambiente Estructural	Espolón bajo de longitud media	BAJA
Sesml	Ambiente Estructural	Espolón moderado de longitud larga	BAJA
Sft	Ambiente Estructural	Faceta triangular	BAJA





PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO  
FASE DE FORMULACIÓN

Slcp	Ambiente Estructural	Ladera contrapendiente	BAJA
Sle	Ambiente Estructural	Ladera estructural	BAJA
Slfe	Ambiente Estructural	Lomo de Falla	BAJA
Ss	Ambiente Estructural	Sierra	BAJA
Ssh	Ambiente Estructural	Sierra homoclinal	BAJA
Sshlc	Ambiente Estructural	Ladera contrapendiente de sierra homoclinal	BAJA
Sshle	Ambiente Estructural	Ladera estructural de sierra homoclinal	BAJA
Sslp	Ambiente Estructural	Sierra y lomos de presión	BAJA
Sss	Ambiente Estructural	Sierra sinclinal	BAJA
Ssslc	<Null>	Ladera de contrapendiente sierra sinclinal	BAJA

Fuente: Elaboración propia

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

De acuerdo con la salida cartográfica geomorfológica basada en el método de Carvajal, se consideró las formas de terreno correspondiente a las unidades de tipo fluvial asociadas a eventos torrenciales como son: Dique natural o albardón (Fa), Abanicos fluviotorrenciales de piedemonte (Faa), Abanicos terraza (Fat), Barra Longitudinal (Fbl), Cauce activo actual (Fca), Plano aluvial confinado (Fpac), Plano o llanura de inundación (Fpi), Terraza de acumulación (Fta), Terraza de acumulación nivel 1 (Fta1), Terraza de acumulación nivel 2 (Fta2), Terraza de acumulación nivel 3 (Fta3), Terraza de acumulación subreciente (Ftas), y Terraza de acumulación antigua (Ftan), unidades que corresponde al área de cambio brusco de pendiente del cauce donde se surte la descarga principal de la avenida torrencial.



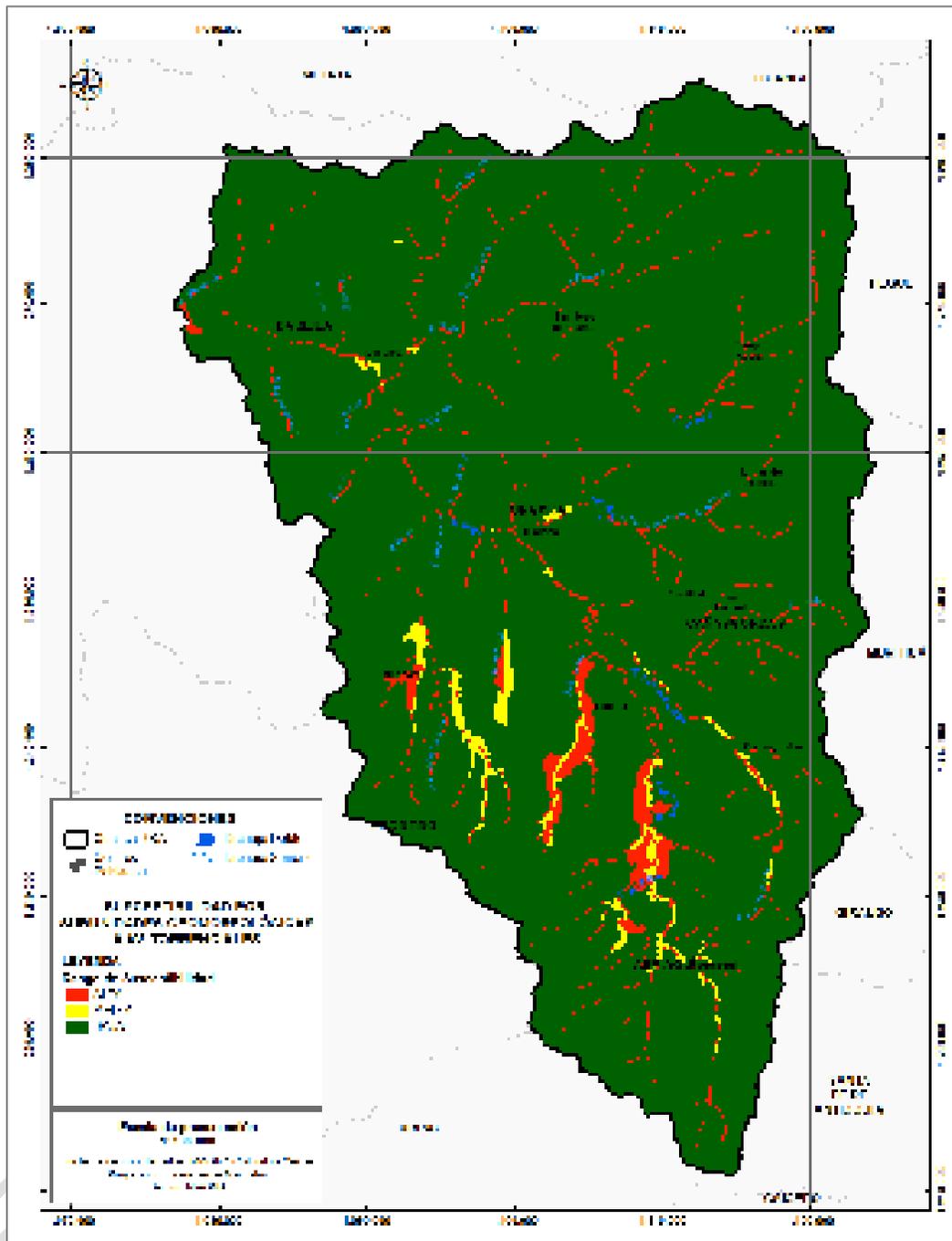
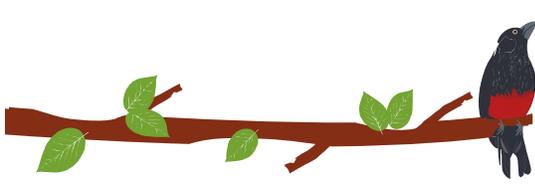


Figura 76. Susceptibilidad por unidades geomorfológicas a avenidas torrenciales.  
Fuente Elaboración propia

- **Unidades de terreno**

Corresponde a geofomas particulares del terreno consideradas dentro de un nivel del sistema jerárquico, relacionada con las formas de relieve: ambientes morfogenéticos y sistemas de terreno (Zinck, 2012). Cada geofoma se clasifica según su génesis, morfología y geometría del relieve. Su análisis permite identificar geofomas asociada a procesos de inundación y subsiguientemente determinar zonas susceptibles a esta amenaza. Este parámetro fue analizado con base en las unidades de terreno según Zinck

(1989), definidas para el área de la cuenca hidrográfica Río Sucio Alto (Figura 81 y Tabla 27). Para el análisis geomorfológico se tienen en cuenta las subunidades geomorfológicas o formas de terreno asociadas a procesos de avenidas torrenciales. De acuerdo con la salida cartográfica geomorfológica basada en el método de zinck para la cuenca objeto de ordenación, se considero las formas de terreno como: Montaña con valle estrecho y plano de terraza 1 (MVP1), : Montaña con valle estrecho y plano de terraza 2 (MVP2), montaña con valle estrecho y vega (MVV), montaña con vallecito y vega (MZV), Lomerio con valle estrecho y bajo de terraza (LVD1), Lomerio con valle estrecho y plano de terraza 1 (LVP1), Lomerio con valle estrecho y plano de terraza 1 (LVP2), lomerio con vallecito y vega (MZV), lomerio con vallecito y vega (LZV), piedemonte con avinico y apice (PARA), Piedemonte con bajo abanico (PARD), piedemonte con cuerpo abanico (PARC), piedemonte con vallecitos y vega (PZV), y planicie con vallecitos y vega (RZV).

Tabla 37. Susceptibilidad de unidades del terreno a eventos torrenciales

ID_UN_GEOM	Paisaje	Tipo de Relieve	Forma de Terreno	Calif
MQO	MONTAÑA	Abanicos Terraza	Plano ondulado	MEDIA
MQT	MONTAÑA	Abanicos Terraza	Talud	ALTA
MDP	MONTAÑA	Cono de Deyección	Cuerpo	MEDIA
MSIS	MONTAÑA	Espinazos	Frente	BAJA
MSsS	MONTAÑA	Espinazos	Frente	BAJA
MSIR	MONTAÑA	Espinazos	Revés	BAJA
MSsR	MONTAÑA	Espinazos	Revés	BAJA
MFFC	MONTAÑA	Filas y Vigas	Cima	BAJA
MFIC	MONTAÑA	Filas y Vigas	Cima	BAJA
MFFL	MONTAÑA	Filas y Vigas	Ladera	BAJA
MFIL	MONTAÑA	Filas y Vigas	Ladera	BAJA
MFvL	MONTAÑA	Filas y Vigas	Ladera	BAJA
MJP	MONTAÑA	Manto Coluvial	Cuerpo	BAJA
MVP1	MONTAÑA	Valle Estrecho	Plano de terraza 1	ALTA
MVP2	MONTAÑA	Valle Estrecho	Plano de terraza 2	MEDIA
MVV	MONTAÑA	Valle Estrecho	Vega	MEDIA
MZV	MONTAÑA	Vallecito	Vega	ALTA

Fuente: Elaboración propia

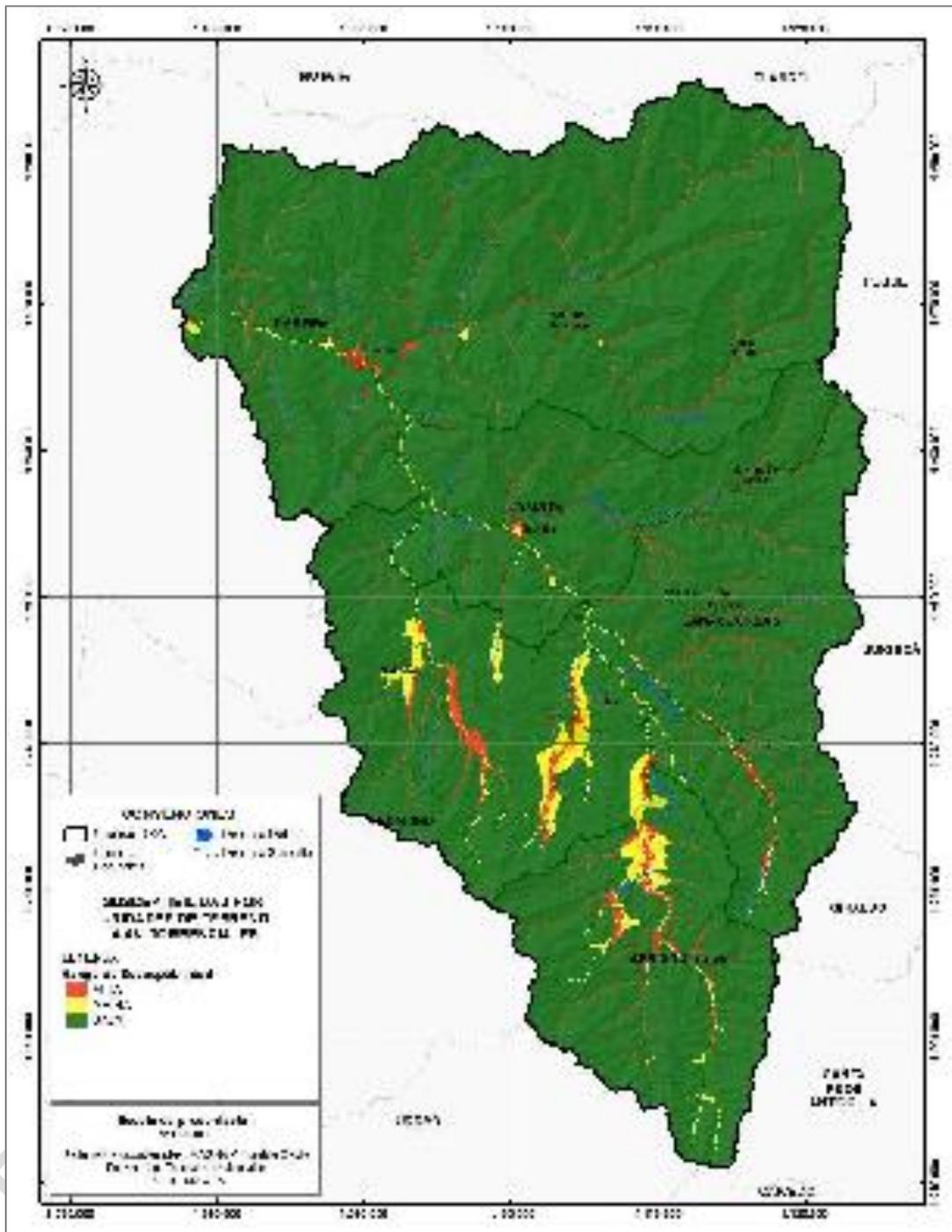
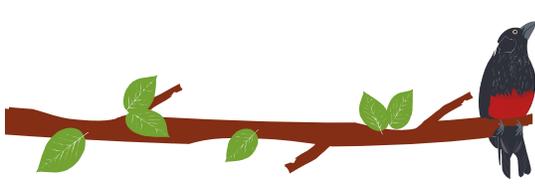
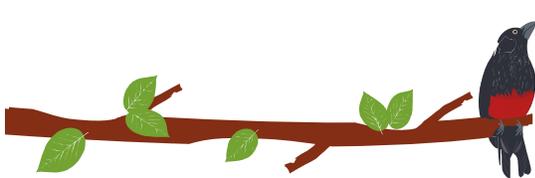


Figura 77. Susceptibilidad de unidades del terreno a eventos torrenciales.  
Fuente: Elaboración propia.

- **Eventos**

La existencia de eventos torrenciales marca el valor de existencia de la misma y describe zonas susceptibles a presentar una avenida torrencial ya que han ocurrido dentro de la cuenca. La consolidación de esta información se realiza a partir de la revisión de fuentes secundarias y primarias en las que se describe su ubicación por asociación a proximidad



de puntos o zonas de referencia. Permite identificar zonas de susceptibilidad por avenidas torrenciales basada en la frecuencia de ocurrencia, que al integrarse con las zonas de susceptibilidad y relacionarlas con la geomorfología y factores morfométricos permite definir la zonificación de la susceptibilidad.

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

Tabla 28. Categorización de la recurrencia de los eventos de avenidas torrenciales

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

Fuente: Protocolo de incorporación de la Gestión del riesgo, 2015.

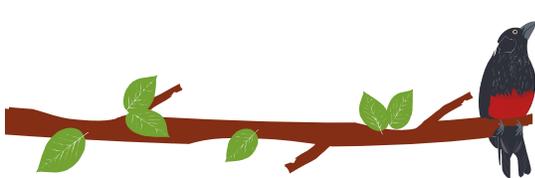
En el numeral de identificación de eventos históricos se documento los registros históricos de avenidas torrenciales en los municipios de Dabeiba, Uramita, Cañasgordas, Frontino y Abriaqui, en donde se identificaron 23 eventos en el periodo de 1942-2017. Las afectaciones se encuentran en el área rural, localizados en el río Cañasgordas, río Frontino, río Uramita, río Urama y río Sucio.

Se realizó un cruce entre las unidades geomorfológicas antes indicadas y los eventos históricos para calificar las unidades geológicas que contaran con eventos históricos de avenidas torrenciales y de esta manera obtener una nueva capa de susceptibilidad, en la Figura 78 y Figura 79 se presentan los resultados.

ETAPA DE FORMULACIÓN







#### **7.5.1.4 Zonificación de la susceptibilidad por avenidas torrenciales**

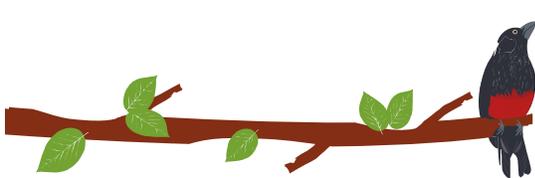
Las avenidas torrenciales se caracterizan por su carácter súbito o impredecible, alta velocidad y corta duración, arrastran gran volumen de sedimento con relación al flujo de agua, incluido material de arrastre de gran tamaño (rocas, troncos); frecuencia de recurrencia baja para una misma localización comparado con las inundaciones fluviales lentas; en general no existe una llanura de inundación bien establecida debido a que la distribución espacial y temporal suele ser errática, los desbordamientos son extensos y violentos, los procesos de erosión y sedimentación son bruscos, en ocasiones se dan procesos de profundización de cauce dentro de una misma zona de depósito de eventos previos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

Con base en el índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET), la existencia de unidades geomorfológicas relacionadas con eventos de avenidas torrenciales y la presencia de eventos históricos, se categoriza en general a todas las subcuencas que componen la cuenca hidrográfica del Río Sucio Alto con susceptibilidad baja, media y alta por avenidas torrenciales (Figura 80).

ETAPA DE PUBLICIDAD







### **7.5.1.5 Descripción metodológica para obtener amenaza por avenidas torrenciales**

La zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales se realizó considerando los siguientes antecedentes y criterios:

- Clasificación de los drenajes de las microcuencas o subcuencas calificadas con susceptibilidad media, alta y muy alta.
- Análisis de eventos históricos discriminados por recurrencia.
- Calificación de los drenajes (fase líquida) de las subcuencas con susceptibilidad a eventos torrenciales con la influencia de amenaza por movimientos en masa en las laderas con potencial de aportar materiales (fase sólida) a las crecientes torrenciales.
- Análisis de confinamiento en la parte alta y media de la cuenca y desconfinamiento en la parte baja para definición de la torrencialidad del cauce y área de influencia o alcance posible.

Cada uno de los drenajes que conforma las subcuencas susceptibles a eventos torrenciales se calificó según la zonificación de la amenaza por movimientos en masa, como factor que permite identificar la existencia de carga de sedimentación que podía contribuir a la ocurrencia del fenómeno estudiado y la condición de pendiente evalúa hasta donde podría haber energía para el transporte del material torrencial generado en cuencas con morfometría torrencial.

### **7.5.1.6 Descripción de las variables para obtener susceptibilidad por avenidas torrenciales**

Las variables que se tuvieron en cuenta para definir la amenaza por avenidas torrenciales en la cuenca hidrográfica del río Sucio Alto fueron la localización de las zonas susceptibles a eventos torrenciales, la categorización del mapa de amenaza por movimientos en masa, el inventario de procesos con su respectiva recurrencia y los cuerpos de agua de la cuenca hidrográfica (ver Figura 81).

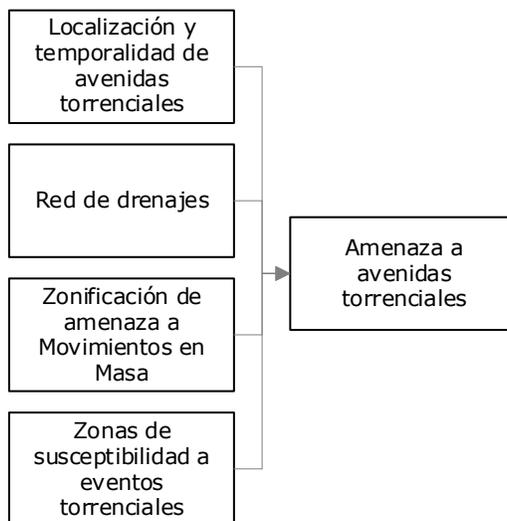
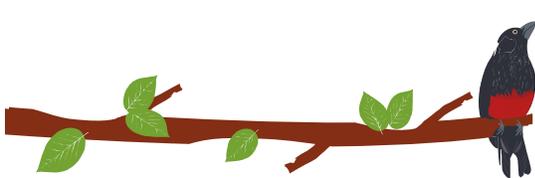


Figura 81. Variables para la modelación de la amenaza por avenidas torrenciales

- **Localización de avenidas torrenciales**

Los fenómenos localizados y evaluados son todos aquellos que hacen parte del inventario producto de la recopilación e identificación de avenidas torrenciales en la cuenca hidrográfica del río Sucio Alto. Estos registros son fundamentales pues a partir de ellos se castiga y valida la zonificación de amenaza.

Las avenidas torrenciales históricas son el consolidado de la revisión de fuentes secundarias, en las que se describe su ubicación por asociación a proximidad de puntos o zonas de referencia (trabajadas en formato vector tipo punto) y la información extraída de la visita de campo.

**Avenidas Torrenciales Históricas:** La consolidación de esta información se realiza a partir de la revisión de fuentes secundarias, en las que se describe su ubicación por asociación a proximidad de puntos o zonas de referencia. Permite identificar zonas de amenaza por avenidas torrenciales basada en la frecuencia de ocurrencia, que al integrarse con las zonas de susceptibilidad y relacionarlas con la zonificación de amenaza por movimientos en masa permite definir la zonificación de la amenaza. Este parámetro fue analizado con ayuda de la base de datos recolectada en campo. La información se maneja en formato vector tipo punto y se categoriza de acuerdo a su recurrencia (alta, menor a 15 años; media, entre 15 y 50 años, y baja, mayor a 50 años) como se observa en la Tabla 39.

Tabla 39. Categorización de la recurrencia de los eventos de avenidas torrenciales

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

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

- **Zonas de susceptibilidad a avenidas torrenciales:**

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

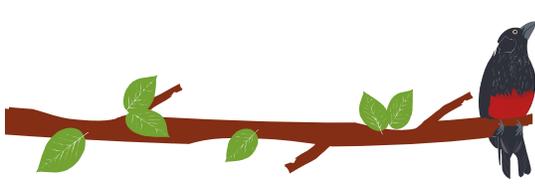
- **Zonificación de amenaza a movimientos en masa.**

Si bien es claro que una avenida torrencial es el producto de un flujo hiperconcentrado de detritos, rocas y otros materiales que se puedan arrastrar a lo largo de una corriente de agua es importante aclarar que la avenida torrencial tiene limitaciones de espacio y causalidad (no se presenta una avenida torrencial en donde no haya aporte de material mediante un movimiento en masa, la avenida torrencial sólo se produce a lo largo del cuerpo de agua) razón por la cual es importante tener en cuenta la zonificación de amenaza a movimientos en masa descrita en el capítulo del análisis de la zonificación por dicha amenaza, la información se maneja en formato vector tipo polígono.

#### **7.5.1.7 Evaluación de de la amenaza por avenidas torrenciales**

Una vez identificada la susceptibilidad por avenidas torrenciales, las subcuencas pueden ser calificadas con amenaza media o alta en función de la existencia y temporalidad de eventos históricos y a la carga de sedimentos.

La amenaza por avenidas torrenciales no es propia de las subcuencas sino del cuerpo de agua directamente calificado como torrencial. Por lo tanto, para calificar la amenaza en los cuerpos de agua se debe tener en cuenta la susceptibilidad encontrada de la subcuenca, la influencia de la amenaza por movimientos en masa y la pendiente del terreno. Los cuerpos de agua que tengan susceptibilidad media, alta o muy alta y que al tiempo se relacionen con zonas de amenaza media o alta por movimientos en masa, se califican con amenaza media o alta por avenidas torrenciales y baja si tienen alguna susceptibilidad, pero se relacionan con amenaza baja por movimientos en masa (ver Figura 82).



PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO  
FASE DE FORMULACIÓN

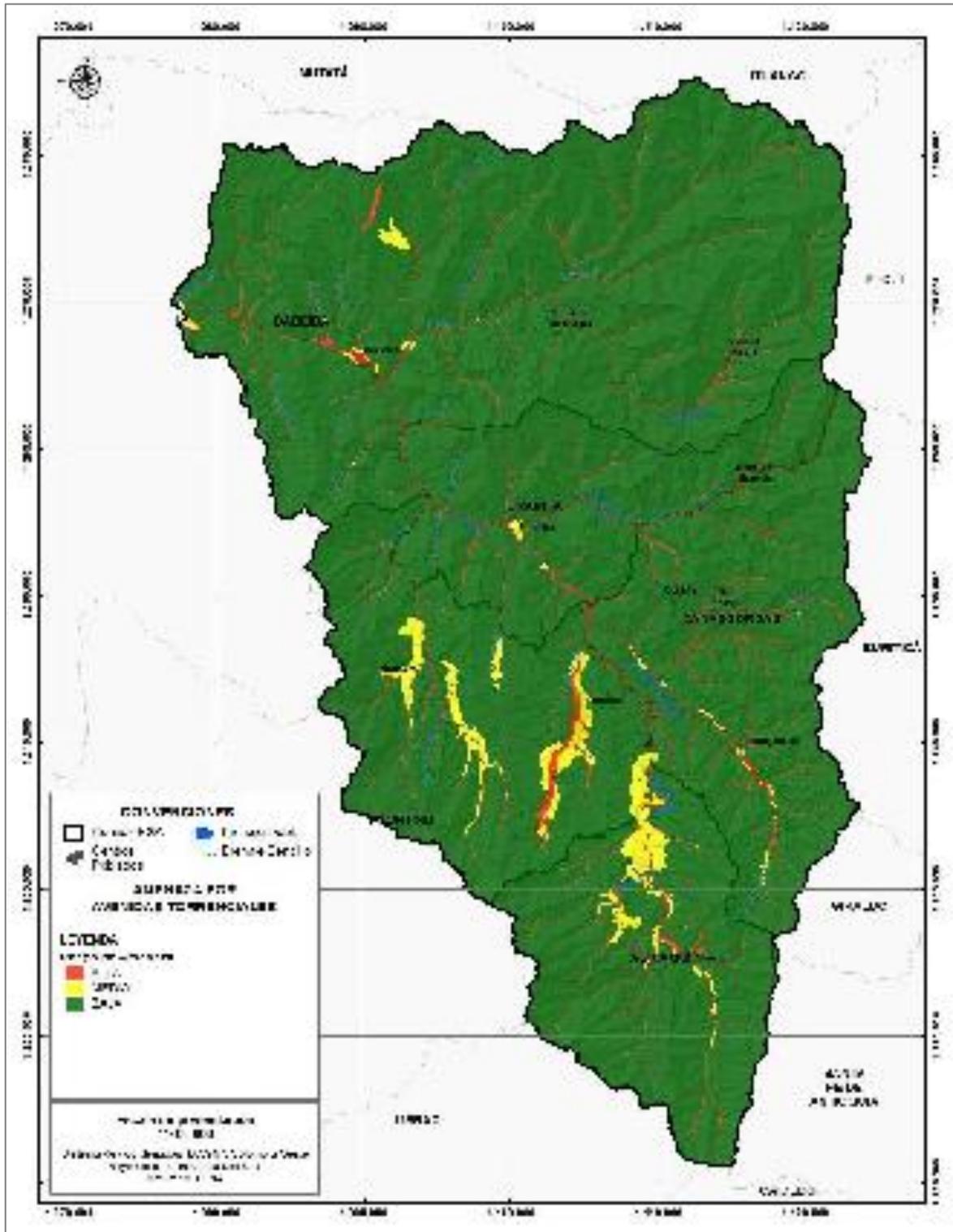
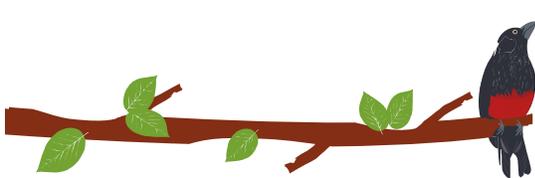


Figura 82. Amenaza por avenidas torrenciales.  
Fuente: Elaboración propia



La amenaza por avenidas torrenciales es crítica en la cuenca debido a los constantes movimientos en masa y altos periodos de precipitación en época de invierno. La condición de amenaza se centra en cuerpos de agua de comportamiento torrencial y que en su área de influencia se encuentran materiales de arrastre generados por movimientos en masa. Esta condición sucede en la mayoría de cuerpos de agua, siendo algunos de ellos verdaderamente efectivos en el desplazamiento de escombros, sólidos disueltos y sólidos arrastrados de todos los tamaños de grano (inclúyase rocas de dimensiones importantes) como el caso del río La Herradura, Cañasgordas, Sucio, Chuza, Frontino, Uramita, Verde, y Urama y las quebradas principales que tributan a dichos ríos. La condición de amenaza alta se extiende en 6.816 ha (3,14%) y media en 4.837 ha (2,2%).

Aspectos que se revisaron en campo

1. Textura de los depósitos torrenciales formados por diferentes mecanismos de transporte (depósitos formados por flujos de detritos, flujos de lodo, flujos de tierra o depósitos de origen fluvio-torrencial).
2. Morfologías superficiales: presencia de diques o muros naturales de material de arrastre, lóbulos frontales, daños a la vegetación, canal trapezoidal. Este análisis tuvo como soporte la información de la cartografía geomorfológica y geológica del área en evaluación.
3. Además de considerar los siguientes aspectos adicionales a partir de una adaptación de la propuesta de (Parra E. V., 1995) que se resume en la, respecto a la cronología de los eventos:
4. Años: Huellas en el cauce, sin vegetación o rastrojo bajo en márgenes, depósito y cicatrices de movimientos en masa asociados, afectación de la corteza de árboles mayores, ausencia de líquenes en bloques de roca, ausencia de horizontes A y B de suelo. Coronas de cicatrices agudas.
5. Decenas de años: Rastrojo alto o árboles mayores en márgenes, depósito y cicatrices de movimientos en masa asociados, líquenes en bloques, matriz fresca, coronas de cicatrices subredondeadas.

En la Cuenca Río Sucio Alto, se evidencia procesos de inestabilidad en las subcuencas, principalmente en aquellos márgenes de pendientes escarpadas, en donde el volumen de sedimentos fluye hacia los ríos principales, como consecuencia de los procesos morfodinámicos presentes en toda el área de la cuenca descrito en el capítulo de movimientos en masa. De acuerdo a lo anterior se debe contemplar la ocurrencia flujos densos en la cuenca, además las rocas presentes en la cuenca están compuestas principalmente por arcillas. La muestra una cárcava formada por concentración de aguas que bajan desde la corona de la ladera y labran el fondo.

### 7.5.2 Identificación, clasificación y caracterización de fenómenos amenazantes y evaluación de la amenaza por incendios forestales

Un incendio forestal se define como el fuego que se propaga, sin control sobre la cobertura vegetal, cuya quema no estaba prevista.

La amenaza por incendio forestal constituye un peligro latente que representa la posible manifestación de un incendio de cobertura vegetal, de origen natural, socio-natural o antropogénico, en un territorio particular, que puede producir efectos adversos en las personas, la producción, la infraestructura, los bienes y servicios y el ambiente.

Para el análisis de la amenaza por incendios forestales se toma como base la metodología propuesta por el IDEAM en el "Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal - Escala 1:100.000 Bogotá, D. C., 2011". Se realizó a partir de la información obtenida del análisis de la condición pirogénica de la vegetación colombiana, basado en el modelo de combustibles desarrollado por Páramo 2007.

Como primer paso se revisaron los factores históricos, los factores que influyen en el comportamiento de los incendios forestales, y los productos intermedios para la obtención de la susceptibilidad por incendios, que se consiguen con la clasificación de las coberturas presentes en el área de estudio con el fin de conocer el tipo de combustible predominante en cada una de ellas, con esta clasificación se pueden obtener los planos de Tipo, Duración y Carga Total de combustibles, con los cuales se genera el plano de Susceptibilidad de la Vegetación a Incendios Forestales. De acuerdo con los registros de las estaciones meteorológicas, del sector se realizan los planos de Isotermas e Isoyetas, con los cuales se puede tener datos de temperatura y precipitación media para la cuenca.

#### 7.5.2.1 Factores que influyen en el comportamiento de los incendios de la cobertura vegetal.

El comportamiento de un incendio forestal es función de las condiciones en las cuales se sucede el fenómeno. Las adaptaciones ecológicas de la vegetación y de los ecosistemas al fuego, las características del material combustible, el clima, las condiciones meteorológicas y la topografía son los principales factores que influyen y determinan su comportamiento (Paramo Rocha, 2007).

Adaptaciones ecológicas de los ecosistemas y de la vegetación al fuego

Al analizar el fuego y los incendios de la cobertura vegetal, es importante reconocer y comprender los diferentes papeles que el fuego cumple en los diferentes ecosistemas. En su evaluación mundial preliminar del fuego como una amenaza a la conservación, (The Nature Conservancy, 2006), identificó cuatro categorías amplias de respuestas de la vegetación al fuego:

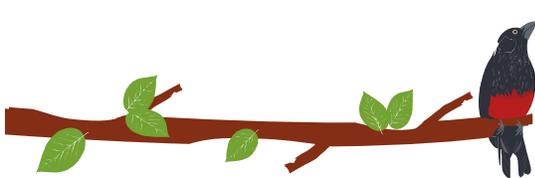
- Dependientes del fuego, son aquéllos donde el fuego es esencial y las especies han desarrollado adaptaciones para responder positivamente al fuego y para facilitar su propagación, es decir, la vegetación es inflamable y propensa al fuego. A menudo se los denomina ecosistemas adaptados al fuego o mantenidos por el fuego

- Sensibles al fuego e no se han desarrollado con el fuego como un proceso importante y recurrente. Las especies de estas áreas carecen de las adaptaciones para responder a los incendios y la mortalidad es alta incluso cuando la intensidad del fuego es muy baja. La estructura y la composición de la vegetación tienden a inhibir la ignición y la propagación del fuego. En otras palabras, no son muy inflamables. Los incendios se convierten en un problema sólo cuando las actividades humanas fragmentan estos ecosistemas, los combustibles se alteran y las igniciones aumentan. A medida que los incendios se vuelven frecuentes y extendidos, el ecosistema se desplaza hacia una vegetación más propensa al fuego. Este es el caso de la cuenca objeto de ordenación en la cual los procesos de la ampliación de la frontera agropecuaria, han afectado la composición de la vegetación por los efectos de las quemadas y el aprovechamiento forestal que a ocurrido en la zona por décadas.
- independientes del fuego, son aquéllos en los cuales el fuego juega un papel muy pequeño o nulo. Son demasiado fríos, húmedos o secos para quemarse.
- influidos por el fuego. Esta categoría incluye tipos de vegetación que se encuentran frecuentemente en la zona de transición entre los ecosistemas dependientes del fuego y los ecosistemas sensibles al fuego o independientes del fuego, pero en última instancia puede incluir tipos de vegetación más amplios en los cuales las respuestas de las especies al fuego todavía no han sido documentadas y el papel del fuego en el mantenimiento de la biodiversidad no se reconoce.

#### **7.5.2.2 Descripción metodológica para obtener susceptibilidad a incendios forestales**

La zonificación de la susceptibilidad se realizó a través del análisis de las características intrínsecas de la vegetación y los ecosistemas (carga de combustibles, disposición y combustibilidad), que le brindan cierto grado de probabilidad de incendiarse, propagar y mantener el fuego dentro de la cuenca hidrográfica del río Sucio Alto dentro de la metodología establecida por el IDEAM en el Protocolo para La realización de mapas de Zonificación de Riesgos a Incendios de la Cobertura Vegetal (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2011) y lo establecido en los Términos de Referencia para el desarrollo del POMCA, la escala de trabajo ha sido adaptada a 1:25.000 y el proceso metodológico ha sido ajustado de acuerdo a la disponibilidad de información y a las características particulares que fueron valoradas independientemente, aplicando obteniendo calificaciones y a partir de estas, zonificaciones parciales en términos de mayor o menor probabilidad de ser afectadas o de facilitar o dificultar la formación y/o propagación de incendios en la cobertura vegetal presente en el área objeto de estudio.

Luego de calificar y categorizar las variables implícitas en la evaluación de la susceptibilidad de la cobertura vegetal a sufrir un incendio forestal se normalizan éstas variables para facilitar el proceso de la implementación de la función de pesos para dicho modelo.



### 7.5.2.3 Descripción de las variables para el cálculo de susceptibilidad a incendios forestales

La susceptibilidad de la cobertura vegetal, se analiza mediante la identificación y valoración de la condición pirogénica de la vegetación, según lo propuesto en el modelo de combustibles desarrollado para Colombia por Páramo, 2007.

El modelo de combustibles representa la condición pirogénica de la vegetación colombiana, aspecto clave en la evaluación del comportamiento de nuestros ecosistemas frente al fuego, tanto en el inicio de un incendio, como en la modelación del comportamiento del fuego, en caso de presentarse eventos de esta índole (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2011).

El modelo de combustibles implementado, se estructuró mediante una clasificación jerárquica, conformada por los siguientes factores Figura 83.

- Tipo de combustible vegetal predominante por bioma y ecosistema: Tipo de cobertura vegetal y biotipo dominante.
- Duración del tipo de combustible dominante: duración en horas de cada tipo de combustible, definidos en horas de ignición (1 h, 10 h, 100 h).
- Carga total de combustibles: caracterización cualitativa dependiente de la correlación de la altura en metros, cobertura en valores porcentuales, biomasa aérea en t/ha.

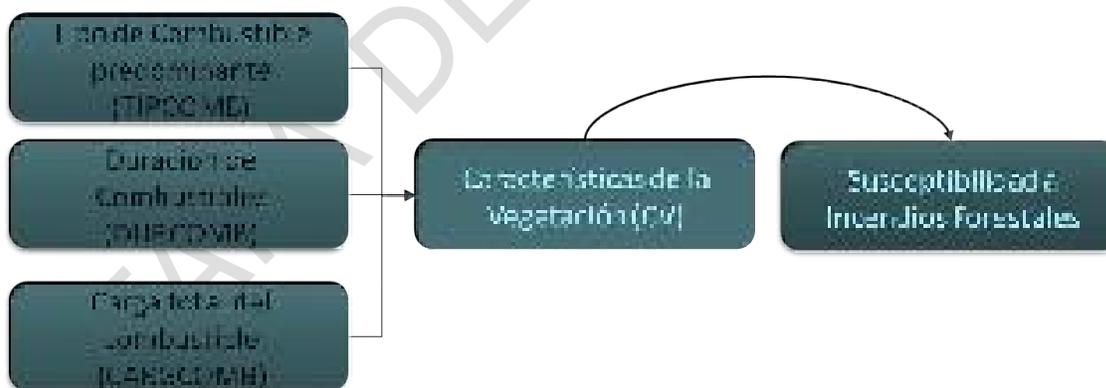


Figura 83. Variables que determinan a la zonificación de la susceptibilidad de la cobertura vegetal a sufrir incendios forestales

### 7.5.2.4 Características de la Vegetación (CV)

Según el tipo de vegetación y su grado de humedad, es más fácil que se encienda o que no se inicie un incendio. Además, la cantidad y la continuidad (tanto vertical como horizontal) favorecen el crecimiento del incendio. El combustible es uno de los factores

más importantes y muchas veces es el factor decisivo para el comportamiento de un incendio (Páramo, 2007). Las propiedades extrínsecas más importantes que afectan la intensidad y velocidad de propagación, relacionadas con el combustible son:

- **Tipo de Combustible (TDC)**

Las características geométricas de forma y tamaño del combustible (cilíndrica, esférica, irregular, grueso, ancho, largo), son importantes en la definición del tipo de combustible ya que de manera general se observa que el tiempo de ignición decrece conforme el tamaño del combustible quemado y que la velocidad de propagación de un incendio varía directamente con la relación superficie volumen del combustible.

El tipo de combustible predominante (TDC) corresponde a la reclasificación del material vegetal vivo (predominante), en relación con la resistencia que éste puede tener a la combustión de acuerdo con su contenido de humedad, composición química, etc. Por lo tanto, puede variar entre no combustibles a combustibles pesados (Parra Lara, 2011).

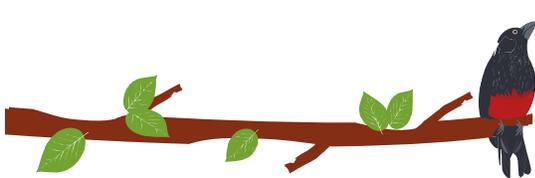
- Formato: Vector tipo Polígono.
- Fuente: Cobertura vegetal, Consultor.

Las coberturas dominadas por hierbas y pastos presentaron mayor influencia del fuego que las demás, poseen en promedio una carga total de combustibles moderada a baja y una susceptibilidad a incendios de alta a muy alta, contrario a lo que sucede con las coberturas sensibles al fuego (dominadas por árboles y arbustos), que presentaron una carga alta de combustibles pero susceptibilidad en general baja y muy baja, con base solamente en las características intrínsecas de la vegetación sin tener en cuenta factores externos tales como los antrópicos.

Este parámetro fue analizado con base en la interpretación de la cobertura vegetal definidas para el área de la cuenca hidrográfica del Río Sucio Alto (Ver Tabla 40).

Tabla 40. Tipo de combustible predominante

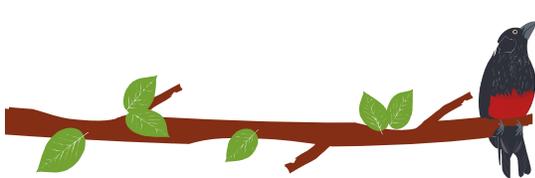
<b>Código Cobertura</b>	<b>Tipo de Combustible</b>	<b>Calificación TDC</b>	<b>Categoría de susceptibilidad</b>
1112	Áreas urbanas	1	Muy baja
1122	Hierbas	1	Muy baja
1131	Áreas urbanas	1	Muy baja
1132	Áreas urbanas	1	Muy baja
1211	No combustibles	1	Muy baja
1212	No combustibles	1	Muy baja
122111	Áreas urbanas	1	Muy baja
122112	Áreas urbanas	1	Muy baja
12212	Áreas urbanas	1	Muy baja



1232	No combustibles	1	Muy baja
1241	No combustibles	1	Muy baja
1315	No combustibles	1	Muy baja
1324	No combustibles	1	Muy baja
1422	Hierbas	1	Muy baja
1423	Hierbas	1	Muy baja
211	Hierbas	4	Alta
2213	Hierbas	4	Alta
2221	Árbustos	4	Alta
2231	Árboles	2	Baja
231	Pastos	5	Muy alta
232	Pastos	5	Muy alta
233	Pastos	5	Muy alta
241	Hierbas	4	Alta
242	Pastos/hierbas	5	Muy alta
243	Pastos/hierbas	5	Muy alta
244	Pastos/hierbas	5	Muy alta
245	Pastos/hierbas	5	Muy alta
3121	Árboles	2	Baja
3142	Árboles	2	Baja
3143	Árboles y arbustos	3	Moderada
3144	Árboles	2	Baja
3152	Árboles	2	Baja
3153	Árboles	2	Baja
3211	Hierbas	4	Alta
3231	Árbustos	4	Alta
3232	Árbustos	4	Alta
3311	No combustibles	1	Muy baja
3312	No combustibles	1	Muy baja
3332	No combustibles	1	Muy baja
411	No combustibles	1	Muy baja
511	No combustibles	1	Muy baja

Fuente: Elaborado a partir de (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2011)

Los tipos de coberturas menos resistentes a procesos de combustión son aquellos cultivos o zonas de pastos con baja capacidad de retención de agua susceptibles al momento de comenzar un proceso de ignición se han desarrollado como resultado de condiciones de terreno que influye directamente en el tipo de vegetación presente en la cuenca hidrográfica del Río Sucio Alto, como se observa en la Figura 84 la parte alta,



media y baja de la cuenca presenta vegetación altamente combustible y por ende susceptible a procesos de combustión.

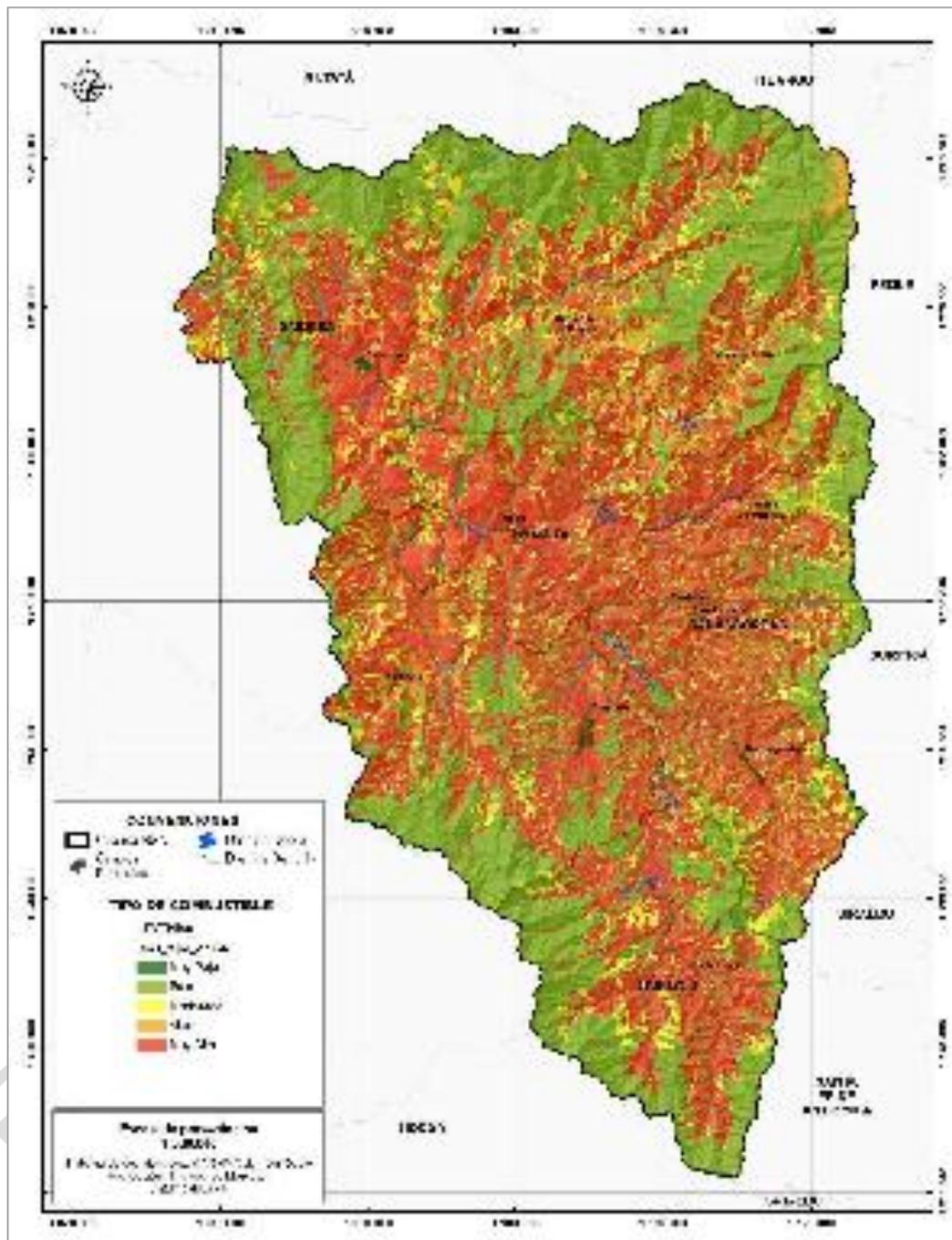


Figura 84. Tipo de combustible predominante en la cuenca Río Sucio Alto.

Fuente: Elaboración propia.

- **Duración de los combustibles (DDC)**

Corresponde a la reclasificación de la vegetación de acuerdo a la duración del proceso de ignición que puede tener cada tipo de cobertura vegetal, a partir de características como la humedad y el área foliar, pues la dificultad de control sobre un incendio es mayor cuando la cobertura se quema más rápido, es decir cuando la rapidez de ignición del combustible es mayor. Por lo tanto, se reclasifica la vegetación desde no combustibles hasta combustibles con duración para su ignición entre 1 hora, 10 horas y 100 horas (Parra Lara, 2011).

- Formato: Vector tipo Polígono.
- Fuente: clasificación del tipo de cobertura vegetal.

Este parámetro fue analizado con base en el tipo de cobertura definida para el área de la cuenca hidrográfica del río Río Sucio Alto (ver Tabla 41).

Tabla 41. Calificación de la duración de combustibles

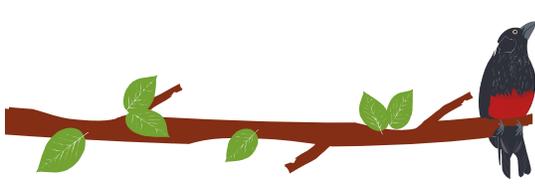
Código de Cobertura	Duración del Combustible	Calificación DDC	Categoría de Susceptibilidad
1112	Áreas urbanas	1	Muy baja
1122	Áreas urbanas	1	Muy baja
1131	Áreas urbanas	1	Muy baja
1132	Áreas urbanas	1	Muy baja
1211	No Combustibles	1	Muy baja
1212	No Combustibles	1	Muy baja
122111	Áreas urbanas	1	Muy baja
122112	Áreas urbanas	1	Muy baja
12212	Áreas urbanas	1	Muy baja
1232	No Combustibles	1	Muy baja
1241	No Combustibles	1	Muy baja
1315	No Combustibles	1	Muy baja
1324	No Combustibles	1	Muy baja
1422	Áreas urbanas	1	Muy baja
1423	Áreas urbanas	1	Muy baja
211	10 horas	3	Moderada
2213	10 horas	3	Moderada
2221	100 horas	2	Baja
2231	100 horas	2	Baja
231	1 hora	4	Alta
232	1 hora	4	Alta
233	1 hora	4	Alta
241	10 horas	3	Moderada
242	1 hora	4	Alta

243	1 hora	4	Alta
244	1 hora	4	Alta
245	1 hora	4	Alta
3121	100 horas	2	Baja
3142	100 horas	2	Baja
3143	100 horas	2	Baja
3144	100 horas	2	Baja
3152	100 horas	2	Baja
3153	100 horas	2	Baja
3211	10 horas	3	Moderada
3231	100 horas	2	Baja
3232	100 horas	2	Baja
3311	No Combustibles	1	Muy baja
3312	No Combustibles	1	Muy baja
3332	No Combustibles	1	Muy baja
411	No Combustibles	1	Muy baja
511	No Combustibles	1	Muy baja

Fuente: (Paramo Rocha, 2007)

Como se indico anteriormente las coberturas dominadas por hierbas y pastos presentaron mayor influencia del fuego debido principalmente a la duración del combustible (referida al tiempo necesario para que el contenido de humedad de este se equilibre con la humedad del aire que lo rodea y pueda mantener su ignición). Ya que los pastos se caracterizan por ser combustibles de rápida ignición (Parra, 2011) que pueden quemarse en una hora o menos, debido a su bajo contenido de humedad, poca área foliar y altos porcentajes de material fibroso (lignina) en sus tejidos. En estos el control del fuego es más difícil ya que se queman muy rápido y el impacto en términos de áreas afectadas es mayor, lo cual hace que dicha cobertura sea más susceptible a incendios que los bosques.

Los bosques y rastrojos son de más lenta ignición, lo que significa que la duración de combustión es de 100 horas o más debido a la alta humedad intersticial de los tejidos, la alta área foliar y a su localización en zonas con alta humedad ambiental y del suelo, lo que hace que los bosques presenten baja susceptibilidad a los incendios; además porque el control del fuego sería menos difícil comparado con los pastos si se atiende de manera inmediata (Jimenez G, Urrego G, & Toro, 2016).



PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO  
FASE DE FORMULACIÓN

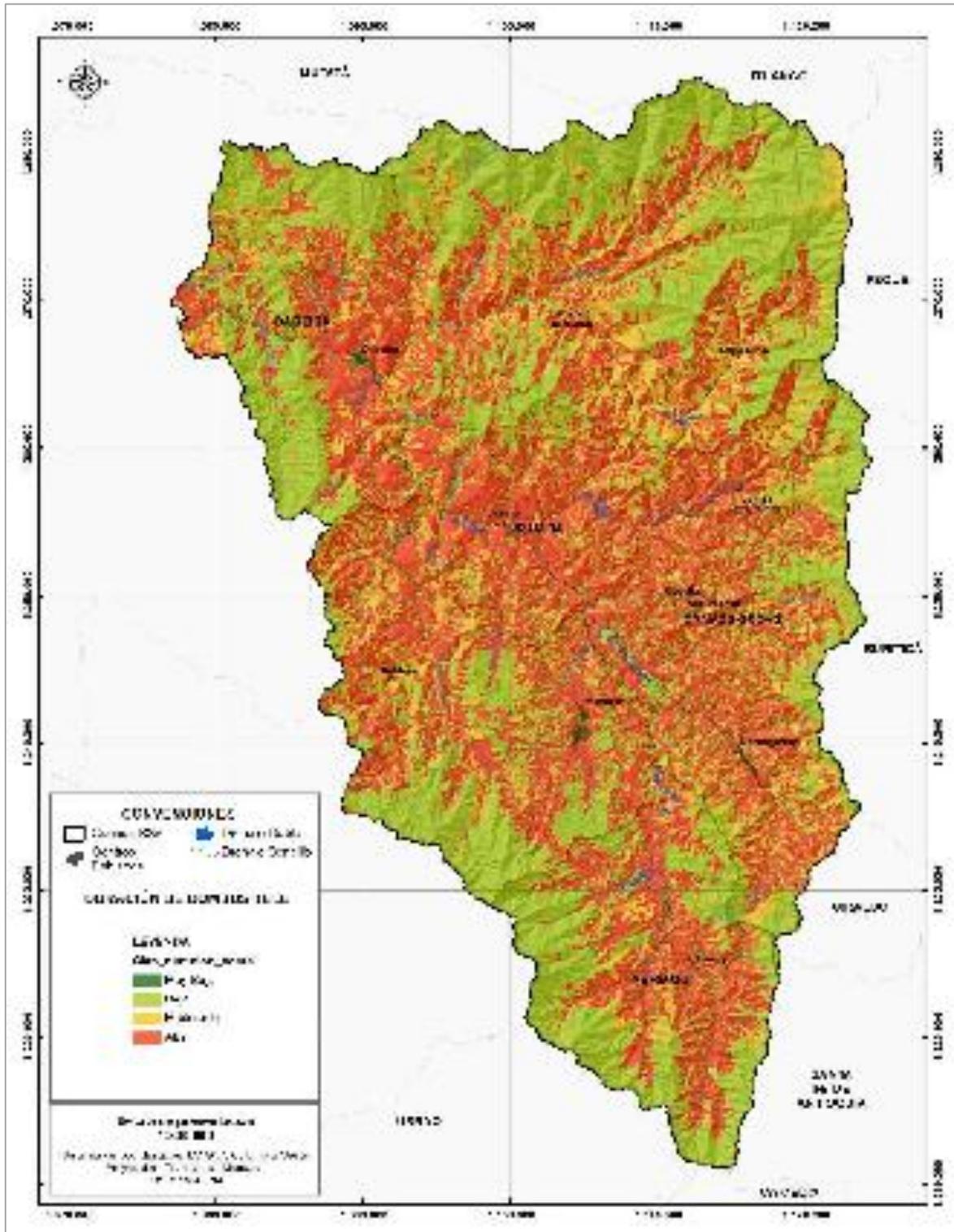


Figura 85. Duración combustible.

Fuente: Elaboración propia.

• **Carga del combustible (CTC)**

Se refiere al peso aproximado (relacionado con el grado de compactación y continuidad) de cada cobertura vegetal que corresponde al combustible predominante, asociado con sus características de altura, cobertura, biomasa y humedad de la vegetación, de acuerdo con un análisis multicriterio desarrollado en la metodología planteada por Parra Lara (2011) en el tomo 1 de su libro Incendios de la cobertura vegetal en Colombia.

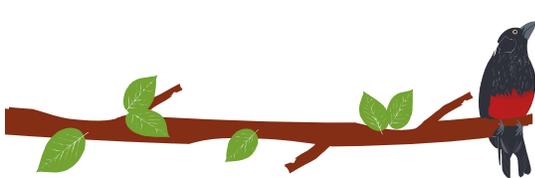
- Formato: Vector tipo polígono.
- Fuente: clasificación del tipo de cobertura vegetal.

se define también como la cantidad de combustible (en base seca) por unidad de área, es decir en el caso de la cobertura vegetal, la cantidad de biomasa tanto viva (vegetación en pie) como muerta (ramas, hojas muertas, material vegetal en descomposición, hojarasca, mantillo y humus), que se encuentra en una superficie determinada. Se expresa generalmente en toneladas por hectárea (T/ha) o kilogramos por metro cuadrado (Kg/m<sup>2</sup>). Las áreas de la cuenca que presenta mayor biomasa están representadas en los bosques y vegetación secundaria que presenta un área de 32.607 ha equivalentes al 36,3% de la cuenca.

Este parámetro fue analizado con base en el tipo de cobertura definida para el área de la cuenca hidrográfica del río Río Sucio Alto (ver Tabla 42).

Tabla 42. Tipo de cobertura y su carga de combustible

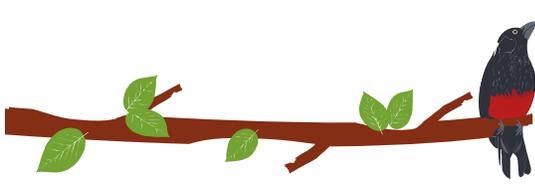
<b>Código de Cobertura</b>	<b>Carga Total de Combustible (toneladas/hectárea)</b>	<b>Calificación CTC</b>	<b>Categoría de susceptibilidad</b>
1112	Áreas urbanas (menos de 1 ton/ha)	1	Muy baja
1122	Áreas urbanas (menos de 1 ton/ha)	2	Muy baja
1131	Áreas urbanas (menos de 1 ton/ha)	1	Muy baja
1132	Áreas urbanas (menos de 1 ton/ha)	1	Muy baja
1211	No combustibles	1	Muy baja
1212	No combustibles	1	Muy baja
122111	Áreas urbanas (menos de 1 ton/ha)	1	Muy baja
122112	Áreas urbanas (menos de 1 ton/ha)	1	Muy baja
12212	Áreas urbanas (menos de 1 ton/ha)	1	Muy baja
1232	No combustibles	1	Muy baja
1241	No combustibles	1	Muy baja
1315	No combustibles	1	Muy baja
1324	No combustibles	1	Muy baja
1422	Áreas urbanas (menos de 1 ton/ha)	2	Muy baja
1423	Áreas urbanas (menos de 1 ton/ha)	2	Muy baja
211	Baja (1-50 ton/ha)	2	Baja



2213	Baja (1-50 ton/ha)	2	Baja
2221	Muy alta (más de 100 ton/ha)	4	Alta
2231	Muy alta (más de 100 ton/ha)	4	Alta
231	Baja (1-50 ton/ha)	2	Baja
232	Baja (1-50 ton/ha)	2	Baja
233	Baja (1-50 ton/ha)	2	Baja
241	Baja (1-50 ton/ha)	2	Baja
242	Moderada (50-100 ton/ha)	3	Moderada
243	Moderada (50-100 ton/ha)	3	Moderada
244	Moderada (50-100 ton/ha)	3	Moderada
245	Moderada (50-100 ton/ha)	3	Moderada
3121	Muy alta (más de 100 ton/ha)	4	Alta
3142	Muy alta (más de 100 ton/ha)	4	Alta
3143	Muy alta (más de 100 ton/ha)	4	Alta
3144	Muy alta (más de 100 ton/ha)	4	Alta
3152	Muy alta (más de 100 ton/ha)	4	Alta
3153	Muy alta (más de 100 ton/ha)	4	Alta
3211	Baja (1-50 ton/ha)	2	Baja
3231	Muy alta (más de 100 ton/ha)	4	Alta
3232	Muy alta (más de 100 ton/ha)	4	Alta
3311	No combustibles	1	Muy baja
3312	No combustibles	1	Muy baja
3332	No combustibles	1	Muy baja
411	No combustibles	1	Muy baja
511	No combustibles	1	Muy baja

Fuente: Elaboración propia a partir de (Paramo Rocha, 2007)

Los bosques, las plantaciones forestales, vegetación secundaria y los cultivos permanentes arbustivos identificados en la cuenca del río Río Sucio Alto presentan los mayores rangos de carga de combustible como se observa en la Tabla 42 que a su vez cuentan con una alta distribución espacial a lo largo de la cuenca alta (ver Figura 86).



PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO  
FASE DE FORMULACIÓN

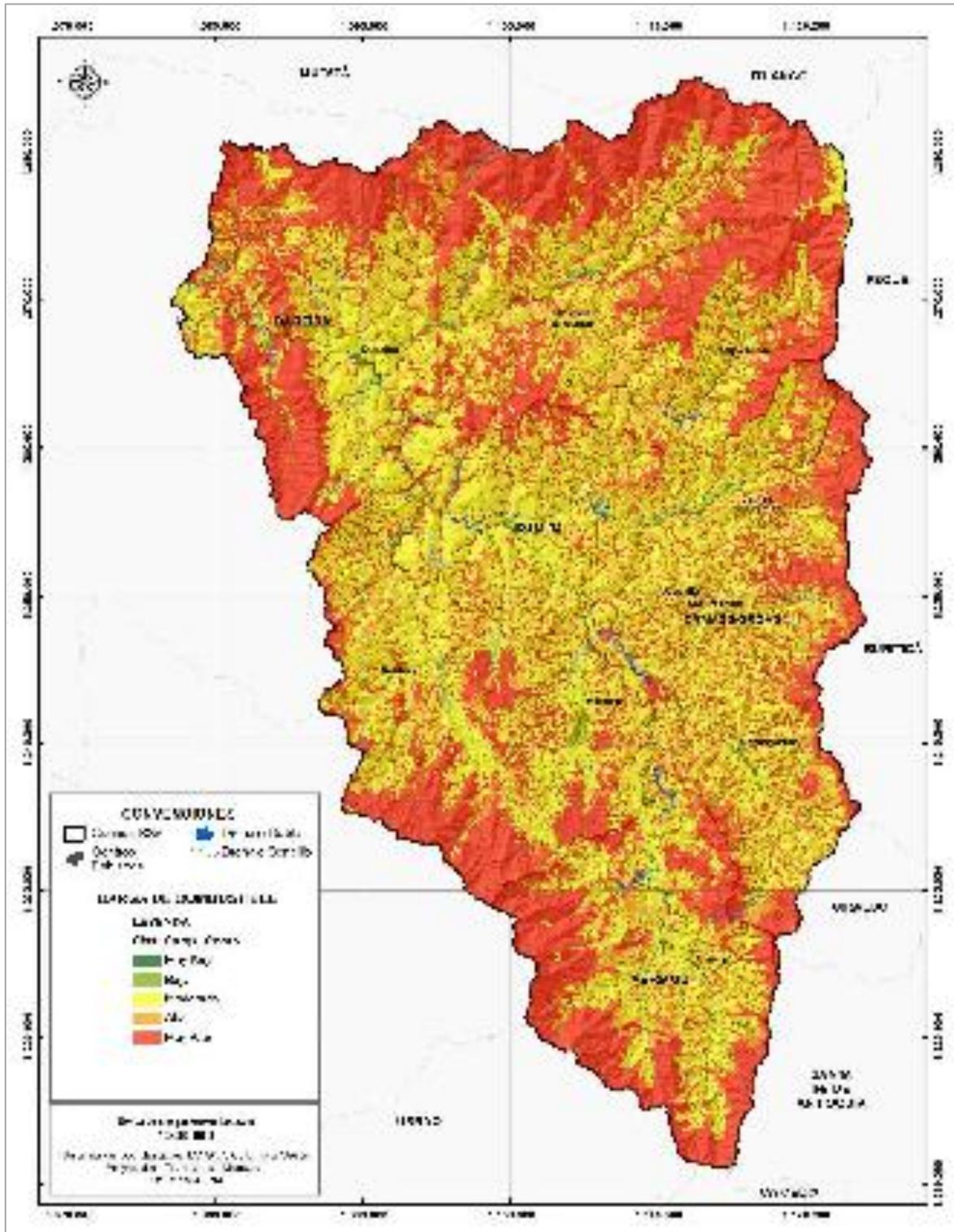


Figura 86. Carga total combustible.  
Fuente: Elaboración propia.

### 7.5.2.5 Análisis de la zonificación de la susceptibilidad de la vegetación a incendios forestales

Para el análisis de la caracterización de las coberturas vegetales susceptibles a incendios forestales en la cuenca hidrográfica del río Sucio Alto, el modelo de susceptibilidad se obtuvo por medio de la integración de la información referente a los factores condicionantes de la vegetación a sufrir un proceso de ignición (Carga total combustible, duración y tipo del combustible), por medio de la integración (cruce) de todas variables normalizadas de la vegetación susceptible a incendios forestales.

Con base en las zonas susceptibles a incendios forestales se agrupa en tres categorías (agrupando alta y muy alta, baja y muy baja), en general la cuenca hidrográfica del Río Sucio Alto con 88.642 hectáreas en susceptibilidad alta (40,8% aproximado), 29.615 hectáreas en susceptibilidad media (13,6%) y 99.217 hectáreas en susceptibilidad baja (45,72%) por incendios forestales (ver Figura 87).

Los pastos que se caracterizan por ser un tipo de vegetación de alta carga, buena combustión y duración de la misma. Los bosques con espacios naturales y la vegetación secundaria alta y baja son coberturas con un combustible de moderada a baja categoría de amenaza y de moderada duración de carga de combustión. Los cultivos presentan un tipo de combustible de categoría moderada y una duración de combustión moderada a baja. Basados en estos valores, la cuenca presenta una cobertura vegetal muy susceptible a inicio de eventos de ignición y a su posterior propagación por la presencia de materiales que se caracterizan por tener una carga alta de material combustible los cuales son de larga duración de ignición.

Los pastos y vegetación secundaria categorizados como la vegetación que aportan los aumentos más altos en los valores de la susceptibilidad, se encuentran generalizados en toda la cuenca, coincidiendo con la zona de mayor susceptibilidad a incendios forestales por condiciones climáticas (precipitación y clima).

Una vez asignadas las respectivas calificaciones y generados los mapas de tipo, duración y carga de combustibles, se realiza un álgebra de mapas; el resultado obtenido se agrupa posteriormente en 5 categorías mediante una distribución de frecuencias y a cada grupo se le asigno una calificación de alta, media y baja, mediante la siguiente ecuación:

$$\text{SUSC} = \text{CAL}(\text{tc}) + \text{CAL}(\text{dc}) + \text{CAL}(\text{ct})$$

Donde:

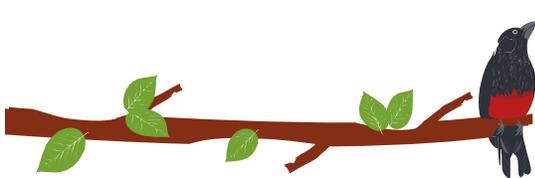
SUSC: Susceptibilidad de la vegetación (susceptibilidad bruta)

CAL(tc): Calificación por tipo de combustible

CAL(dc): Calificación de la duración de los combustibles

CAL(ct): Calificación de la carga total de combustibles





### 7.5.2.6 Descripción metodológica para obtener amenaza por incendios forestales

La zonificación de la amenaza por incendios forestales se realizó teniendo en cuenta que la susceptibilidad de la vegetación se ve afectada por factores externos de tipo climático, histórico, de relieve y de la condición de accesibilidad que están íntimamente ligados a ella generando variaciones intrínsecas de sus cualidades principalmente en lo que hace referencia al grado de afectación y variación de las características intrínsecas a la dinámica de la cuenca para potenciar o disminuir el avance de un incendio forestal.

Luego de analizar, categorizar y normalizar las variables intrínsecas en la evaluación de la amenaza a incendios forestales se utiliza la función de pesos descrita en el Protocolo para La realización de mapas de Zonificación de Riesgos a Incendios de la Cobertura Vegetal (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2011).

$$\text{AMENAZA\_IF} = (\text{SUSCEPTIBILIDAD} * 0.35) + (\text{TEMPERATURA} * 0.35) + (\text{PRECIPITACIÓN} * 0.15) + (\text{ACCESIBILIDAD} * 0.05) + (\text{PENDIENTES} * 0.05) + (\text{FACTOR HISTÓRICO} * 0.05)$$

Finalmente, se procede a realizar el análisis de la zonificación de la amenaza por incendios forestales para la cuenca del río Sucio Alto

### 7.5.2.7 Descripción de las variables de amenaza por incendios forestales

Las variables que se tuvieron en cuenta para definir la amenaza a incendios forestales en la cuenca hidrográfica del río Sucio Alto aquellos factores que contribuyen y detonan un evento por este tipo de amenaza (ver Figura 88).

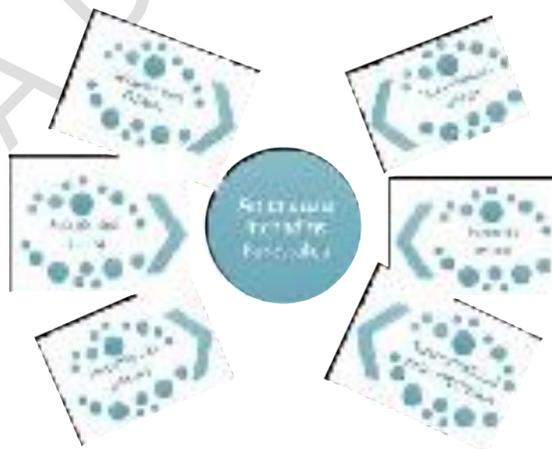
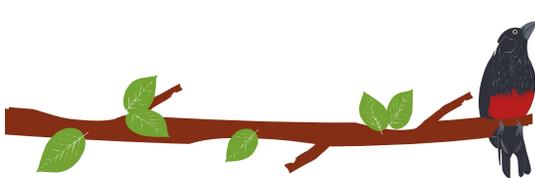


Figura 88. Variables para la modelación de la amenaza por incendios forestales

- **Precipitación (PRECIP)**





Teniendo en cuenta, que la susceptibilidad de la vegetación se ve afectada por factores externos de tipo climático, que están íntimamente ligados a ella generando variaciones intrínsecas de sus cualidades principalmente en lo que hace referencia a la humedad contenida en los tejidos vegetales (influida directamente por la precipitación, humedad del suelo y temperatura ambiental), se consideró necesario generar una calificación de la susceptibilidad bajo las condiciones normales de precipitación y temperatura imperantes en la cuenca, teniendo en cuenta la información consignada en el análisis realizado en el numeral de los factores que influyen en el comportamiento de los incendios forestales.

La precipitación para la Cuenca del Río Sucio Alto, permiten inferir que su régimen de lluvia varía desde los 1.000-3.000 mm/año. La clasificación de la precipitación media anual para la cuenca es de humedad (2.000-3.000 mm). Por lo tanto, de acuerdo con la Tabla 43, la categoría de amenaza es moderada y alta ver Figura 89.

Tabla 43. Calificación de la precipitación media anual de la cuenca

PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (mm)	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
Árido (0-500)	Muy baja	1
Pluvial (>7000)	Muy baja	1
Muy húmedo (3000-7000)	Moderada	2
Húmedo (2000-3000)	Moderada	3
Seco (1000-2000)	Alta	4
Muy seco (500-1000)	Muy Alta	5

Fuente: Elaboración propia.

ETAPA DE PUBLICIDAD

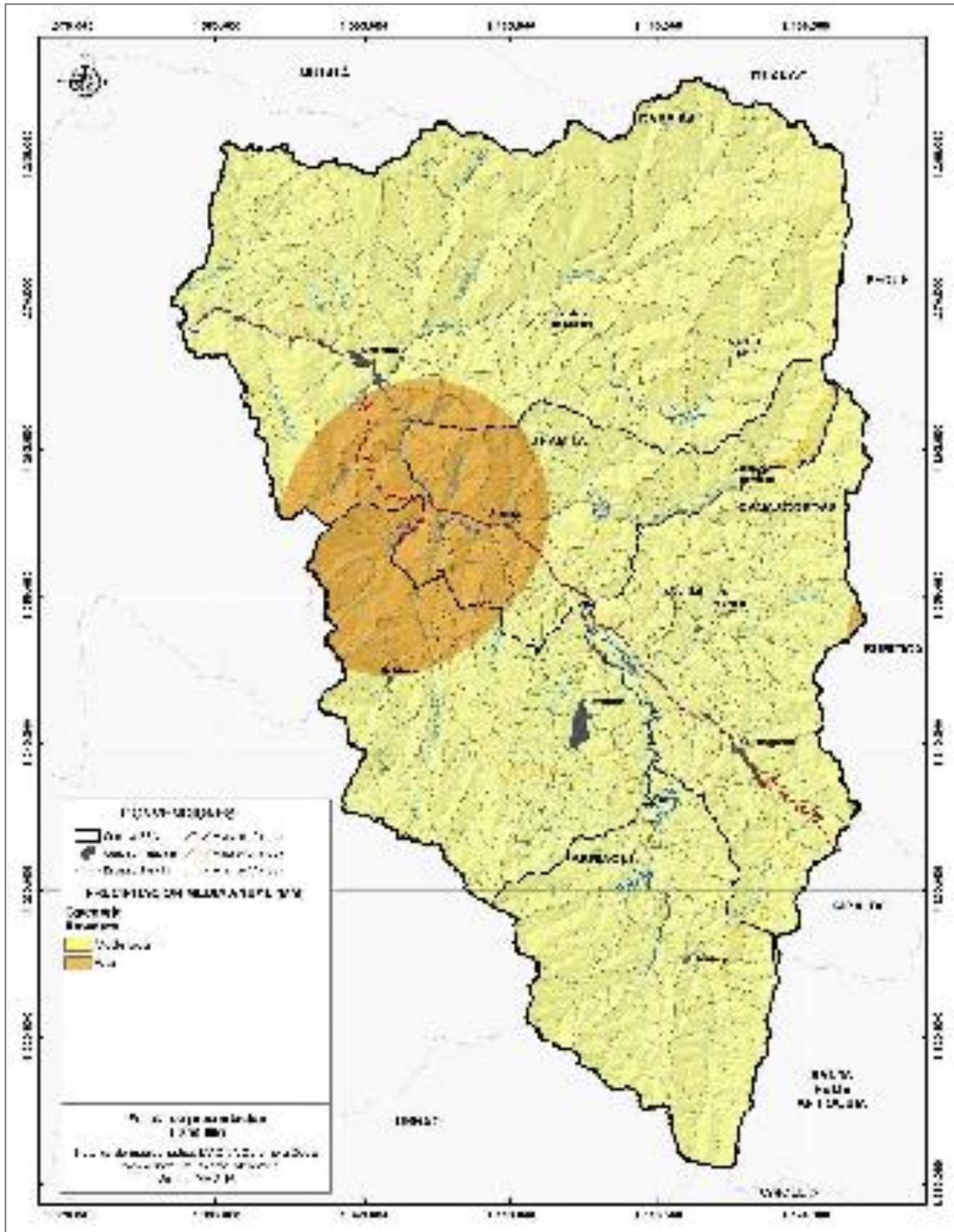
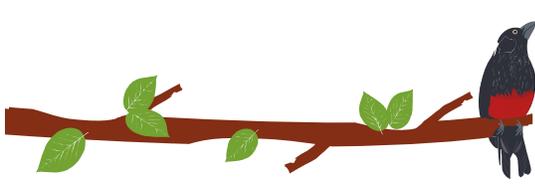
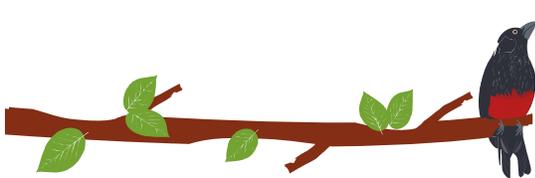


Figura 89. Propensividad de acuerdo con la precipitación media anual.  
Fuente: Elaboración propia

- **Temperatura (TEMP)**



Como fue descrita en la susceptibilidad, la temperatura presenta una relación con la ocurrencia de incendios (Moreno Rodríguez, Rodríguez-Urbieta, Zabala Espiñeira, & Martín, 2015), e incluida dentro de la amenaza por participar como un factor detonante. La temperatura corresponde a una característica cualitativa que mide el grado de calor, esta variable tiene una alta importancia dentro de la susceptibilidad para incendios forestales debido a que "las radiaciones térmicas producidas por su aumento, al llegar a una longitud de onda determinada, producen un fenómeno luminoso que se conoce como llama" (Dirección General de Protección Civil y emergencias - España, s.f.).

La temperatura oscila entre los 6 °C a los 28 °C en la cuenca en ordenación. En cuanto a la temperatura máxima absoluta, es clara la tendencia que marcan las series al ascenso desde el periodo 2002 y 2003. En estos dos años se evidenció un salto en todas las series de hasta 1 °C. La clasificación de la temperatura media anual para la cuenca es de muy frío a calido, la categoría de amenaza es de moderada a muy alta como se indica en la Tabla 44.

Tabla 44. Calificación de la temperatura media anual de la cuenca

TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
Nival (<1.5)	Muy Baja	1
Extremadamente frío (1.5 - 6)	Muy Baja	1
Muy frío (6 - 12)	Moderada	2
Frío (12 - 18)	Moderada	3
Templado (18 - 24)	Alta	4
Cálido (>24)	Muy Alta	5

Fuente: Elaboración propia

ETAPA DE PUBLICIDAD

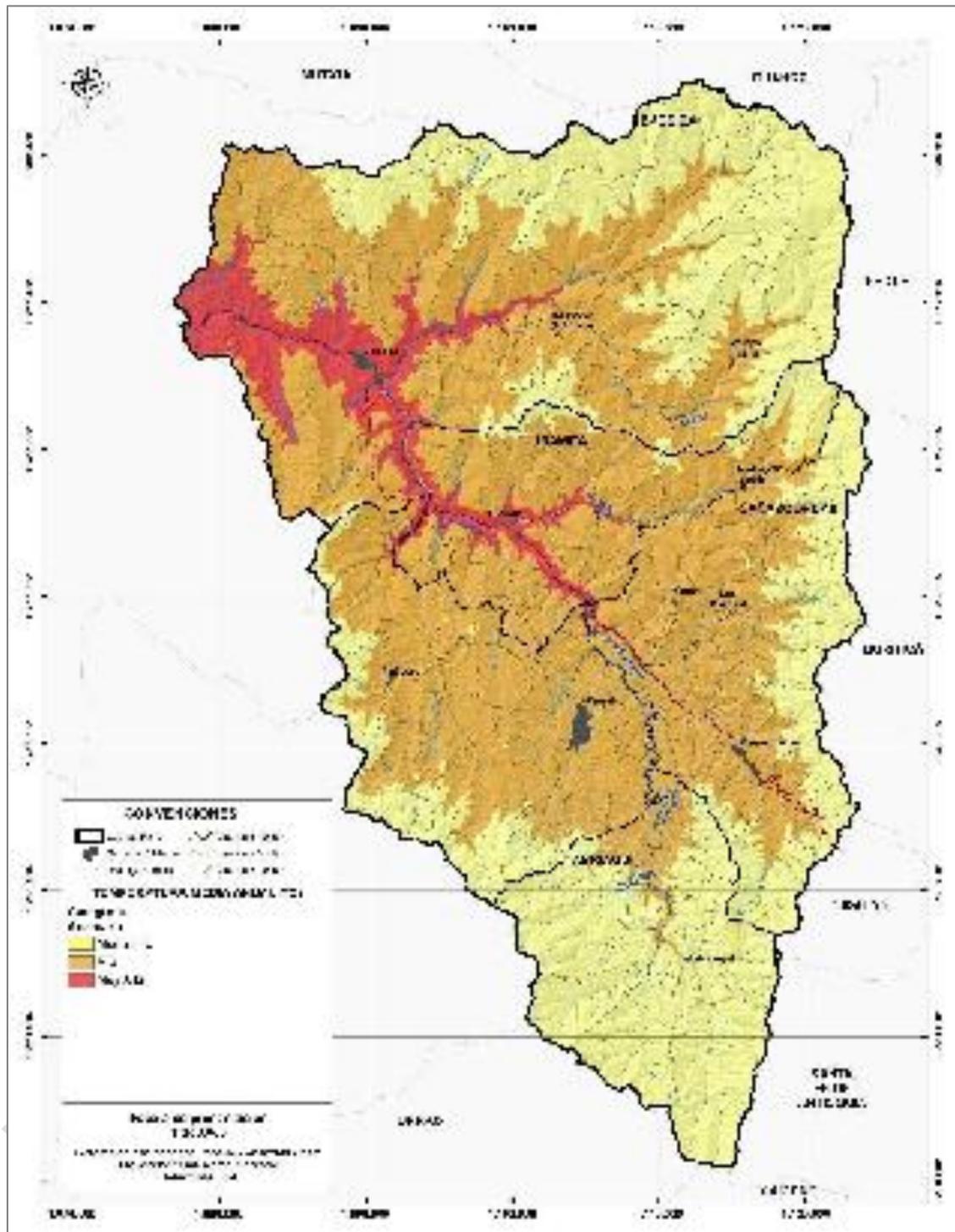
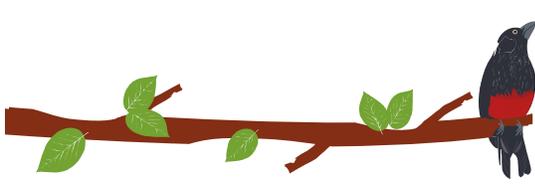


Figura 90. Propensividad de acuerdo con la temperatura media anual.  
Fuente: Elaboración propia

- **Pendiente (PEND)**

La Tasa de dispersión (TDISP) es la variable asociada directamente con la pendiente (PEND), con la que se busca evaluar la inclinación del suelo, cuyo aumento presenta una relación con la ampliación del área del incendio o la llamada tasa de dispersión del fuego (Butler, Anderson, & Catchpo, 2007), a mayores pendientes la propagación del fuego se acelera debido a que las llamas tienen una mayor proximidad a los combustibles (como la materia vegetal), el precalentamiento del combustible es más rápido y se genera con más facilidad la columna de convención (Boulandier, Esparza, Garayoa, Orta, & Anitua, 2001).

Con un porcentaje de 35,56% y en una superficie de 77.342,262 hectáreas, se localiza la pendiente definida como "Moderadamente escarpada o moderadamente empinada", 50-75%, (f), siendo la de mayor presencia en la cuenca río Sucio Alto, debido a las condiciones geomorfológicas y geológicas que reflejan su condición de pendiente. Presenta una categoría de amenaza de moderada a alta como se muestra en la Tabla 45, Tabla 46 y Figura 91

Tabla 45. Distribución de los porcentajes de pendientes de la cuenca.

RANGO DE PENDIENTES	ÁREA EN HA	ÁREA EN HA (%)
A nivel, 0,1% (a)	1.634,56	1,85
Ligeramente plana, 1-3% (a)	8.519,37	9,66
Ligeramente inclinada, 3-7% (b)	11.280,8	12,79
Moderadamente inclinada, 7-12% (c)	7.837,83	8,89
Fuertemente inclinada, 12-25% (d)	20.776,77	23,56
Ligeramente escarpada o ligeramente empinada, 25-50% (e)	28.767,33	32,62
Moderadamente escarpada o moderadamente empinada, 50-75% (f)	7.577,3	8,59
Fuertemente escarpada o fuertemente empinada, 75-100% (g)	1.418,79	1,61
Totalmente escarpada, >100% (g)	381,54	0,43
Total general	89.194,299	100,00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46. Calificación de las pendientes de la cuenca

PENDIENTE MEDIA (%)	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
0 - 7 %	Muy baja	1
7 - 12 %	baja	1
12 - 25 %	Moderada	2
25 - 75 %	Alta	3
> 75 %	Muy Alta	4

Fuente: Elaboración propia

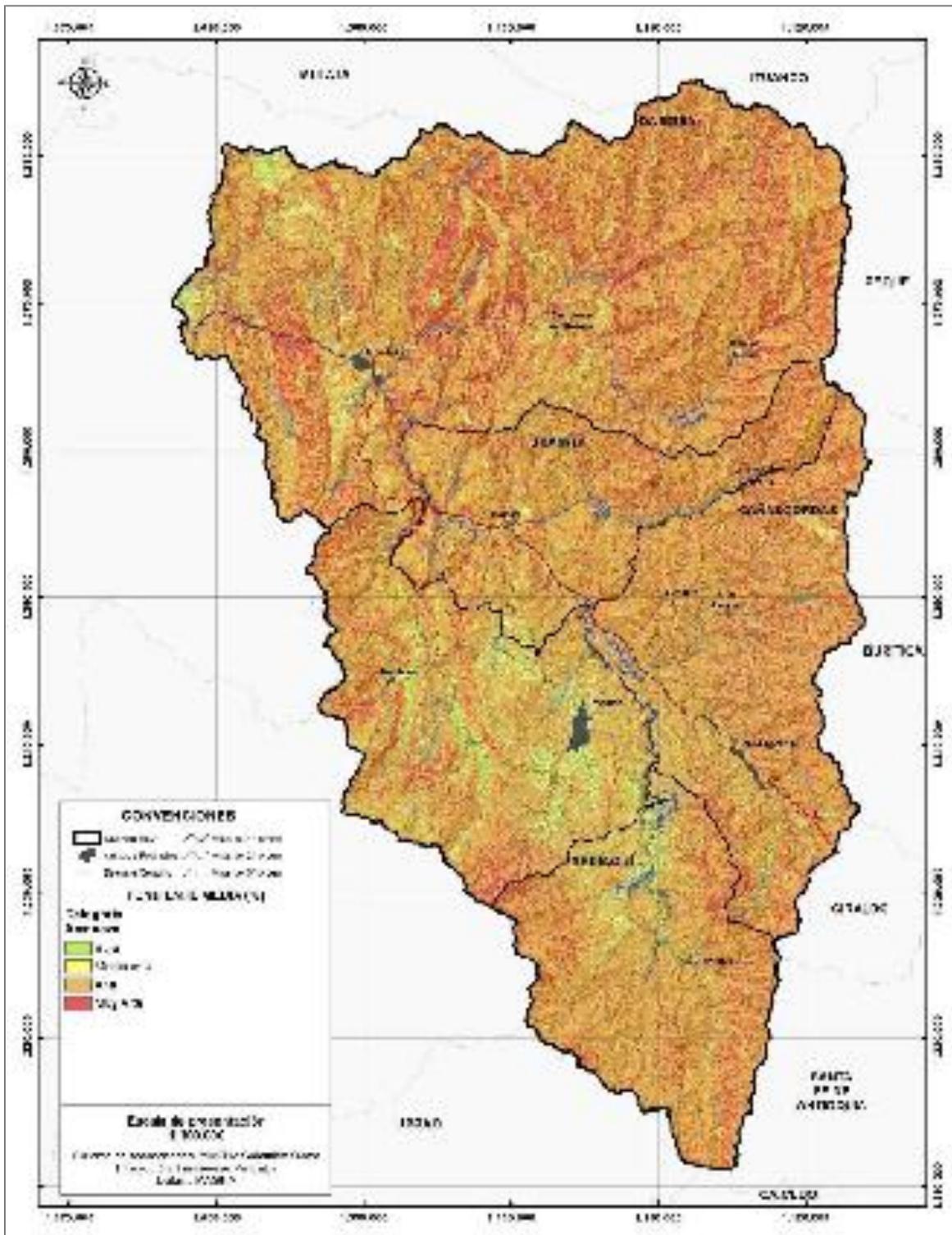
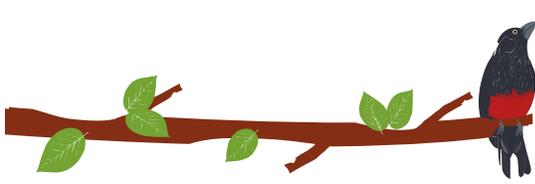
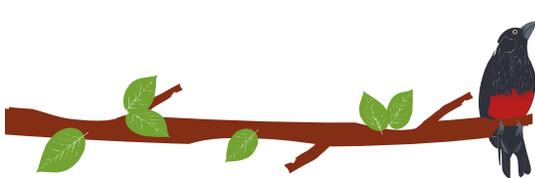


Figura 91. Propensividad de acuerdo con los porcentajes de pendiente de la cuenca.  
Fuente: Elaboración propia a partir del Modelo de Elevación Digital.

- **Accesibilidad (ACCES)**



La accesibilidad en este caso se mide como la distancia a vías corresponde a las zonas en las que por el paso de las vías se concibe presencia antrópica por la facilidad de acceso que genera, y el área es determinada mediante la obtención de la densidad vial de acuerdo con la influencia que esta presenta para cada pixel, adicionalmente se tiene en cuenta el tipo de vía, asignándole un peso de 5 a las de más alta categoría y disminuyendo una unidad por cada tipo. Este factor se considera parte de la amenaza, debido a que aumenta la probabilidad de que la población pueda llegar a las áreas de cobertura vegetal y generar focos de incendio.

- Formato: Vector tipo polígono.
- Fuente: IGAC escala 25.000

Este proceso, se realizó a partir del mapa vial (vías principales y secundarias), la generación de 4 zonas buffer cada una de 500 m de grosor; una vez generados los buffers, se procedió a su calificación para la generación de las amenazas que se pueden presentar sobre la cobertura por efecto de la mayor o menor posibilidad de acceso que se tenga sobre ellas, de acuerdo con los siguientes criterios Tabla 47:

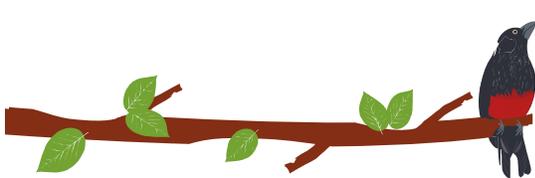
Tabla 47. Categorías de la amenaza por la accesibilidad.

DISTANCIA A LA VÍA (GROSOR DEL BUFFER en m)	CATEGORIA DE AMENAZA
0 - 500	MUY ALTA
500 - 1000	ALTA
1000 - 1500	MODERADA
1500 - 2000	BAJA
Más de 2000	MUY BAJA

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 92 se espacializa la variable de accesibilidad.





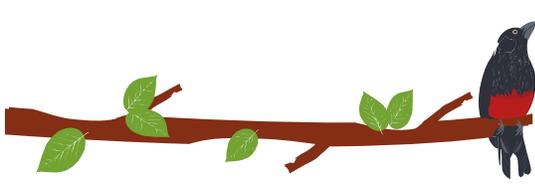
- **Factores históricos.**

La incorporación de información del carácter histórico sobre los incendios forestales en la evaluación de la amenaza se realiza a partir de la consolidación de la información se realiza a partir de la revisión de fuentes secundarias, en las que se describe su ubicación por asociación a proximidad de puntos o zonas de referencia. Permite identificar eventos de incendios forestales basados en la frecuencia de ocurrencia y la causalidad o afectación de los mismos descritos con mayor detalle el capítulo de análisis de eventos por incendios forestales.

El aumento y la densificación de la población de la cuenca, la presión creciente sobre los recursos naturales y el acceso a ellos y el deterioro ambiental, han dado como resultado que cada vez se presenten con mayor frecuencia fenómenos naturales, como los incendios de la cobertura vegetal, los cuales producen pérdidas irreparables sobre el patrimonio natural de la cuenca, los bienes y la infraestructura. Para el caso puntual de incendios forestales CORPOURABA genero un levantamiento de información con el uso de herramientas SIG combinada con datos geográficos en tiempo real aportados por el programa LANCE-MODIS de la NASA arrojó que en la jurisdicción de CORPOURABA en el periodo 2000-2013 se presentaron 856 incendios, En la regional Nutibara registro 109 eventos (13%).

ETAPA DE PUBLICIDAD





reportes consolidados del área total afectada por tipo de cobertura para cada departamento.

En la Figura 94 se presenta el calculo de la frecuencia de ocurrencia de eventos a incendios forestales.

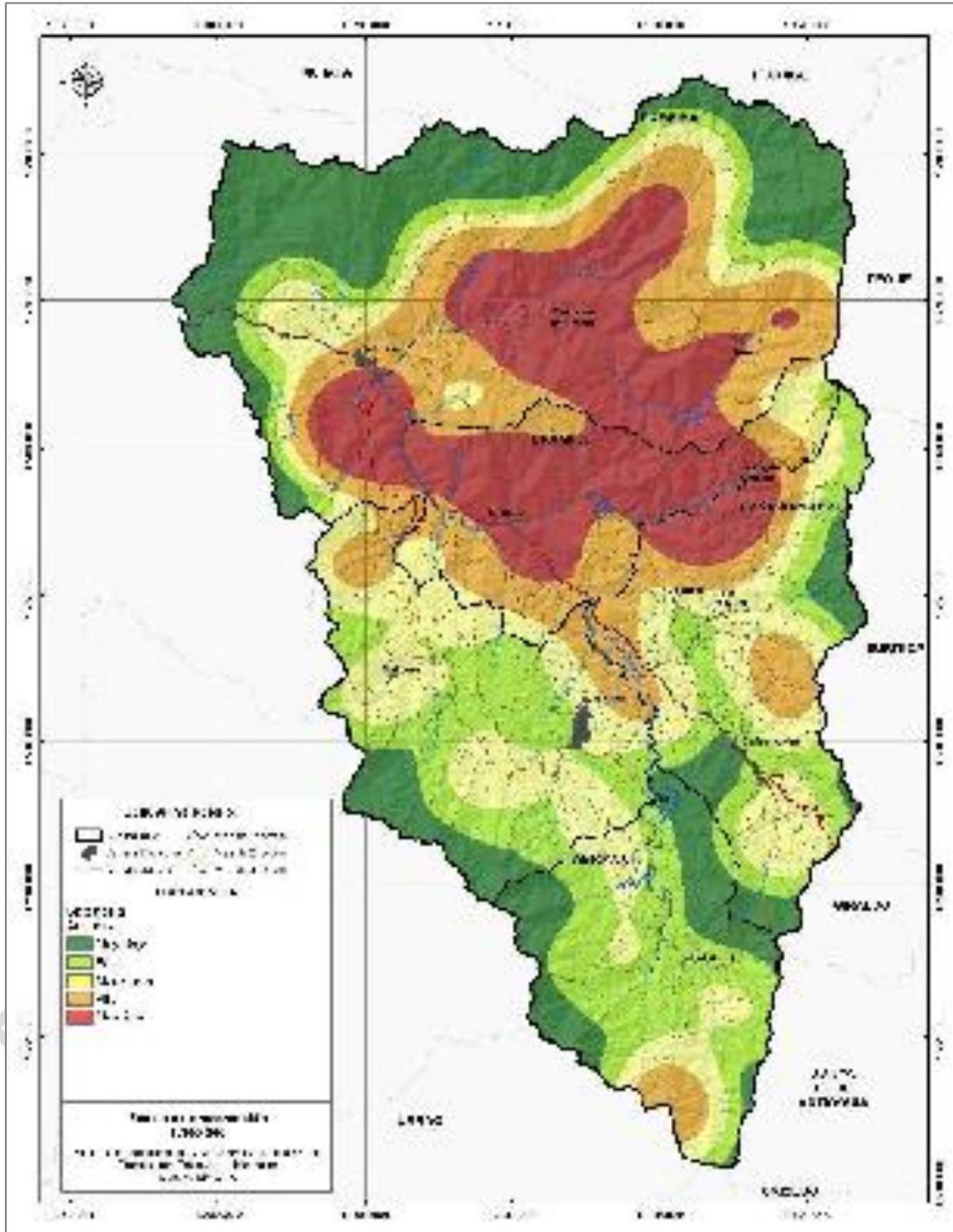
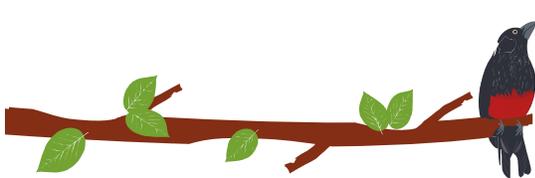


Figura 94. Calificación del factor histórico en función a la amenaza a incendios forestales.  
Fuente: Elaboración propia



### 7.5.2.8 Zonificación de la amenaza por incendios de la cobertura vegetal

En virtud de los factores condicionantes y detonantes a la ocurrencia de un incendio forestal sumados a la susceptibilidad de la vegetación a presentar un evento de ignición se obtiene el mapa de amenaza a incendios forestales para la cuenca hidrográfica del río Sucio Alto (ver Figura 95),

Los factores que más contribuyen a zonificación de amenaza en la cuenca son en orden de incidencia: la temperatura (Mayor a los 24 grados hacia el norte de la cuenca, municipio de Dabeiba y Uramita), precipitación (moderada en casi toda la cuenca y alta en las partes altas de la divisoria de aguas), susceptibilidad de la vegetación, (alta, y moderada en menor proporción), accesibilidad (moderada, alta y muy alta), pendiente (muy alta y alta) y factor histórico predominantemente moderado y muy alto al norte de la cuenca municipios de Dabeiba y Cañasfordas.

Dado que la cuenca hidrográfica cuenta con calificaciones de amenaza por incendios forestales media y alta se debe tener en cuenta esta como una de las amenazas a priorizar dentro de la ejecución de planes municipales orientados a la mitigación del riesgo.

Como se ha mencionado anteriormente, el clima en Colombia presenta ciertas anomalías a través del tiempo, siendo la más destacadas el Fenómeno del Niño, la cual tiene mayor incidencia en la generación de incendios de la cobertura vegetal, por esta razón se hizo conveniente realizar el análisis de la susceptibilidad bajo las variaciones espaciales de precipitación y temperatura que esta anomalía climática genera en el territorio colombiano.

ETAPA DE PUBLICIDAD

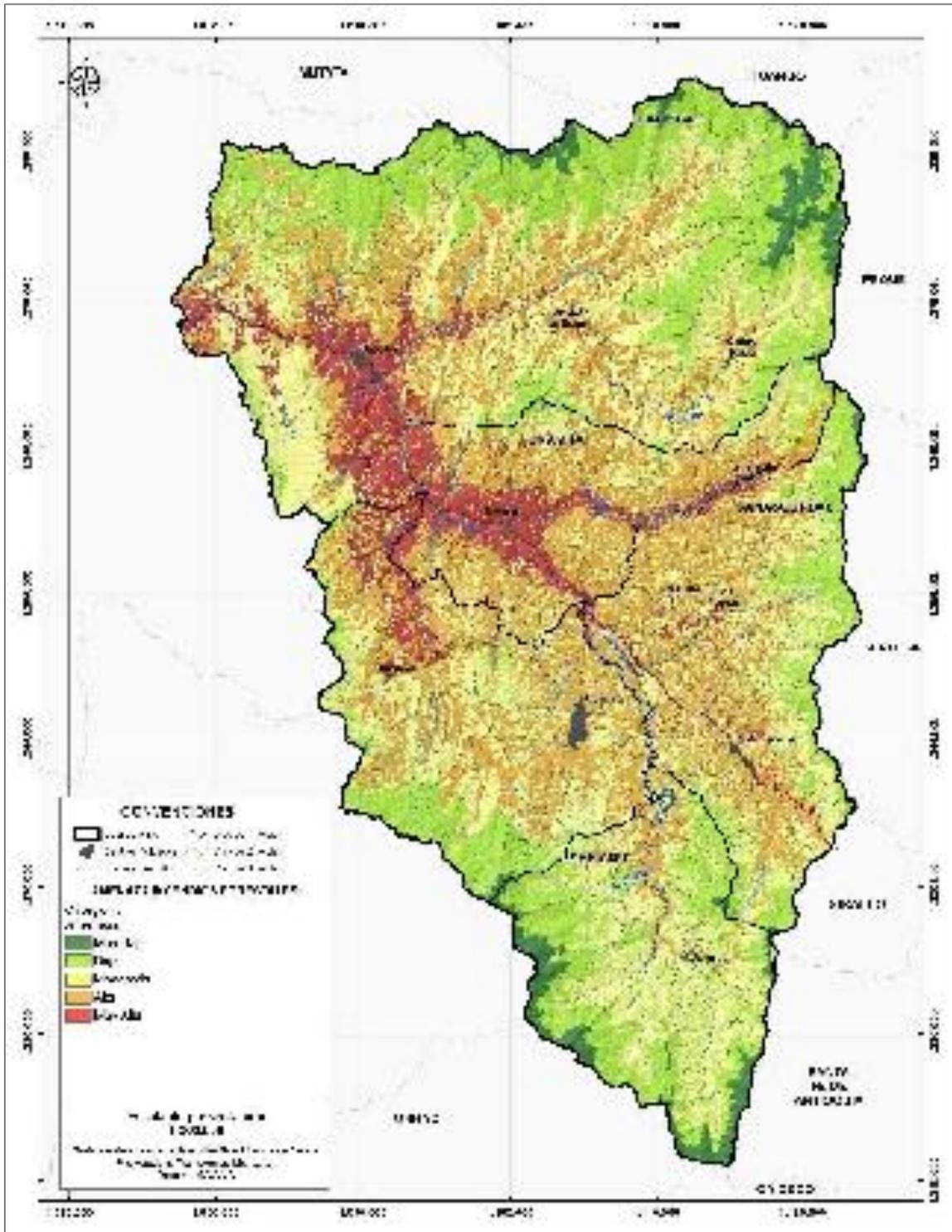
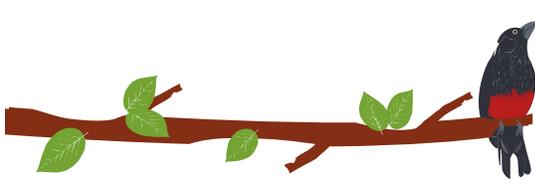


Figura 95. Amenaza por incendios forestales.  
Fuente: Elaboración propia.

## 7.6 ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad es un factor intrínseco del riesgo que permite analizar los diversos escenarios de las diversas amenazas de forma integral ya que cuando se analiza únicamente la amenaza quedan excluidos factores que caracterizan a los diversos actores del riesgo y su relación con la dinámica de la cuenca.

Es imprescindible evaluar la afectación, de manera que las posibles consecuencias no solo estén relacionadas con el impacto del suceso, sino también con la capacidad para soportar el mismo en la zona de estudio, por ende, se hace necesario determinar la zonificación de vulnerabilidad a través de tres indicadores: exposición, fragilidad y falta de resiliencia.

“La vulnerabilidad es el factor del riesgo interno al sujeto, objeto o sistema expuesto a una amenaza, que corresponde a su disposición intrínseca a ser dañado. El análisis del riesgo tiene como objetivo fundamental determinar las pérdidas que pueden sufrir en lapsos dados los activos expuestos, como consecuencia de la ocurrencia de amenazas naturales, integrando de manera racional las incertidumbres que existen en las diferentes partes del proceso” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

Desde el contexto teórico presentado, la vulnerabilidad como componente del riesgo se presenta en la siguiente forma:

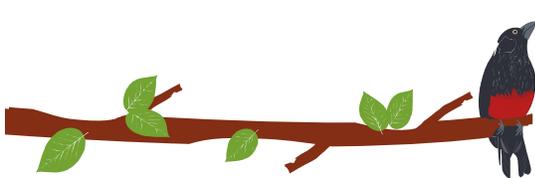
$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}$$

Donde la vulnerabilidad a su vez se define como:

$$\text{Vulnerabilidad} = [\text{Exposición} \times \text{fragilidad} \times \text{falta de resiliencia}]$$

Luego de calificar y normalizar las variables se asocian los factores en pares con el fin de asignar por medio de una proporción numérica estándar, la importancia que tiene cada uno en relación con el objetivo a evaluar en comparación con el resto de factores incluidos (donde 1 es igualmente importante y 9 es extremadamente más importante), de esta manera se obtiene la matriz de comparación por pares (Saaty, 1990).

Dentro de las actividades contempladas en los anexos técnicos del proyecto, así como en el Protocolo para la Incorporación de la Gestión de Riesgo en POMCAS se define cada uno de los índices implícitos en el cálculo de vulnerabilidad y las variables involucradas en la evaluación de cada uno, presentando así, zonificación y análisis de exposición, fragilidad y falta de resiliencia para la cuenca del río Sucio Alto. Gran parte de la información utilizada para la evaluación de las condiciones de vulnerabilidad para la zona de estudio se construyó a lo largo de la fase diagnóstica del POMCA, principalmente de los componentes social, económico y de caracterización básica de la cuenca y se complementó con informes, estadísticas y encuestas recopiladas en las diversas fases del proyecto, esta información se trató de llevar al detalle de municipios y veredas en

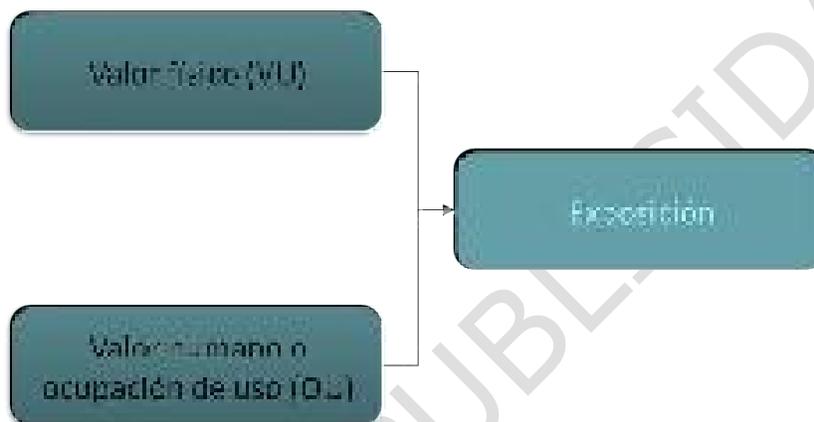


gran parte de las variables para que se observara un contraste a mayor escala dentro de la información recopilada.

### 7.6.1 Exposición

Es el factor que se mide por medio del índice de pérdidas evaluando el volumen normalizado del valor físico y valor humano del área de estudio, orientado a la valoración de reposición de los elementos expuestos como lo muestra la Figura 96.

Figura 96. Variables que incluyen la exposición de función a la vulnerabilidad



Fuente: Elaboración propia

- Valor físico o costo de reposición (vu)

Corresponde al valor normalizado por hectárea de la zona de estudio (orientado como valor de reposición), en donde 0 son aquellos suelos que tienen un bajo costo y 1 zonas con altos costos, establecido por zonas cuya configuración está directamente relacionada con la disposición de la información sobre la valoración económica de los elementos expuestos, y que pueden llegar a componer espacios geográficos de una región con características similares en cuanto a su precio (DECRETO 1420, 1998) (ver Figura 97).

- Formato: Vector, tipo polígono.
- Fuente: IGAC, planeación y Formulación POMCA río Sucio Alto 2018.



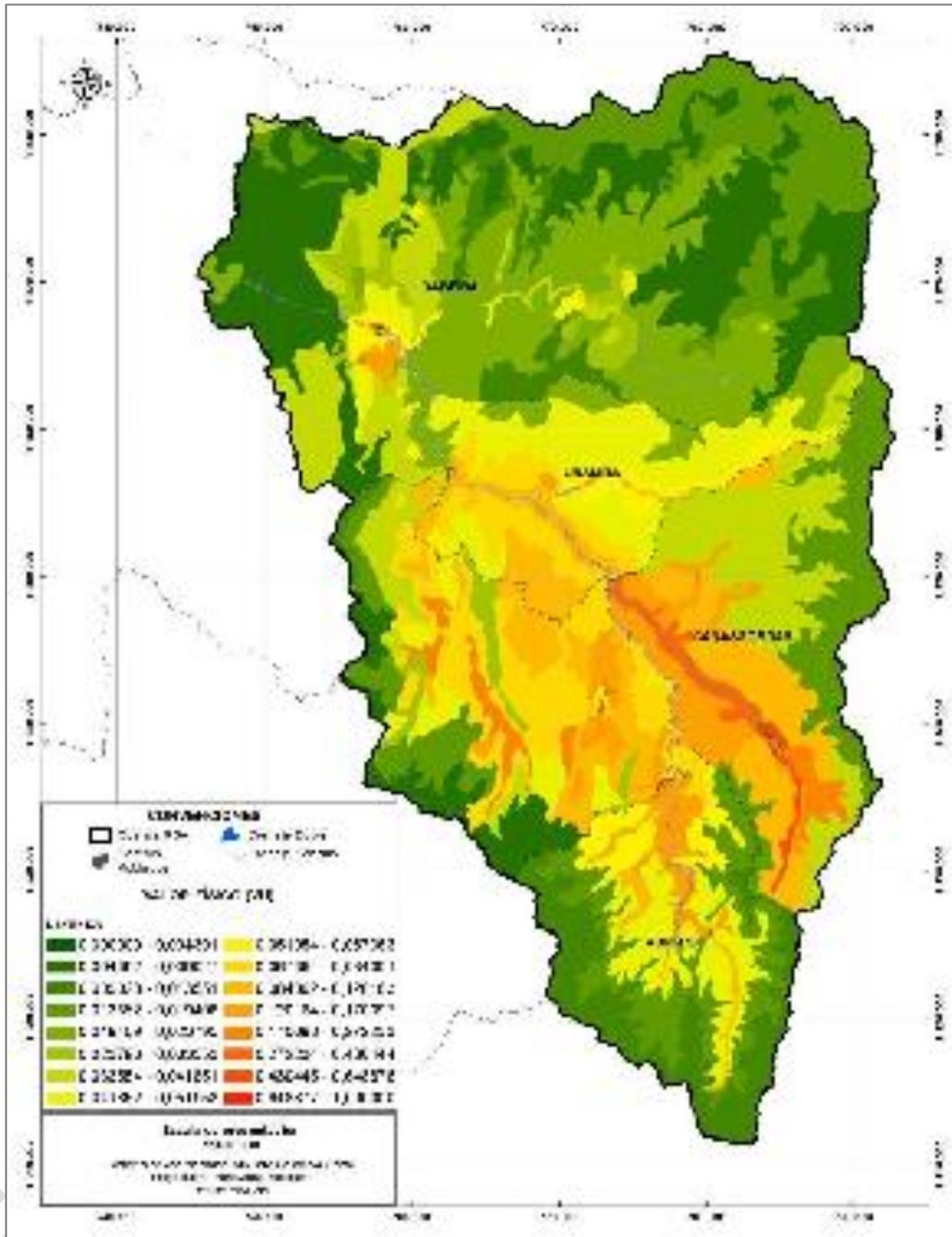
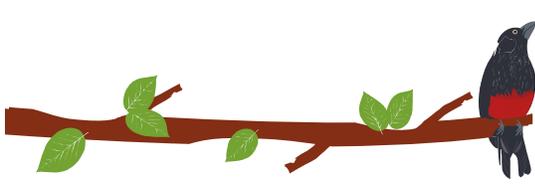
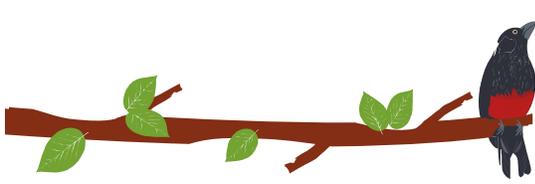


Figura 97. Valor de uso o valor físico.  
Fuente: Elaboración propia a partir de información catastral y de campo

- Valor humano u ocupación uso (OU)

Corresponde a la cantidad normalizada de habitantes expuestos, que al igual que el valor físico, su zonificación depende de la disposición de la información de acuerdo con el área



de evaluación y las características de su configuración espacial con valores de densidad de población por hectáreas estandarizados en valores entre 1-0 (ver Figura 98).

- Formato: Vector tipo polígono.
- Fuente: DANE.

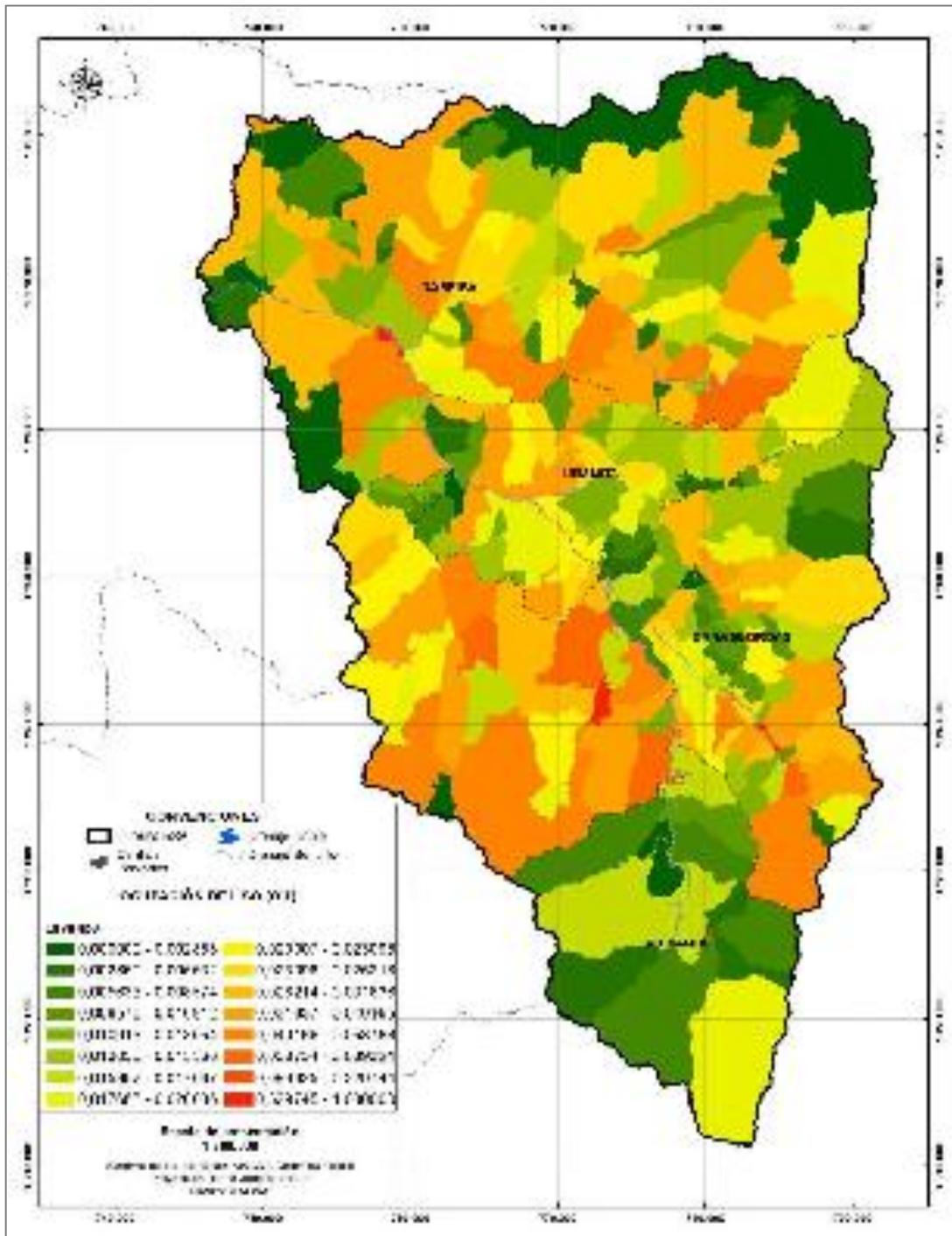
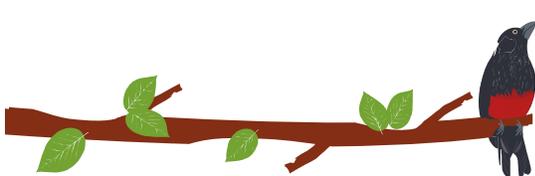


Figura 98. Valor de ocupación.

Fuente: Elaboración propia a partir de información catastral



Para la evaluación del índice de exposición se recurrió al análisis de procesos jerárquicos, realizando la matriz de importancia de comparación entre pares (Tabla 48 y Figura 99), donde 1 es igualmente importante una variable respecto a la otra y 9 indica que la variable es extremadamente importante respecto a la comparada.

Tabla 48. Matriz de comparación por pares para variables de exposición

<b>MATRIZ INICIAL</b>	<b>USO</b>	<b>OCUPACIÓN</b>
Uso	1,00	0,33
Ocupación	3,00	1,00

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se realizó la matriz inconsistente y con ello la elaboración del vector de valores propios que corresponde al cálculo de los pesos de importancia para cada una de las variables que integran la ponderación total del modelo. Para determinar la consistencia de las ponderaciones de las variables; se calculó la razón de consistencia, indicando que el 1.8% de la asignación de los pesos obtenidos por la matriz de comparación entre pares genera inconsistencias, dicho valor indica que existe una buena coherencia y pertinencia de la relación de las variables dentro del modelo (ver Tabla 49).

Tabla 49. Pesos asignados para variables de exposición (vector de valores propios)

<b>VARIABLES</b>	<b>PESOS (%)</b>
<b>Uso</b>	0.35
<b>Ocupación</b>	0.65

Fuente: Elaboración propia

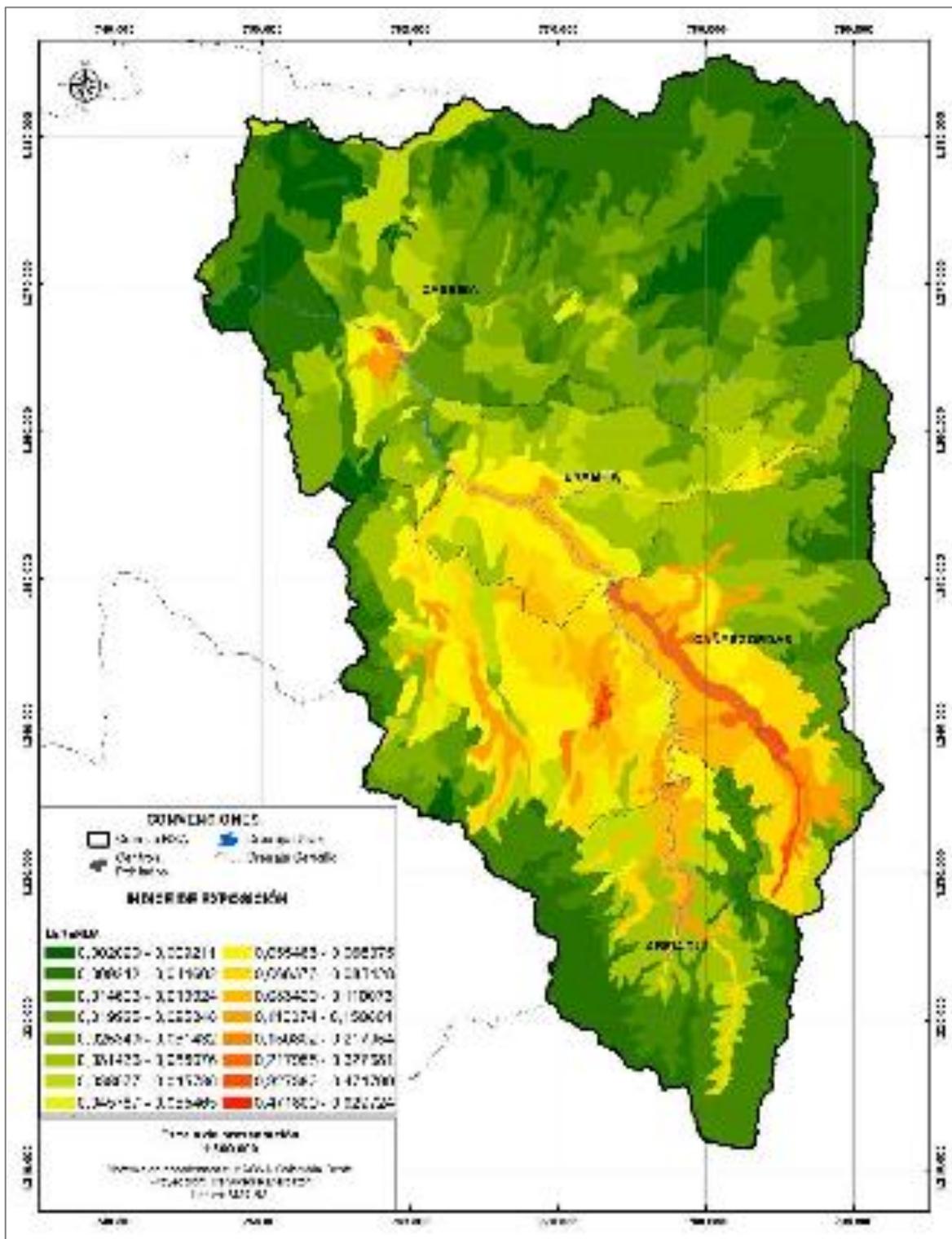
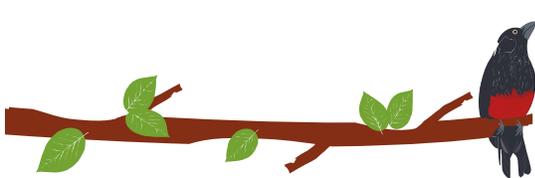
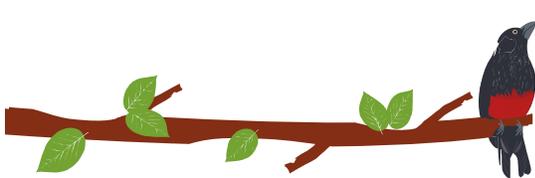


Figura 99. Índice de exposición.

Fuente: Elaboración propia a partir del valor de uso y valor de ocupación

Finalmente, al realizar relaciones de importancia y pertinencia de variables por procesos analíticos jerárquicos se obtiene el índice de exposición en donde predomina el índice de



exposición bajo en la cuenca, con excepción de algunos sectores centrales de la cuenca en los municipios de Frontino y Dabeiba, además del corredor vial que conecta la cuenca con los dos polos de desarrollo como son: Medellín y Uraba. En estos sectores los índices de exposición tienden a ser medios y altos.

### 7.6.2 Fragilidad

Este factor hace referencia a la predisposición de los elementos expuestos a ser afectados por la ocurrencia de un evento por su fragilidad física, social o ecosistémica como lo muestra la Figura 92.

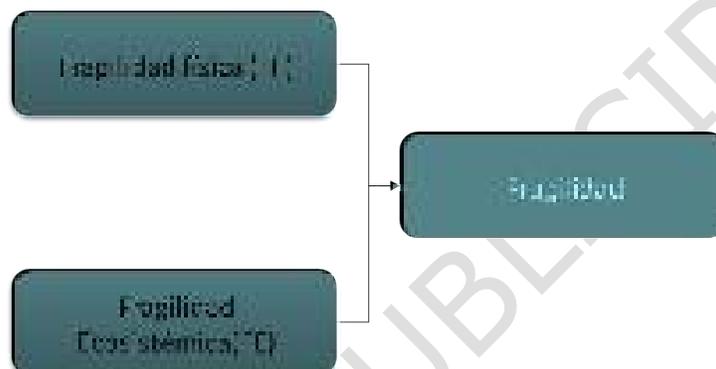


Figura 100. Variable que incluyen la fragilidad de función a la vulnerabilidad  
Fuente: Elaboración propia

#### 7.6.2.1 Fragilidad física (FF)

La fragilidad física o susceptibilidad física se evaluará en la misma forma para los eventos amenazantes: movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales, y será uno o cero si el elemento expuesto está ubicado en la zona de amenaza alta o baja respectivamente. Es con base en este criterio entre otros, que la Ley 388 de 1997, identifica las zonas de amenaza como determinante ambiental. En la Tabla 50 se presenta el índice de fragilidad física propuesta para los POMCA.

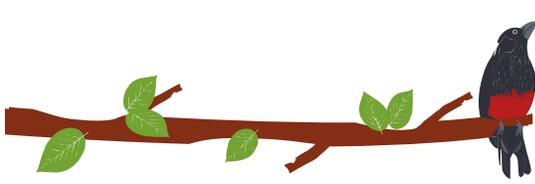
Tabla 50. Fragilidad física

Nivel de Amenaza	Índice de Fragilidad física
Alta	1
Media	0.5
Baja	0

Fuente: Elaboración propia.

Bajo dichos supuestos, se presenta fragilidad física en función expresa y exclusiva de cada amenaza en la Figura 101, Figura 102, Figura 103 y Figura 104, la cual influye en la estimación de las vulnerabilidades presentadas más adelante para cada fenómeno





amenazante específico a saber: movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales e incendios forestales.

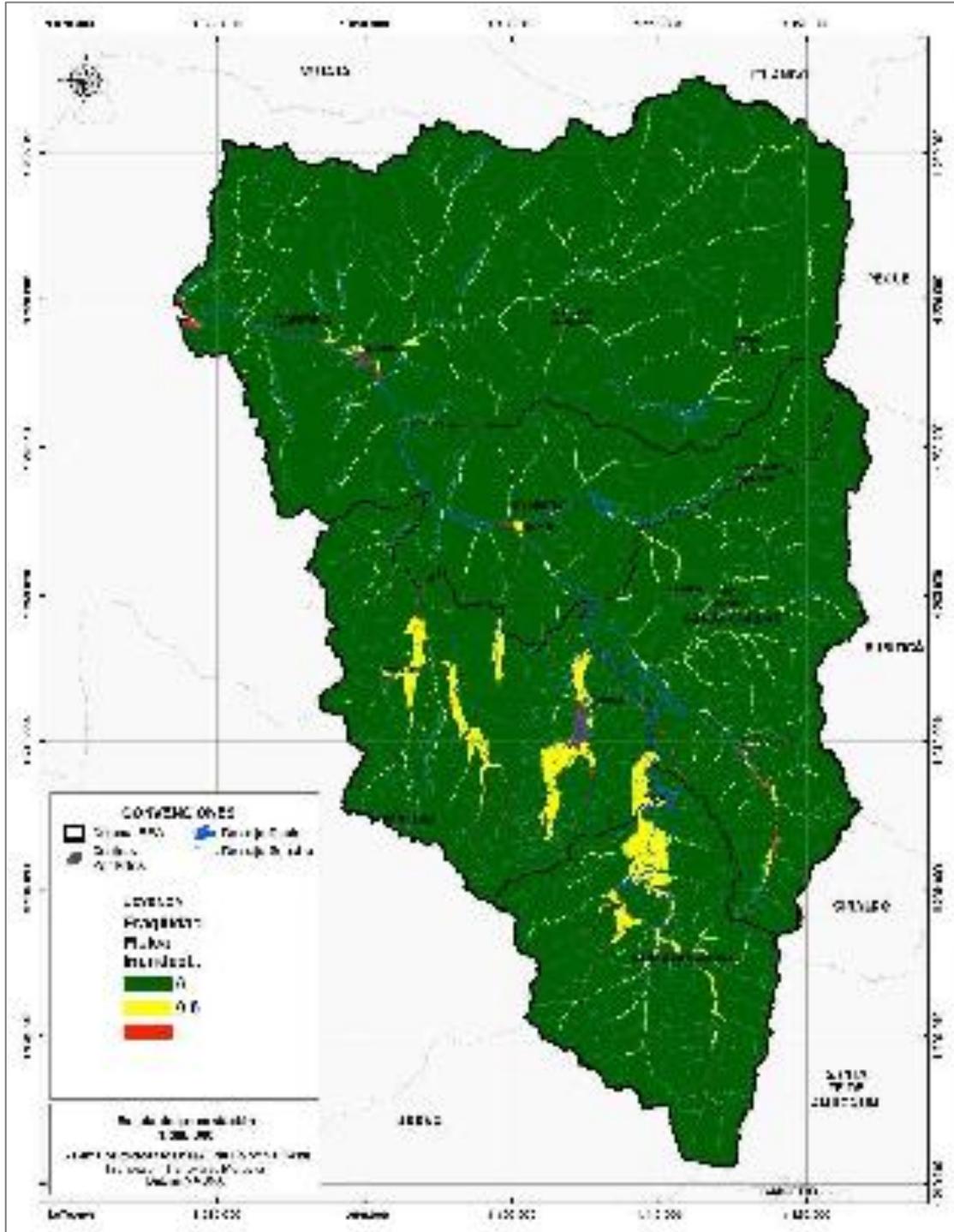


Figura 101. Fragilidad física por inundación. Fuente: Elaboración propia

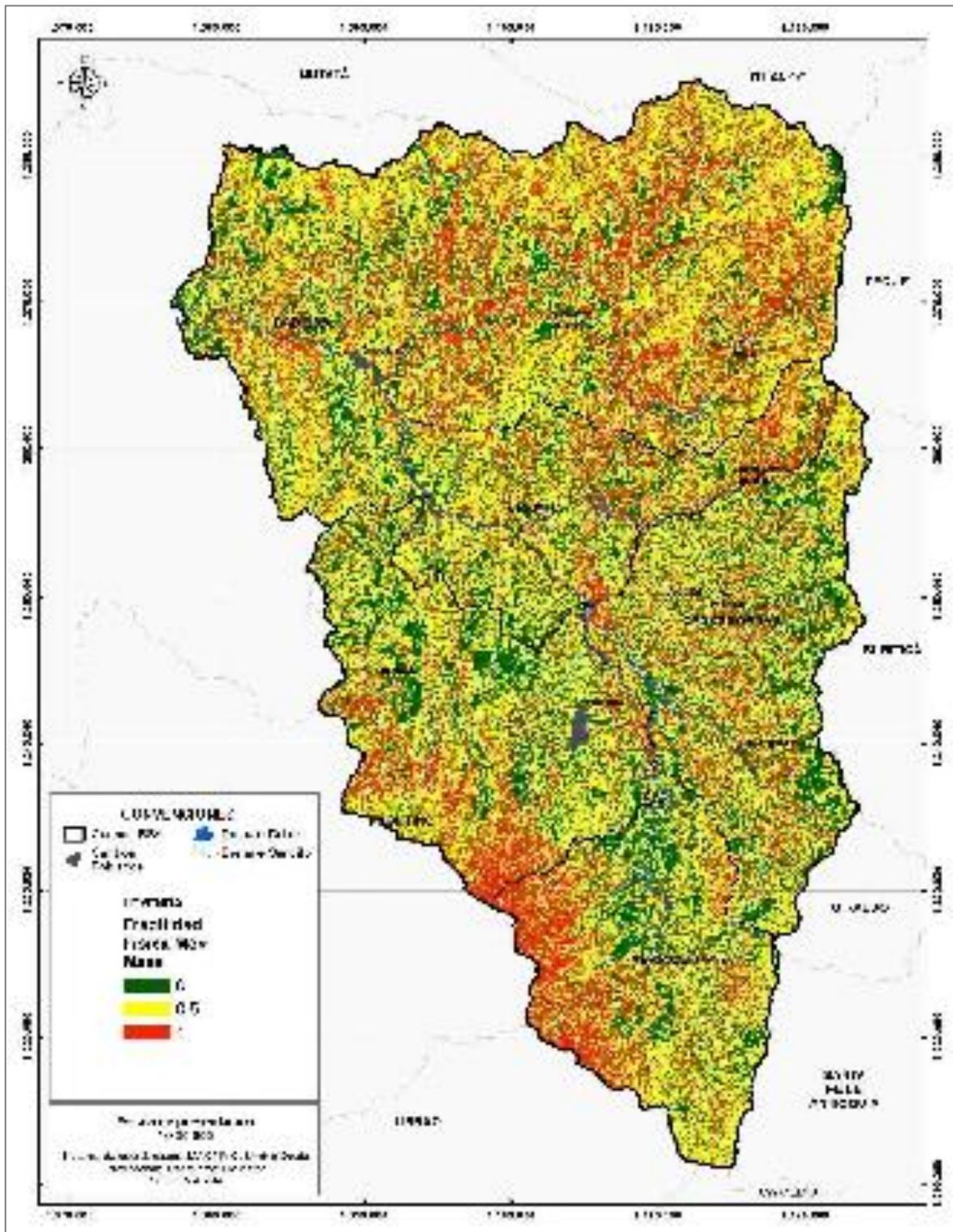
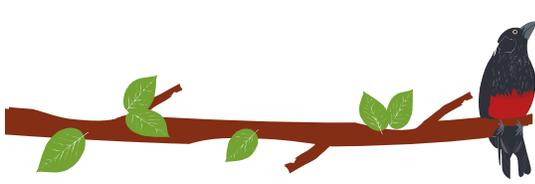
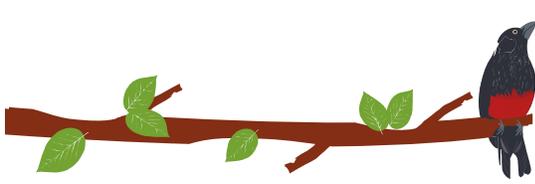


Figura 102. Fragilidad física por movimientos en masa.  
Fuente: Elaboración propia



PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO  
FASE DE FORMULACIÓN

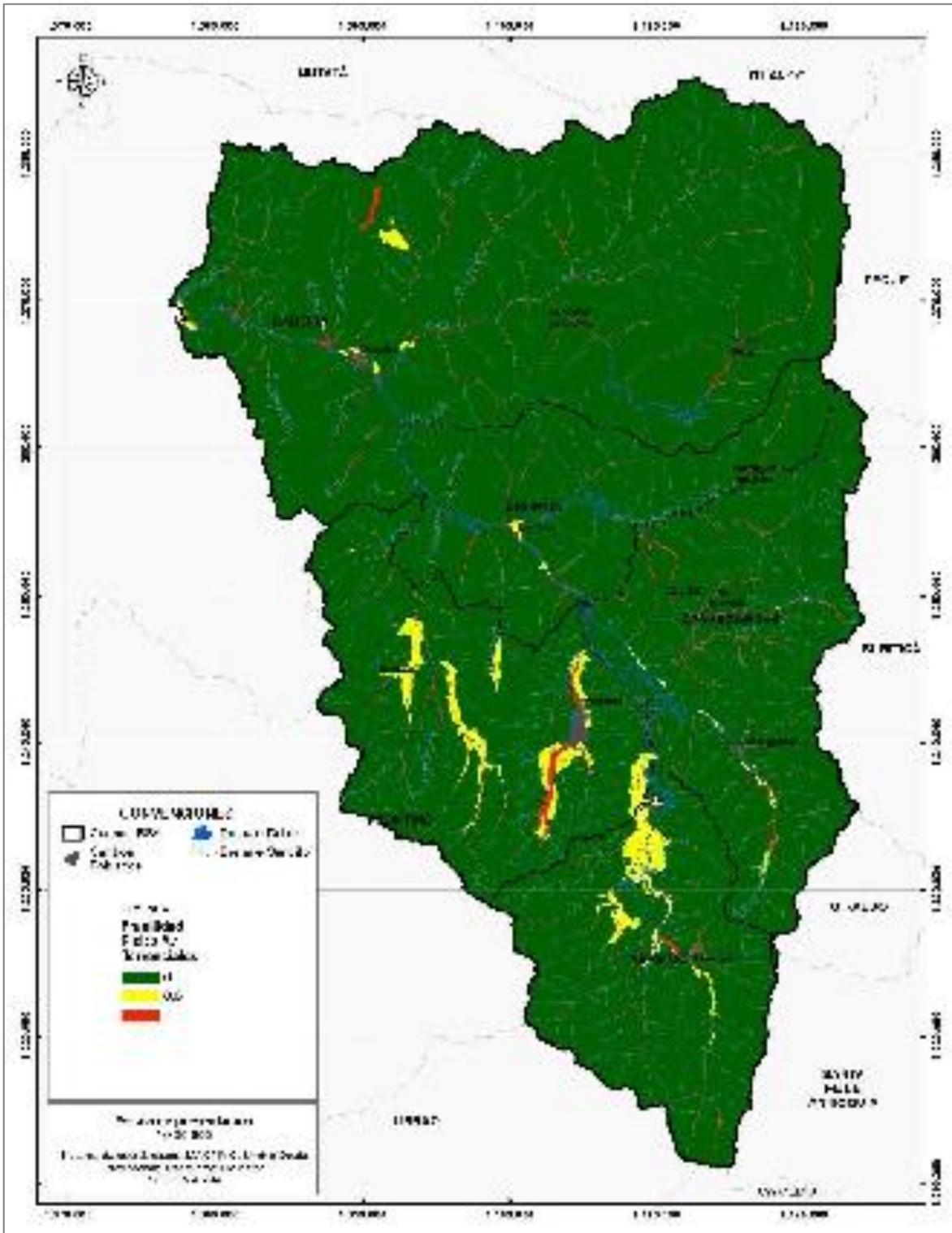


Figura 103. Fragilidad física por avenidas torrenciales.  
Fuente: Elaboración propia



### 7.6.2.2 Fragilidad sociocultural

La adopción de este índice es una adaptación a la metodología de evaluación de la vulnerabilidad presentada por la Universidad Nacional (2013). En la evaluación de la fragilidad sociocultural se debe tener en cuenta que las coberturas que indican la presencia de los asentamientos humanos son el tejido urbano y el tejido urbano discontinuo. La fragilidad socio cultural es la suma del índice de Calidad de Vida (ICV) que se presenta en la Tabla 51 y el índice de fragilidad cultural que se muestra en la Tabla 52.

El primer índice (Tabla 51) y con fines de POMCAS se calcula con base en el uso de la variable Índice de Condiciones de Vida (ICV), información disponible en el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y en el Sistema de información geográfica para la planeación y el ordenamiento territorial nacional (SIGOT).

Se optó por esta variable porque el ICV está vinculado con la susceptibilidad desde los niveles de marginalidad o exclusión social. El Índice de Calidad de Vida (ICV), refleja las condiciones socioeconómicas de los hogares urbanos y rurales de las áreas en estudio en cuanto a las variables de análisis que están relacionadas con educación y capital humano, calidad de la vivienda y tamaño y composición del hogar. El mínimo normativo garantizado por la Constitución es de 67 (Fondo Adaptación, 2014). La Tabla 51 muestra los valores y las categorías para la evaluación del ICV. Entre más bajo sea el valor del ICV la fragilidad será mayor. El índice de calidad de vida (ICV) varía entre 0 y 0.5. En la Figura 105 se espacializa el índice de calidad de vida

La dimensión cultural se incluye de forma indirecta puesto que existen coberturas, que aunque no están ocupadas por población, se constituyen en patrimonio natural o en áreas apropiadas para el desarrollo de actividades de aprovechamiento del espacio público o de fuentes de subsistencia de comunidades, como por ejemplo los bosques, las áreas verdes, los cuerpos de agua, entre otros; para ello es necesario que el grupo de expertos defina las áreas de interés o patrimonio natural propios de la región en estudio.

Las áreas que se definan como de dimensión cultural y que definen la "fragilidad cultural" se deben determinar a través del juicio de expertos, si es positivo en alguno de los casos anteriores el valor de la calificación es 0,5 pero si es negativo se calificará con 0,0.

Tabla 51. Valores ICV y categorías para la evaluación de coberturas "tejido urbano" y "tejido urbano discontinuo".

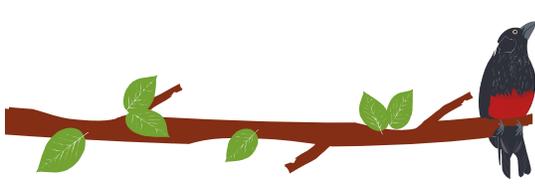
ICV y fragilidad sociocultural		
Valor	ICV	Categoría
0,1	Mayor de 80	Baja
0,25	Mayor de 67 y menor que 80	Media
0,5	Menor de 67	Alta

Fuente: Universidad Nacional de Colombia (2013).

Dados estos aspectos, a continuación, se presentan las generalidades.

Tabla 52. Categorías para la evaluación de la "fragilidad cultural".

Fragilidad cultural (Fc)		
Valor	Áreas de Patrimonio Natural o Dimensión cultural	Categoría fragilidad
0,0		Baja
0,25		Media
0,5		Alta



Fuente: Universidad Nacional de Colombia (2013).

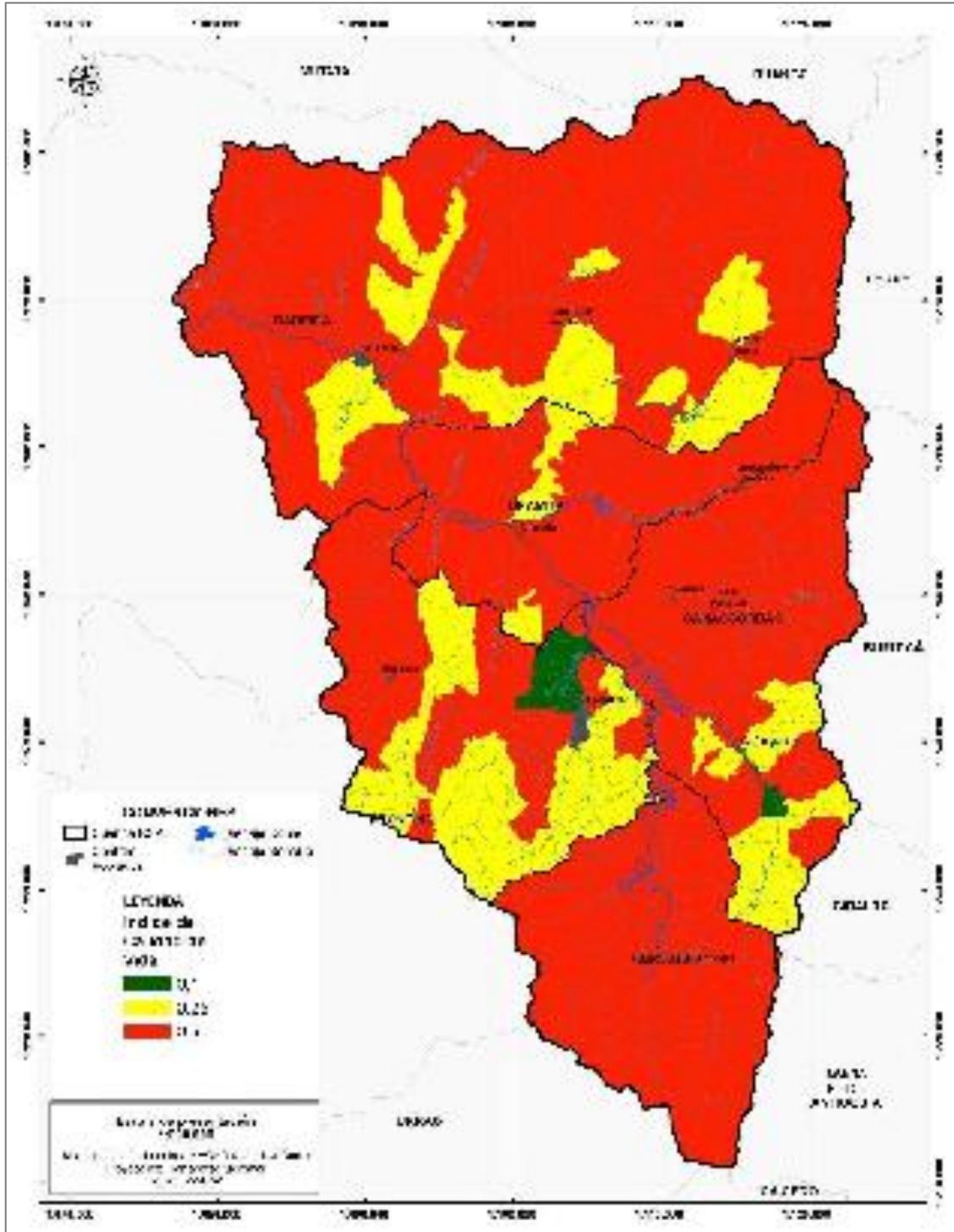


Figura 105. Índice de calidad de vida ICV.  
Fuente: Elaboración propia

Otro coeficiente que se tuvo en cuenta para el cálculo del índice de fragilidad sociocultural son las necesidades básicas insatisfechas NBI ver Figura 106.

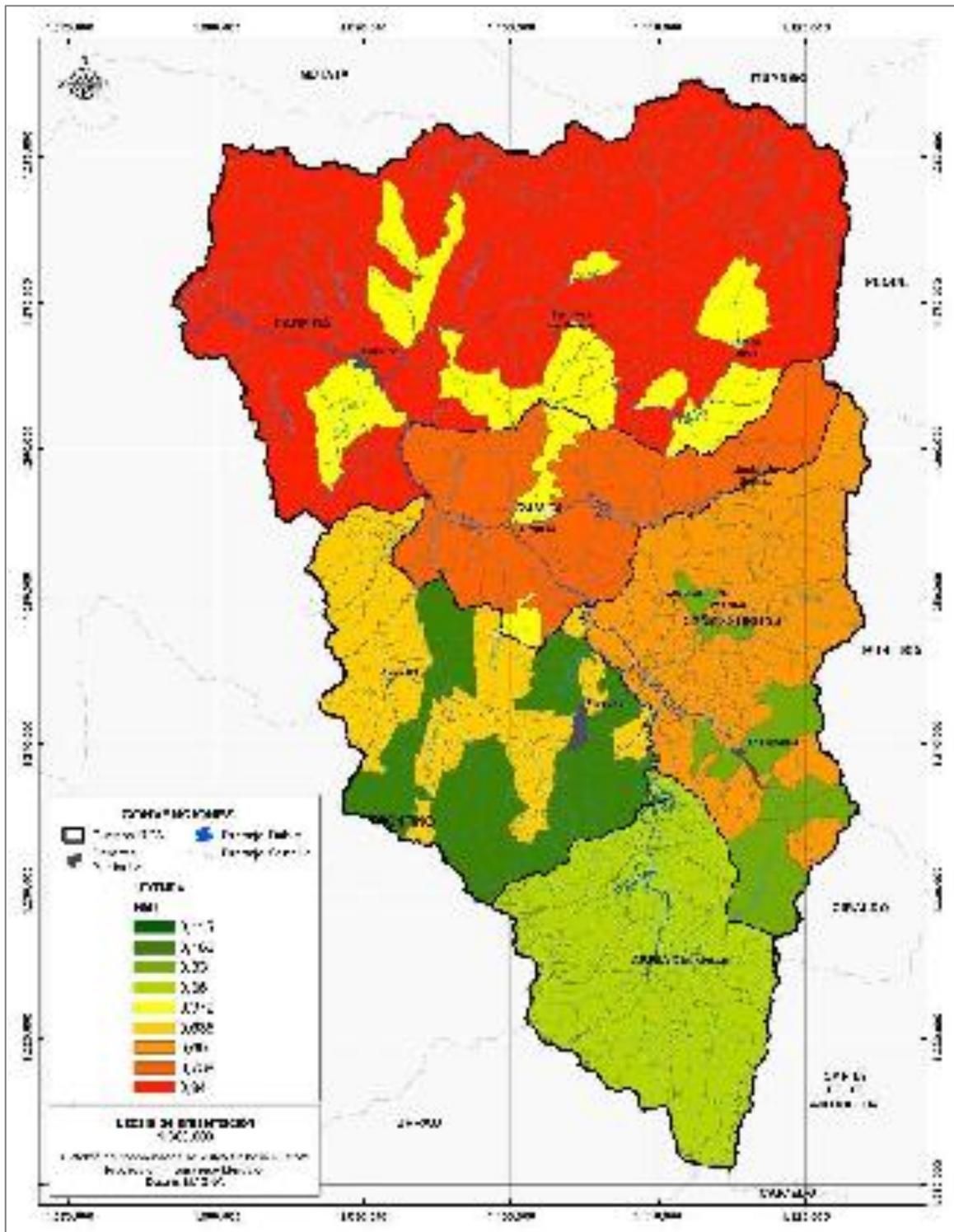
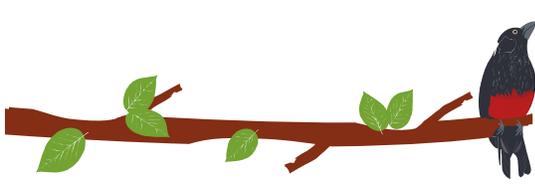
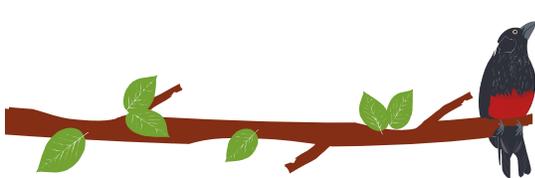


Figura 106. Índice de necesidades básicas insatisfechas NBI. Fuente: Elaboración propia

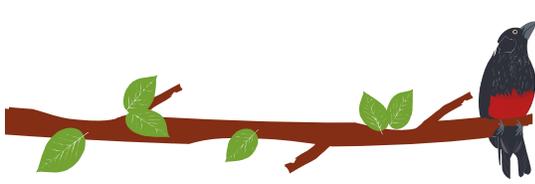
La región de occidente lejano se ha caracterizado por haber estado marcada por casos de violencia y arraigadas disparidades sufridas por su población. Se presentan NBI altos lo que señala las condiciones de pobreza en la que viven algunos sectores de la cuenca.



También se tuvo en cuenta para el cálculo de la fragilidad sociocultural el grado de escolaridad. En el área de la cuenca se observa que la población tiene nivel educativo de básica primaria y básica secundaria. Igualmente, se observan valores altos en la población que no tiene ningún nivel educativo. Los niveles de preescolar son de bajos a medios para todos los municipios, lo que significa que la mayoría de la población obvia este nivel e inicia su formación educativa con básica primaria (grado 1). El nivel educativo de media técnica presenta bajos porcentajes en la población de la cuenca Río Sucio Alto con valores de 33,25%; asimismo sucede con la educación superior, en la cual solo el 5,6% de los jóvenes de la cuenca inician su carrera técnica o universitaria, así como el normalista el cual es casi nulo. Este valor es importante pues el nivel de escolaridad de la población repercute en las decisiones de la protección de los recursos naturales. En la Figura 107 se espacializa el indicador de no escolaridad, que son valores que van de 15% que significa que dicha área se encuentra dicho porcentaje de descolarización en la población, hasta el 25%.

ETAPA DE PUBLICIDAD





$$\text{FRAGILIDAD SOCIOCULTURAL} = \text{CONDICION DE VIDA (ICV)} + \text{DIMENSION CULTURAL (FC)} + \text{NBI} + \text{No escolaridad}$$

En la Figura 108, se presenta el índice de fragilidad sociocultural

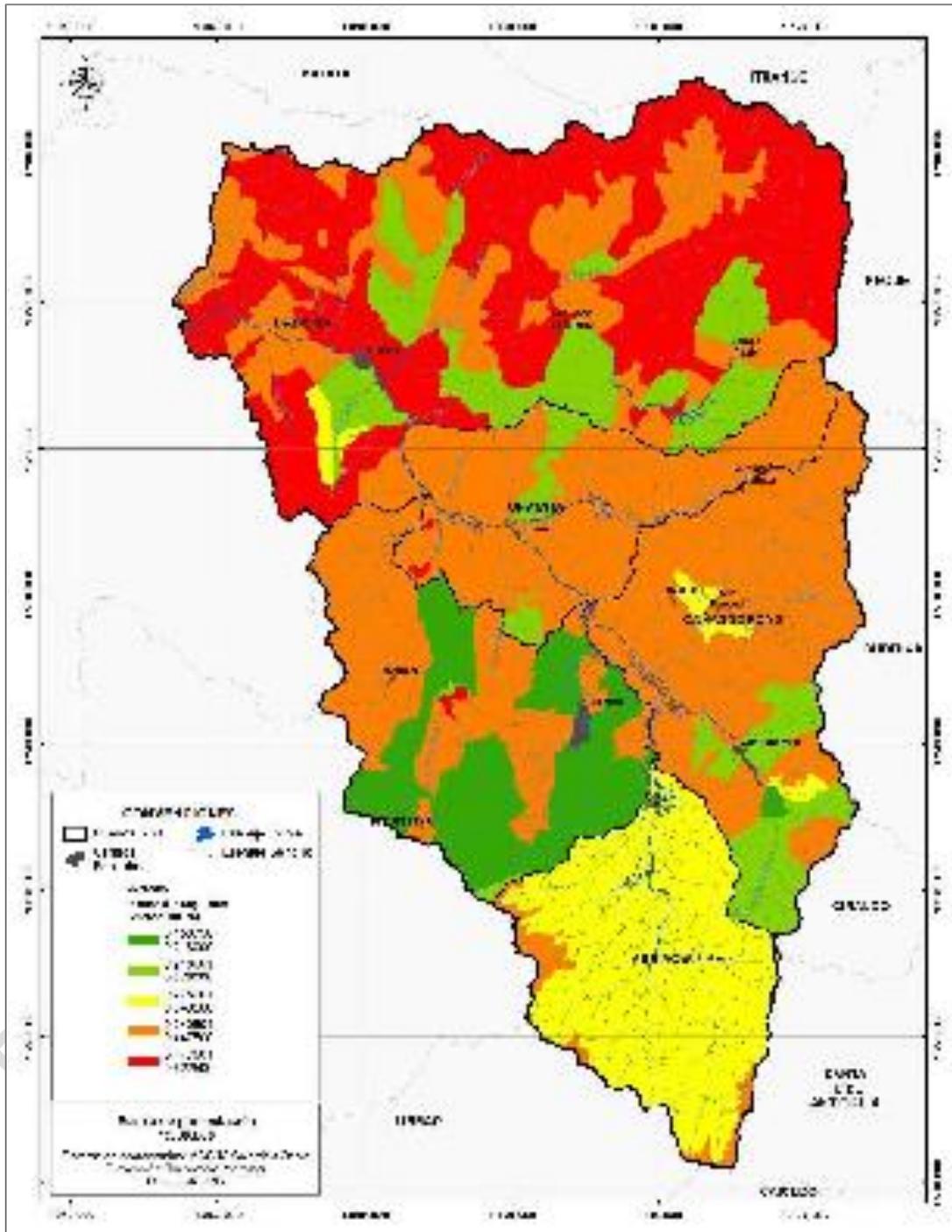
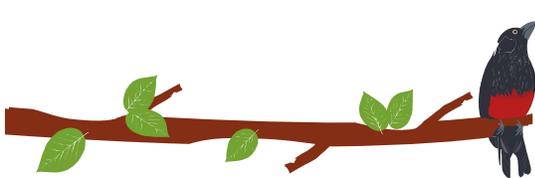


Figura 108. Índice de fragilidad sociocultural. Fuente: elaboración propia





### 7.6.2.3 Fragilidad Ecosistémica (Fe)

Corresponde a las zonas en las que se encuentran expuestos elementos que conforman áreas protegidas, que prestan servicios ambientales o satisfacen necesidades básicas (ver Figura 109).

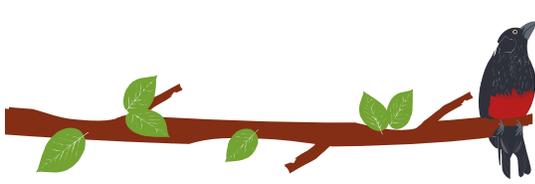
El índice propuesto varía entre 0 y 1. En caso de que la cobertura esté localizada en un área protegida, el valor de la fragilidad siempre será de 1, por lo que la categoría será alta. Sin embargo, si la cobertura no se encuentra dentro de un área protegida, a juicio de expertos o de acuerdo con categorizaciones existentes en ecosistemas similares; se debe determinar si es un ecosistema estratégico y su evaluación se hará teniendo en cuenta lo siguiente ver Tabla 53 y Figura 109:

Tabla 53. Indicador de la fragilidad de ecosistemas estratégicos.

Valor	Áreas y Ecosistema estratégico	Categoría
1,00	Satisfacción de necesidades básicas y equilibrio natural	Alta
0,75	Productividad y equilibrio natural	Media
0,30	Productividad	Baja
0,00	No constituye un área o ecosistema estratégico en la cuenca	Ninguna

Fuente: Universidad Nacional de Colombia (2013).

ETAPA DE PUBLICIDAD



PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO  
FASE DE FORMULACIÓN

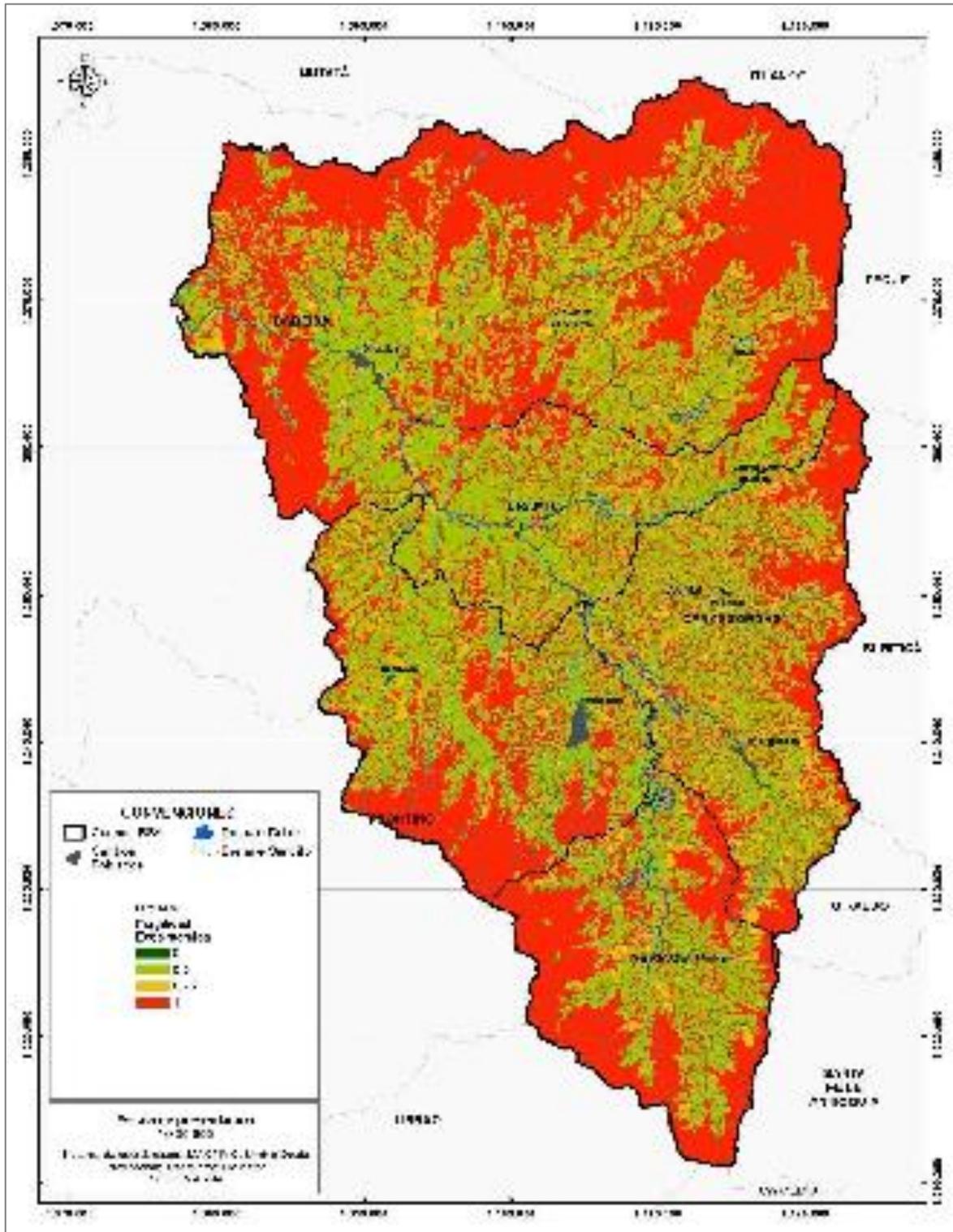
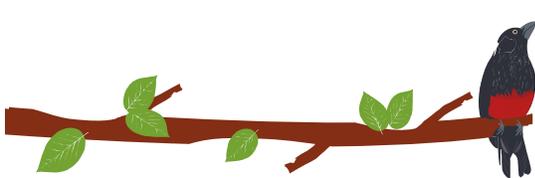


Figura 109. Índice de fragilidad ecosistémica.  
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con las calificaciones, la fragilidad total se establece de la siguiente forma:



FRAGILIDAD = FRAGILIDAD FÍSICA + FRAGILIDAD SOCIOCULTURAL + FRAGILIDAD ECOSISTÉMICA

Tal como se indicó previamente el índice varía entre 0 y 1. Si el valor final es menor a 0.5 la fragilidad es baja. Si el valor final está entre 0.5 y 0.75 la fragilidad es media, y si el valor está entre 0.75 y 1 la fragilidad es alta, tal como aparece en la Tabla 54.

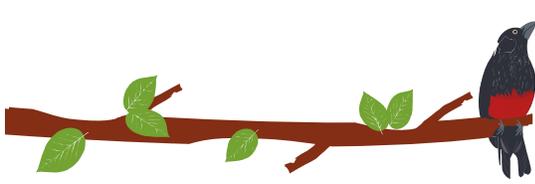
Tabla 54. Indicador de fragilidad propuesto.

Valor	Categoría Índice de Fragilidad
0.75 -1	Alta
0.5-0.75	Media
0 - 0.5	Baja

Fuente: Universidad Nacional de Colombia (2013).

En la Figura 110, es posible observar la fragilidad total en el área de la cuenca Río Sucio Alto.

ETAPA DE PUBLICIDAD



PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO  
FASE DE FORMULACIÓN

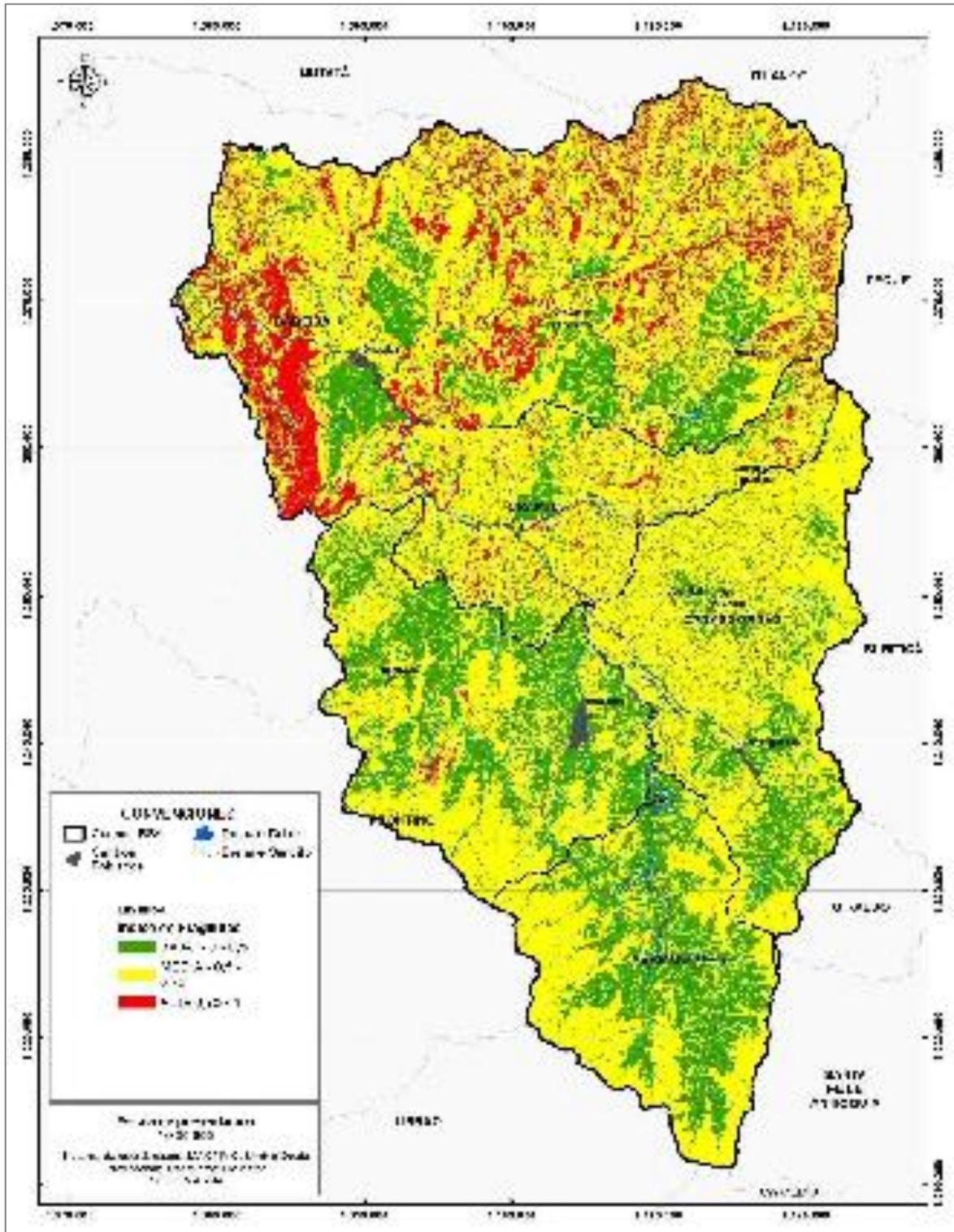
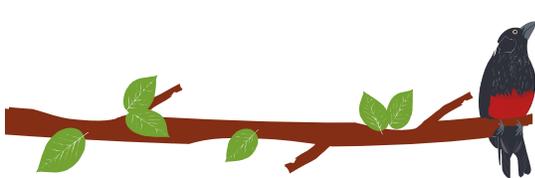


Figura 110. Índice de fragilidad. Fuente Elaboración propia



### 7.6.1 Falta de Resiliencia (IR)

La falta de resiliencia se refiere a la falta de capacidad para enfrentar el impacto de los fenómenos amenazantes y se relaciona con el nivel de desarrollo y la existencia explícita de una gestión del riesgo, esta se puede representar mediante indicadores de gobernabilidad, protección financiera, capital humano, desarrollo tecnológico, etc. Se mide como un índice de falta de resiliencia y varía entre 0 y 1 para este trabajo.

Este indicador aborda la afectación de las actividades productivas y de la infraestructura estratégica de transporte, servicios públicos, etc. Y en segundo lugar, ya que la falta de resiliencia mide la incapacidad de absorber los impactos y recuperarse a ellos, también se evalúa la recuperación en el corto, mediano y largo plazo.

De este modo, la evaluación se realizará con base en los siguientes términos descritos en la Tabla 55 y Figura 111:

Tabla 55. Indicador de la Falta de resiliencia económica.

Valor	Falta de resiliencia económica	Categoría
1,00	Se localizan las más importantes actividades productivas para el desarrollo económico de la región y/o hay presencia de infraestructura estratégica o vital. Hay destrucción total del medio ambiente físico. Recuperables en el largo plazo.	Muy Alta
0,75	Se desarrollan algunas actividades económicas y se localiza infraestructura estratégica. Daños ambientales muy grandes difíciles de reparar. Recuperable en el mediano plazo.	Alta
0,50	Hay poca actividad productiva o de servicios. Pérdidas ambientales serias pero reparables. La recuperación se puede dar en el corto plazo.	Media
0,25	Hay poca actividad productiva o de servicios locales. Pérdidas ambientales locales. La recuperación se puede dar en el corto plazo.	baja
0,0	No se desarrollan actividades productivas y no hay infraestructura. Elementos ambientales intactos	Cero

Fuente: Universidad Nacional de Colombia (2013).

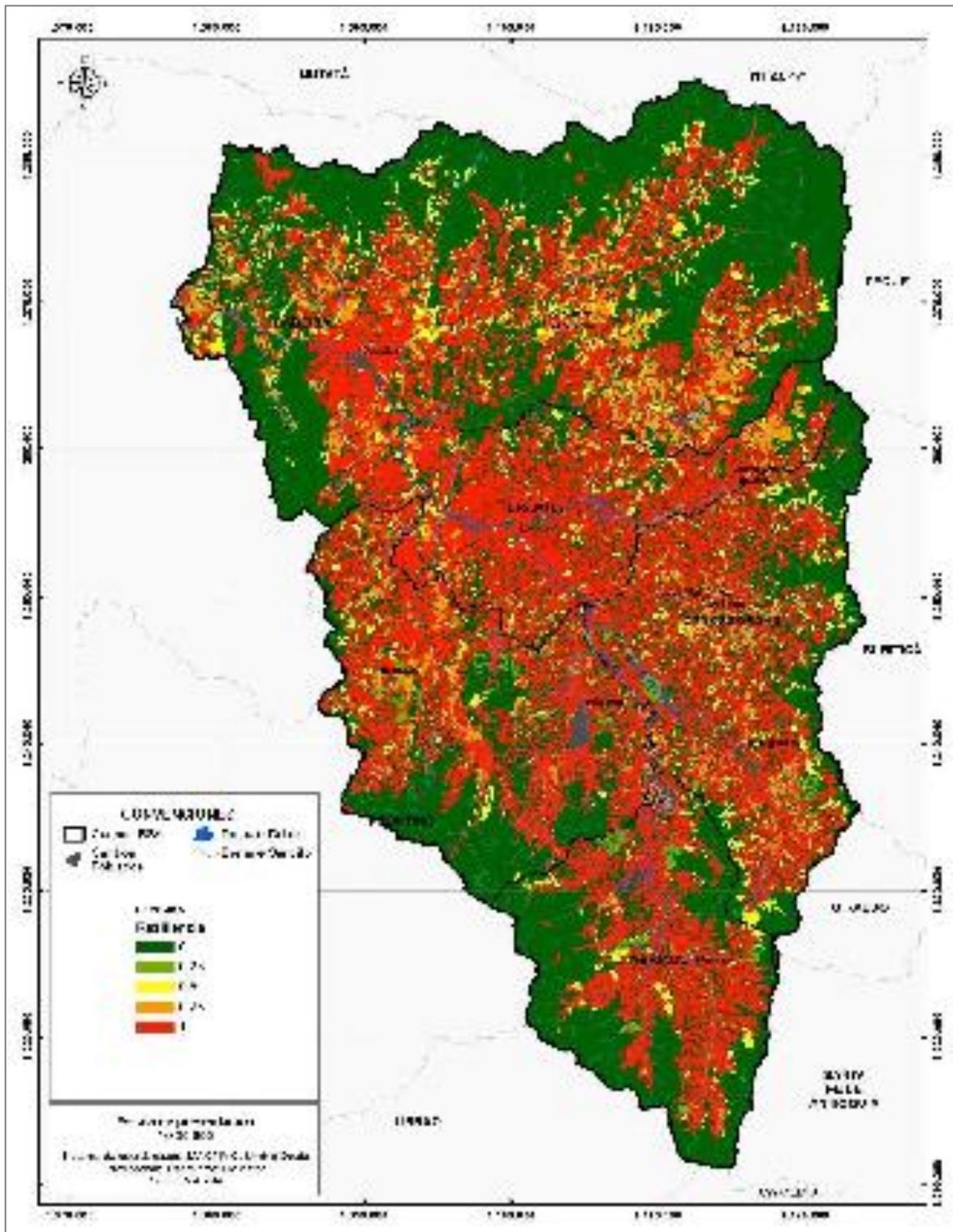
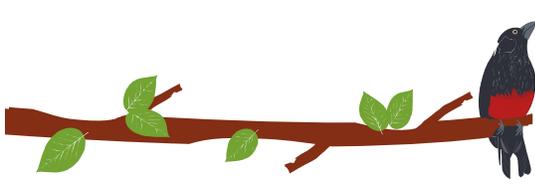
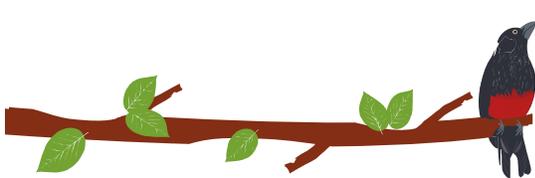


Figura 111. Índice de resiliencia. Fuente: Elaboración propia

### 7.6.2 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD



Se entiende por vulnerabilidad, la capacidad (o falta de ella) de un sistema para soportar los efectos adversos en caso de que un evento amenazante se presente. Así mismo, el concepto está relacionado con la capacidad de recuperación del mismo una vez termine la afectación directa por parte de un fenómeno amenazante (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

En la cuenca Río Sucio Alto, el análisis de vulnerabilidad determina el nivel de exposición y la predisposición a la pérdida de un elemento o grupo de elementos identificados frente a una determinada amenaza o evento.

El procedimiento seguido para analizar las características de vulnerabilidad se indica en la Figura 112, el cual se realiza para cada una de las amenazas evaluadas en donde se identifiquen áreas clasificadas en nivel alto (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014, págs. 83-98).

La síntesis metodológica en este caso se concentró en utilizar el método de índices e indicadores.

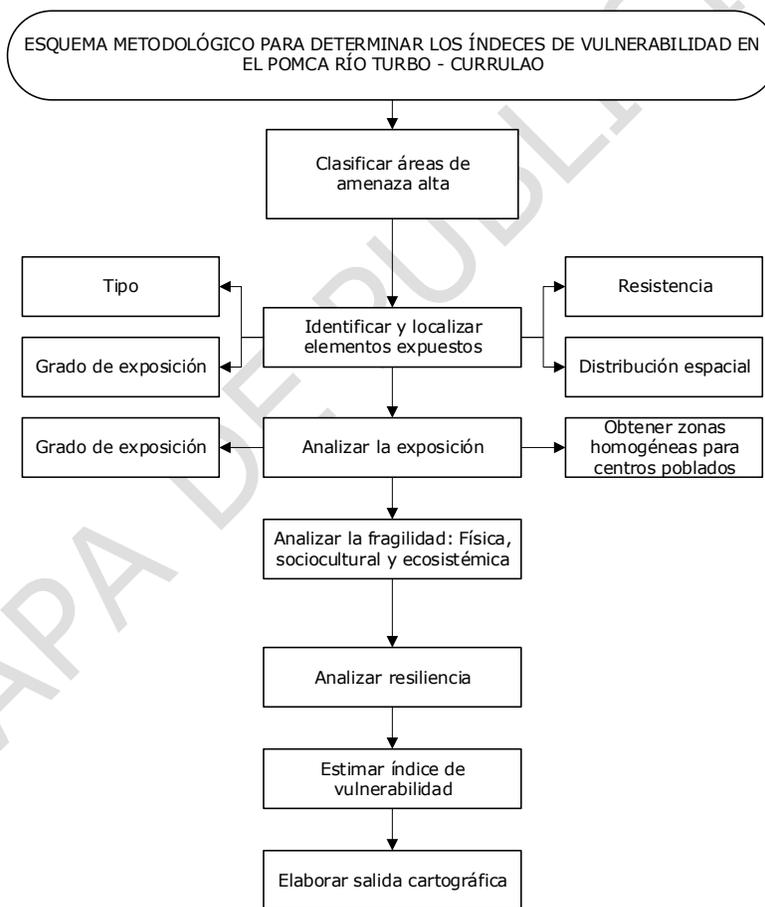


Figura 112. Esquema metodológico seguido para analizar la vulnerabilidad en la Cuenca Río Sucio Alto.

Fuente: Recuperado de Fondo Adaptación (2014).

El análisis de vulnerabilidad y riesgo se efectúa solo para las áreas definidas como críticas en la evaluación de susceptibilidad: áreas de susceptibilidad media y alta (movimientos

en masa, inundaciones y avenidas torrenciales). De acuerdo con la escala de análisis, la metodología a utilizar es el método de análisis de exposición y vulnerabilidad en la cuenca Río Sucio Alto.

Para efectos del análisis de vulnerabilidad en la cuenca Río Sucio Alto, se consideró la predisposición física de los elementos expuestos a sufrir afectación por la ocurrencia de cualquiera de los eventos amenazantes, en los siguientes términos:

1. Clasificación de las áreas de cobertura y uso de la tierra expuesta en las zonas de amenazas altas en la cuenca.
2. Se identificaron y localizaron los elementos expuestos en las zonas de amenaza alta para cada una de las amenazas evaluadas.
3. Se establecieron las características de los elementos expuestos a las amenazas identificadas, en cuanto al tipo de elemento, grado de exposición, resistencia que ofrece el elemento y distribución espacial, mediante metodologías cualitativas y semicuantitativa.

La evaluación de la vulnerabilidad se realizó de acuerdo con el Modelo de Indicadores de Vulnerabilidad (Fondo Adaptación, 2014), con el fin de no dejar excluidos las dimensiones social, económica y ambiental (Universidad Nacional de Colombia, 2013). La vulnerabilidad, también se relaciona con la susceptibilidad física de los elementos expuestos a ser afectados por la ocurrencia de un evento y con la fragilidad social y la falta de resiliencia de las comunidades para responder ante un desastre o absorber su impacto.

Desde el contexto teórico, la vulnerabilidad como componente del riesgo se presenta en la siguiente forma:

Riesgo = Amenaza x Vulnerabilidad

Donde la vulnerabilidad a su vez se define como:

Vulnerabilidad = [Exposición x fragilidad X falta de resiliencia]

Que mediante el uso de índices se convierte en la siguiente expresión:

Vulnerabilidad = (Índice de pérdidas o índice de exposición IP \* Índice fragilidad / índice de resiliencia)

El análisis de la vulnerabilidad y el riesgo de la cuenca Río Sucio Alto, se hizo de acuerdo al siguiente diagrama de flujo (tomado del documento de protocolo).

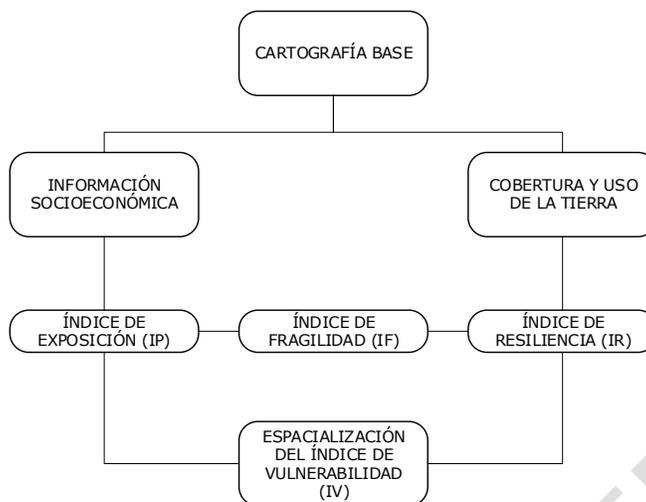
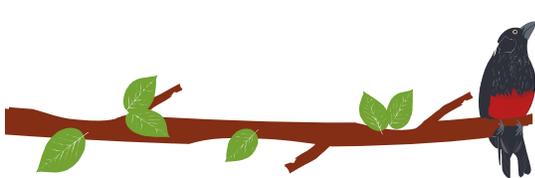


Figura 113. Mapa conceptual para el análisis de la vulnerabilidad en la cuenca Río Sucio Alto (tomado del documento de protocolo).

Fuente: Recuperado de (Fondo Adaptación, 2014).

De acuerdo a lo establecido previamente y luego de evaluados cada uno de los elementos que hace parte del modelo de vulnerabilidad, como lo indica la Ecuación 7, ésta se establece de la siguiente forma:

**Índice de Vulnerabilidad (IV)** = [Índice de Pérdida x Índice de fragilidad \* Índice de falta de resiliencia]

Ecuación 7. Índice de vulnerabilidad.

$$IV = [IP \times IF \times IR] / IP_{max}$$

La clasificación de los niveles de vulnerabilidad propuestos para POMCAS se presenta en la Tabla 56.

Tabla 56. Niveles de vulnerabilidad propuestos para POMCAS.

Valor	Categoría Índice de Vulnerabilidad (IV)	Símbolo
0.75 -1	Alta	
0.30-0.75	Media	
0 - 0.30	Baja	

Fuente: Recuperado de (Fondo Adaptación, 2014).

La Figura 114, muestra la espacialización de la vulnerabilidad en la cuenca en estudio.



Las zonas susceptibles a eventos amenazantes involucran población con niveles de vulnerabilidad medios por índices de pobreza, déficit de vivienda, bajas coberturas de Acueducto y alcantarillado, además de un potencial de recuperación bajo frente a un desastre.

## 7.7 ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE RIESGO

Un análisis de riesgo consiste en estimar las pérdidas probables y su costo para los diferentes eventos peligrosos posibles. Analizar el riesgo es relacionar las amenazas y las vulnerabilidades con el fin de determinar las consecuencias sociales, económicas y ambientales frente a un determinado evento, para el caso de los POMCA análisis de riesgos se realiza en los escenarios de riesgos priorizados. De la zonificación de la amenaza y el análisis cualitativo y semi- cualitativo de vulnerabilidad se pasa a la zonificación de riesgos.

Para el análisis de riesgos, es necesario el conocimiento de la vulnerabilidad global (Fondo Adaptación, 2014) objeto de análisis dentro de los POMCAS y ésta se puede dividir en varias "vulnerabilidades" interconectadas entre sí. Igualmente, es importante anotar que existe una relación de doble vía entre el riesgo y la vulnerabilidad, entendiendo que cualquier evento amenazante solo adquiere la condición de riesgo cuando su ocurrencia afecta a una comunidad ya sea de forma directa o indirecta (pérdidas y daños físicos, económicos, sociales, culturales, etc.).

El análisis de los riesgos en los escenarios priorizados permite reconocer la posibilidad de la ocurrencia de daños, pérdidas totales o parciales de elementos expuestos, bienes, actividades productivas, infraestructura estratégica o el uso y aprovechamiento de los servicios ecosistémicos que puedan afectar gravemente la sostenibilidad ambiental del territorio, debido a la ocurrencia de eventos amenazantes.

El procedimiento seguido para analizar las características del riesgo se indica en la Figura 115, en el cual se determina tanto la susceptibilidad como la amenaza (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014, págs. 93-102). La síntesis metodológica en este caso se concentró en utilizar el método de índices e indicadores, el cálculo del riesgo de características cualitativas se realizará a partir de la superposición de la capa de amenaza para el fenómeno evaluado (movimiento en masa, inundación, avenidas torrenciales e incendios forestales) y los niveles de vulnerabilidad dados por el índice de vulnerabilidad.

**ESQUEMA METODOLÓGICO PARA REALIZAR EL ANÁLISIS DE RIESGO EN EL  
POMCA RÍO TURBO - CURRULAO.**

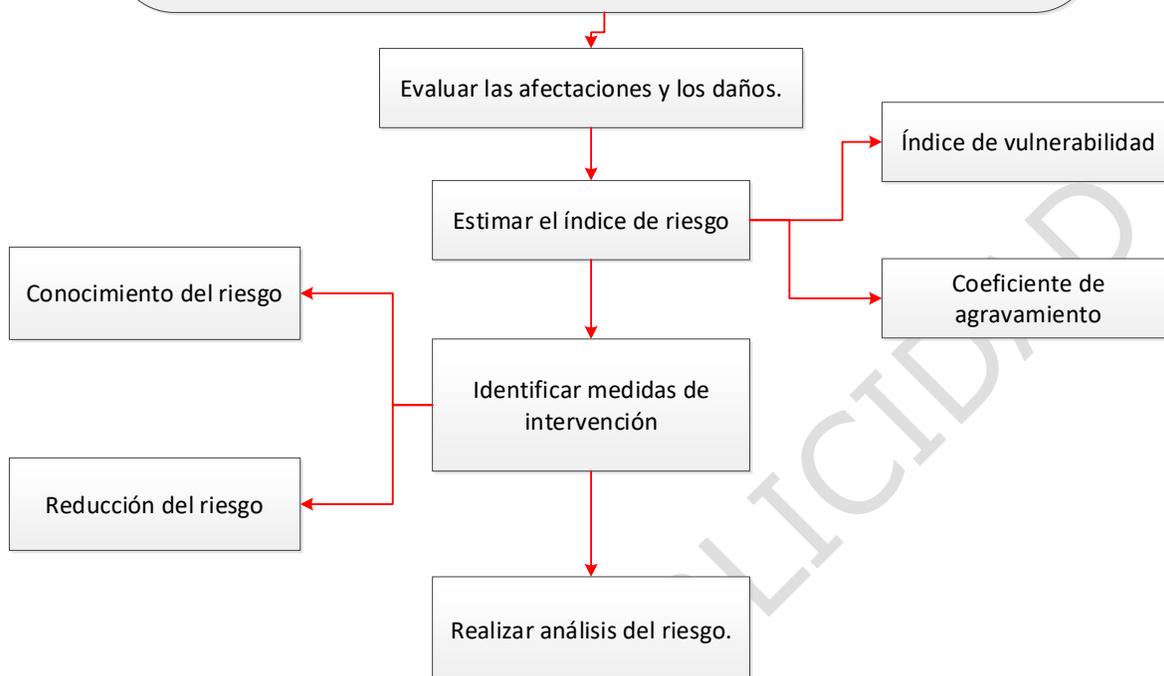
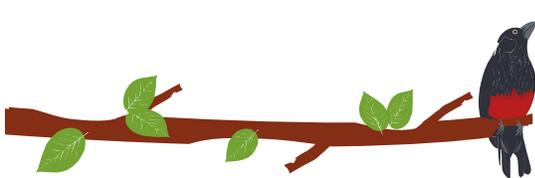


Figura 115. Esquema metodológico seguido para analizar el riesgo en el POMCA Río Sucio Alto  
Fuente: Recuperado de Fondo Adaptación (2014).

De manera complementaria y solo para hacer una comparación y resaltar el análisis socioeconómico para la cuenca Río Sucio Alto, se encuentra que las condiciones de riesgo calculadas y mostradas más adelante se encuentran de alguna manera ligadas con las condiciones de difíciles condiciones socioeconómicas. El Índice de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) y el porcentaje de pobreza extrema, los cuales son indicadores que miden las dificultades socioeconómicas, estos índices permiten inferir las condiciones de fragilidad de la población que se estimaron en , en términos de la composición física de las viviendas y de la resiliencia o capacidad de recuperación, en relación con las características económicas de los hogares, para la cuenca el Índice de Necesidades Básicas Insatisfechas presenta un porcentajes alto (60-80%), lo que significa que el área tiene coberturas de infraestructura sanitaria básica deficientes, bajos niveles de escolaridad y salubridad y, en general, infraestructura productiva y de servicios insuficiente.

Tal como lo explica el Banco Mundial en su publicación *Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas* (Banco Mundial, 2012), los desastres no son eventos de la naturaleza per se, sino el resultado de la aplicación de modelos inapropiados de desarrollo que no consideran la relación sociedad-naturaleza.

- **Procedimiento para el calculo de las condiciones de Riesgo**



El cálculo de riesgo en este tipo de análisis suele representarse en la convolución de la amenaza y la vulnerabilidad, ambas planteadas como variables continuas en función de la posibilidad de ocurrencia de los fenómenos naturales y las características del territorio; por lo cual el resultado de la zonificación de riesgo no se imprime directamente por la condición de amenaza por sí misma, sino que se ve modificado sensiblemente por los resultados obtenidos en materia de vulnerabilidad. Así se permite generar, a pesar de las limitaciones obvias de la escala de análisis, resultados de condiciones de riesgo holístico que consideran más variables que las meramente físicas y con las cuales se puede en adelante identificar zonas para priorizar acciones de reducción de riesgo.

En particular para la zonificación espacial de riesgo, al ser las amenazas y la vulnerabilidad variables discretas y en cumplimiento de la estandarización de información para POMCAs, se puede agregar al análisis espacial el cruce entre la zonificación de amenazas (por movimientos en masa, inundación, avenidas torrenciales, incendios de coberturas vegetales) y la capa de vulnerabilidad utilizando la metodología de matriz de reconocimiento de riesgo planteada por el Protocolo para la incorporación de la Gestión de Riesgo en POMCAs, la cual se muestra a continuación (ver Tabla 57). Dentro del análisis realizado por el equipo consultor se decide priorizar aquellas zonas en donde el nivel de riesgo sea alto, para la cuenca hidrográfica se priorizan como escenarios de riesgo principalmente las zonas de cuerpos aluviales asociados torrencialidades que se encuentran generalizados en toda la cuenca y presentan una condición de riesgo alto por avenidas torrenciales como son los ríos la Herradura, Cañasgordas, Chuza, Frontino, Uramita, Verde, Urama, entre otros que presentan una condición de riesgo alto. Las zonas elevadas de la cuenca alta que presentan niveles de riesgo alto a movimientos en masa, y la zona central de la cuenca se presentan riesgos por incendios forestales.

Tabla 57. Matriz propuesta para la Categorización de niveles de riesgo del IRT para la zona de estudio con amenaza determinística Referencia.

NIVELES DE AMENAZA (Pf)	NIVELES DE VULNERABILIDAD (IV)		
	NIVEL 1: ALTA ( 75% A 100%)	NIVEL 1: MEDIA ( 30% A 75 %)	NIVEL 1: BAJA ( <30%)
ALTA	ALTO	ALTA	MEDIA
MEDIA	ALTO	MEDIA	BAJA
BAJA	MEDIA	MEDIA	BAJA

Fuente: Fondo Adaptación (2014).

Al igual que en el caso anterior la leyenda asociada a cada uno de los niveles de riesgo deberá describir los aspectos referidos al evento amenazante y las condiciones de vulnerabilidad asociadas a las características de la zona homogénea, pérdidas en vidas y bienes, etc.

Al realizar la calificación de riesgo resalta con solo observación de la Figura 116, Figura 117, Figura 118 y Figura 119, que los movimientos en masa, y los incendios forestales serían las amenazas que más afectarían a la cuenca en el caso que existan elementos expuestos en dichas áreas. No obstante, a pesar que metodológicamente se pida en los alcances técnicos la valoración del riesgo para todas las coberturas, estas no son necesariamente vulnerables a movimientos en masa debido a que estos hacen parte de

los procesos denudaciones naturales del territorio, fundamentales para la regulación y sostenimiento de los ecosistemas presentes.

Por otro lado, los incendios forestales sí constituyen una amenaza socionatural para las coberturas y un riesgo para las mismas. La valoración de vulnerabilidad y riesgo por incendios de coberturas vegetales tiene en cuenta las variables de vulnerabilidad de la metodología del IDEAM reconocida por el Protocolo, las ajusta e incluye otras para que sean parte de la evaluación de vulnerabilidad general pedida por los alcances técnicos. Así, en la inclusión de datos adicionales de resiliencia y la aplicación de encuestas de percepción del riesgo a los actores (oficinas de gestión de riesgo, bomberos, defensa civil, policía, entre otros), se logra estimar una vulnerabilidad general ampliada para la evaluación de riesgos que incluya incendios de coberturas vegetales como lo solicita el protocolo para la incorporación de gestión de riesgo en los POMCAs y el alcance técnico contractual de este POMCA en particular. La Figura 118 aparentan ser menos críticas y muestran el riesgo de las coberturas a avenidas torrenciales. Sin embargo, si se considera que las áreas de riesgo alto avenidas torrenciales se correlacionan con áreas urbanizadas y pobladas se resalta a estas amenazas dentro de las principales.

#### 7.7.1 Zonas de amenaza y riesgo por movimientos en masa

Si se requiere analizar en detalle predios o áreas particulares que vayan a ser objeto de cualquier destino de uso de aprovechamiento conviene realizar estudios detallados de amenaza y riesgo debido a que los resultados obtenidos consideran las condiciones que favorecen o desfavorecen la ocurrencia de movimientos en masa, pero no indican directamente su magnitud ni alcance. Por tanto, la zonificación presentada es un indicador de amenaza por movimientos en masa y no reemplaza los análisis detallados de las áreas que se verían directamente afectadas por la ocurrencia de movimientos en masa. Tampoco evalúa volumen desplazado ni distancia de viaje, características necesarias para la estimación detallada de vulnerabilidad y riesgo en elementos expuestos.

Los movimientos en masa reportados para la Cuenca Río Sucio Alto, son significativos y se localizan en relieves altos, como las variables más influyentes son las lluvias fuertes, la deforestación, las discontinuidades de la roca sedimentaria y los espesores de suelo residual sobre laderas de alta pendiente, es de especial cuidado, las reptaciones, las cuales son movimientos de tipo viscoso sumamente lento, asociados a una deformación continua de terrenos. Las reptaciones, frecuentemente presenta terracetos debidas a pisadas del ganado, lo cual favorece posteriormente otros procesos, como la desertificación de suelos.

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

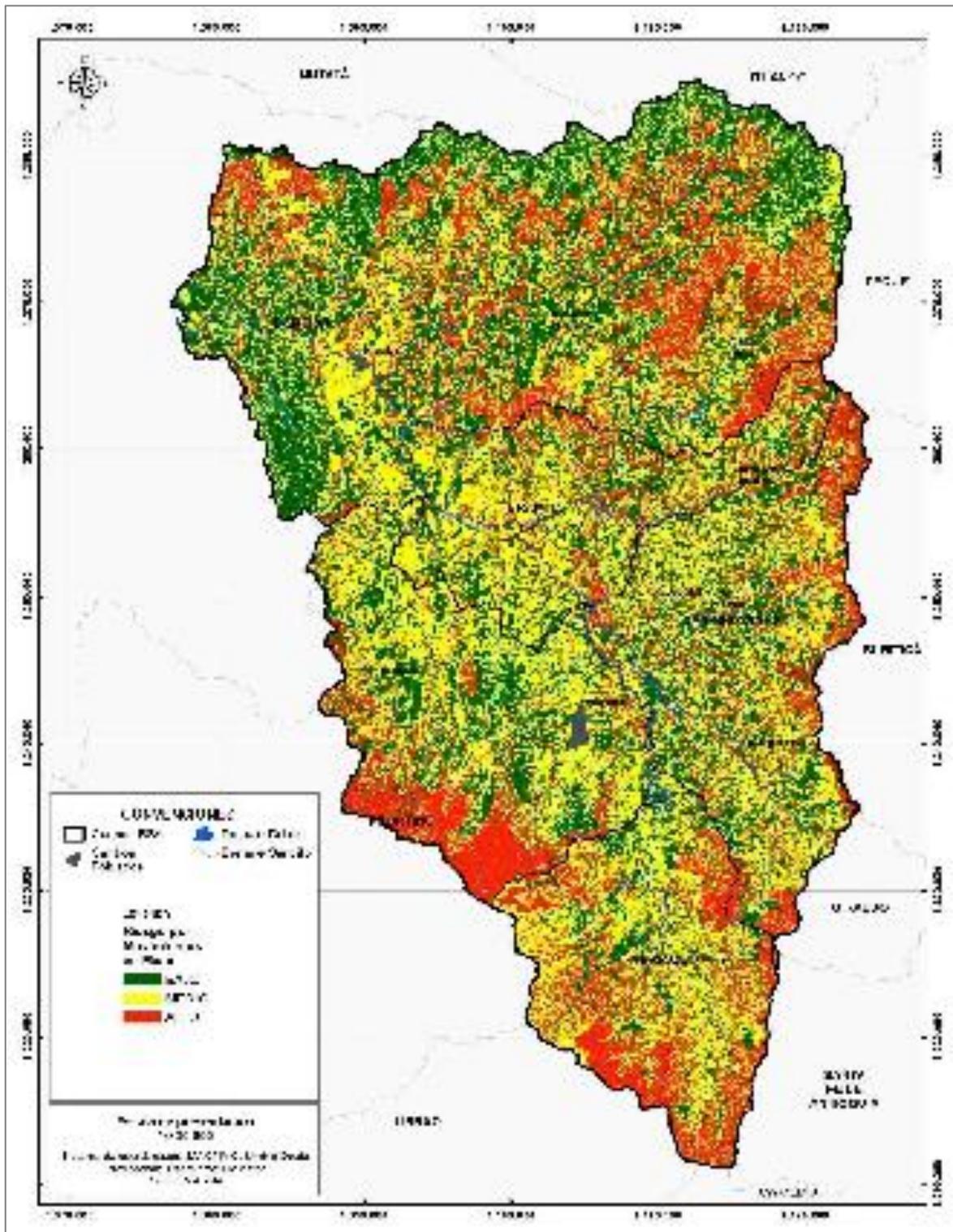
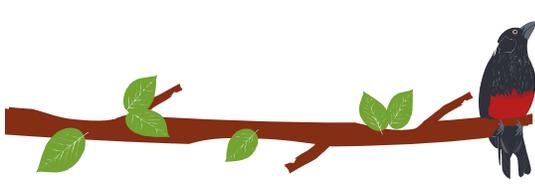


Figura 116. Riesgos por movimientos en masa.  
Fuente: Elaboración propia

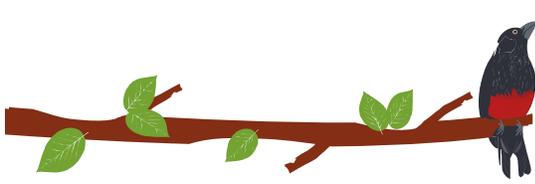
### 7.7.2 Zonas de amenaza y riesgo por inundaciones

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

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

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

ETAPA DE FORMULACIÓN



PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO  
FASE DE FORMULACIÓN

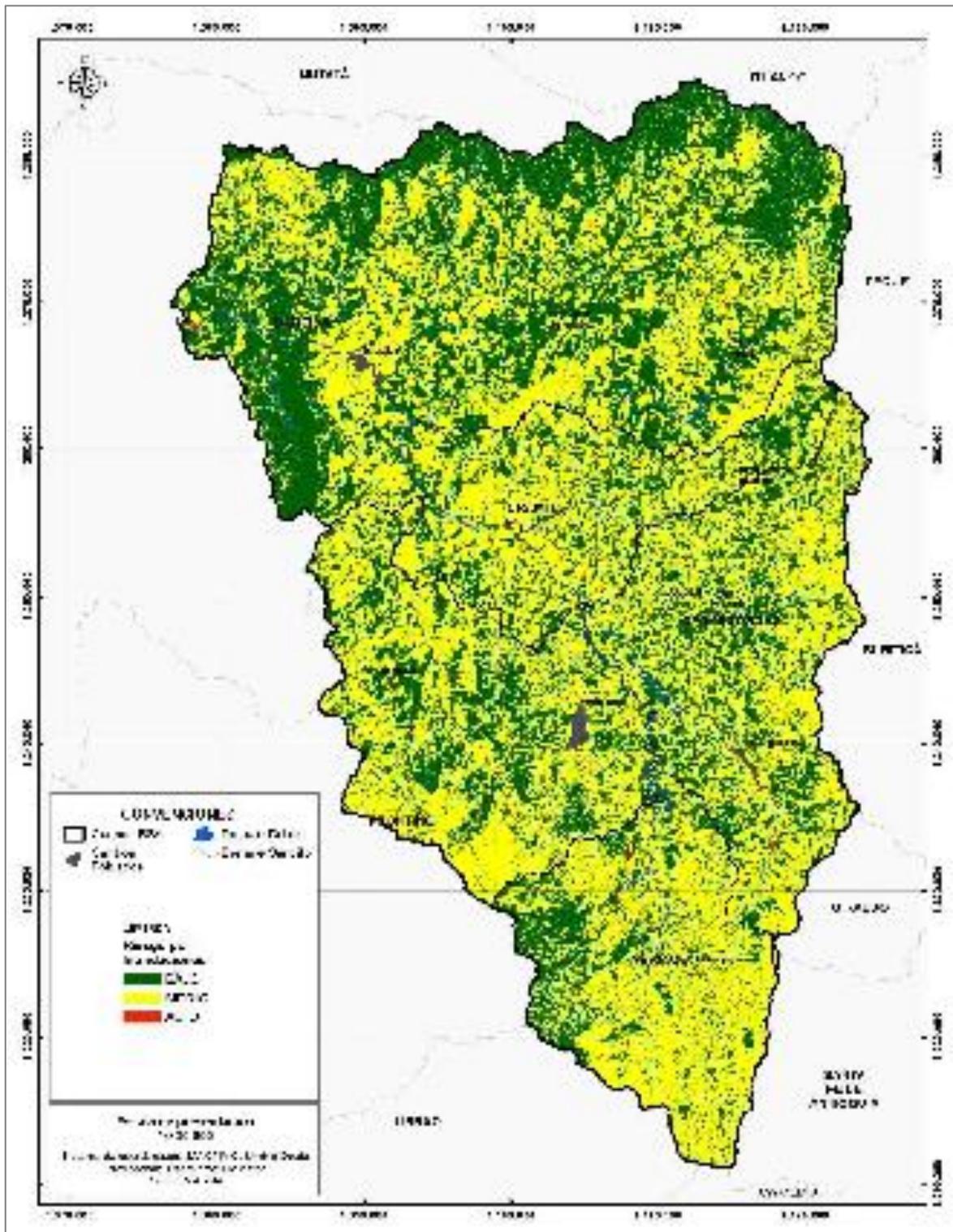


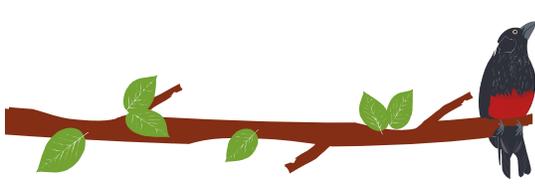
Figura 117. Riesgos por inundación.  
Fuente: Elaboración propia

### 7.7.3 Zonas de amenaza y riesgo por avenidas torrenciales

A pesar que se lograron buenos resultados de zonificación de amenaza por avenidas torrenciales y se hicieron análisis adicionales a los métodos exigidos en los alcances técnicos, estos tienen un enfoque de identificación de los cuerpos de agua que pueden presentar este tipo de fenómenos físicos y su posible afectación en caso de ocurrencia. De manera que se deben adelantar estudios locales y puntuales que incluyan topografía y batimetría de detalle y todos los insumos necesarios para modelaciones hidrodinámicas y de capacidad hidráulica de la red de drenaje en cada subcuenca orientados a delimitar con mayor precisión el área de influencia de este tipo de fenómenos.

Dentro de las zonas en las que por estudios en escala de detalle se confirme la condición de amenaza alta se deberán ejecutar programas de reasentamiento, recuperación ambiental y renaturalización de áreas expuestas por este tipo de amenaza. También es importante contar con una red de propia de instrumentación hidrometeorológica con al menos una estación pluviográfica por cada subcuenca y sensores de nivel a lo largo de los ríos Herradura, Cañasgordas, Chuza, Frontino, Uramita, Verde y Urama y de sus principales afluentes con las que se pueda recolectar información pluviométrica de detalle complementaria a información sinóptica por variabilidad climática y cambio climático.

De manera similar a las zonas de amenaza alta por avenidas torrenciales, las de amenaza media deben ser sometidas a estudios locales y puntuales que incluyan como mínimo topografía y batimetría de detalle y todos los insumos necesarios para modelaciones hidrodinámicas y de capacidad hidráulica de la red de drenaje en cada subcuenca que permitan delimitar con mayor precisión del área de influencia de este tipo de fenómenos y evaluar la inminente necesidad de reasentamiento de familias y relocalización de infraestructura estratégica o la posibilidad del diseño de obras de drenaje, estructuras de contención, recuperación natural del cauce y manejo de aguas residuales que permitan mitigar las condiciones de amenaza en algunos sectores para condicionar su uso y aprovechamiento.



PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO  
FASE DE FORMULACIÓN

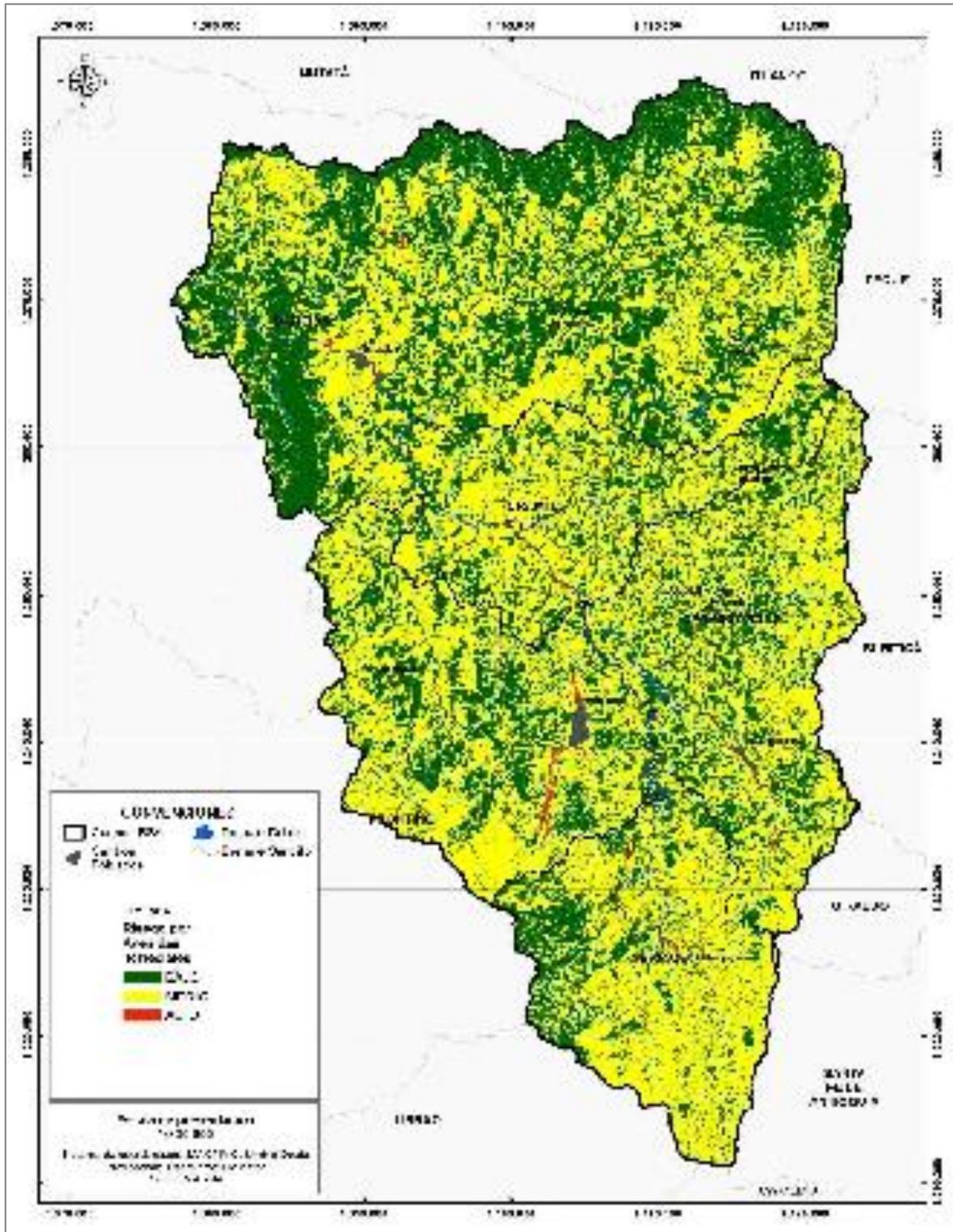
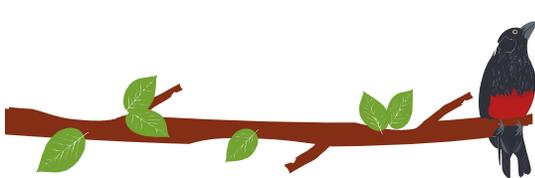


Figura 118. Riesgos por avenidas torrenciales.  
Fuente: Elaboración propia



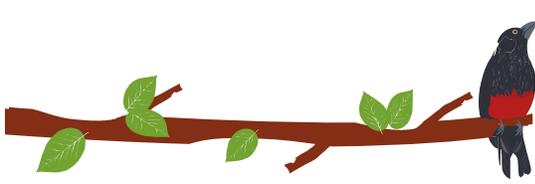
#### 7.7.4 Zonas de amenaza por incendios de coberturas vegetales

Como se indica en las recomendaciones y necesidades generales, se hace necesario consolidar una base de datos georreferenciada y unificada que le permita a los diferentes actores de riesgo consultar información básica (daños, afectaciones, magnitud) de los eventos amenazantes. En este específico es necesario que se garantice que los eventos por incendios forestales se georreferencien acertadamente en adelante en cuanto a ubicación y espacialización tipo polígono que represente el área de afectación de cada uno.

Con el fin de mitigar la amenaza por incendios forestales o de coberturas vegetales, se deben tomar medidas de divulgación, orientación y capacitación para reducción de actividades detonantes como quemas indiscriminadas de cultivos y demás que pueden generar focos de ignición de la cobertura vegetal.

Potencializar la concientización sobre las consecuencias de los incendios forestales y el fuerte deterioro de la capa vegetal que estos producen, así como promover la conservación de ecosistemas estratégicos de la cuenca, los cuales una vez afectados por eventos de ignición de la capa vegetal, nunca pueden llegar a recuperarse completamente.

ETAPA DE PUBLICIDAD



PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO  
FASE DE FORMULACIÓN

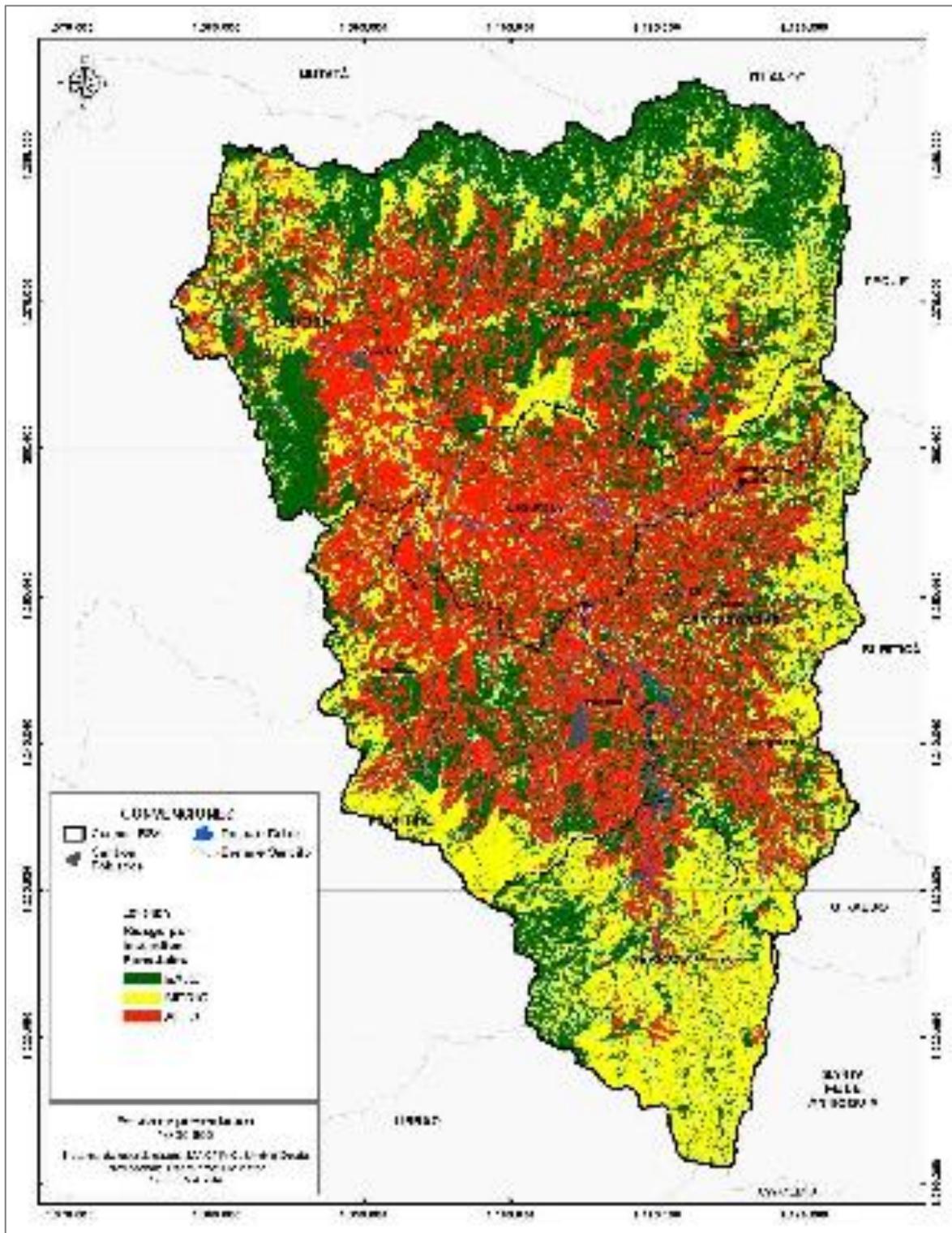


Figura 119. Riesgos por incendios forestales.  
Fuente: Elaboración propia.

Se debe reconocer que en términos generales la condición de riesgo en toda la cuenca es de categoría media, con excepciones de áreas expuestas a amenazas bajas en la parte media y baja y altas de manera dispersa. Aun cuando las condiciones no puedan ser catalogadas como críticas para establecer condicionamientos específicos al uso y aprovechamiento del territorio para la mayoría del mismo, la existencia de amenazas altas en áreas pobladas expuestas llama la atención para que se identifiquen, prioricen y formulen programas y proyectos de conocimiento, reducción y manejo integral del riesgo de las áreas pobladas en amenaza alta en el marco de la ley 1523 de 2012 y del decreto 308 de 2016 como ejercicio de implementación de los objetivos del marco de acción de Sendai.

Así como se identifica en la caracterización de eventos amenazantes, las evaluaciones de amenaza y riesgo arrojan resultados que apuntan a las mismas áreas relacionadas con los cuerpos de agua del río la Herradura, Cañasgordas, Chuza, Frontino, Uramita, Verde, Urama, entre otros, los cuales arrastran material de la parte alta de su área tributaria para generar avenidas torrenciales que pueden alcanzar áreas pobladas, y quebradas en áreas rurales que podrían afectar caseríos o poblaciones pequeñas de las riveras como las cabeceras de los municipios de Abriaquí, Cañasgordas, Frontino, Uramita y Dabeiba.

Nótese que la evaluación de riesgo resulta de la convolución de la amenaza con la vulnerabilidad, siendo ésta última utilizada sin la variable de fragilidad física para evitar el uso redundante de la condición de amenaza. Esto se sustenta considerando las siguientes premisas:

1. Los alcances técnicos piden evitar el uso de variables altamente correlacionadas (Nuria, 2001), es decir, aquellas que puedan contener espacialmente la misma información. Tener en cuenta varias veces una misma variable o simultáneamente dos similares representa redundancia, la cual debe evitarse.
2. Los alcances técnicos piden el uso del concepto de "riesgo implícito" con el cual se obvia la vulnerabilidad física y se traslada la amenaza directamente a la fragilidad sugiriendo un modelo binario de fragilidad física.
3. En los alcances técnicos la vulnerabilidad se calcula como la resiliencia de la comunidad y de las instituciones, su capacidad de respuesta frente a emergencias, desde el punto de vista de prevención y de atención, acotado al concepto de desastres en general en combinación con variables ecosistémicas y ambientales.
4. La exposición es la referencia espacial de localización de un objeto sobre una amenaza. Permite tener una referencia de la posibilidad de que un evento amenazante alcance a un elemento expuesto (personas, infraestructura, etc.).
5. La fragilidad física depende del tipo de amenaza, la magnitud de la amenaza y aún más del elemento expuesto, de sus características físicas (constructivas en el caso de infraestructura) y la configuración espacial de la exposición (Ávila y Perico, 2015).
6. El riesgo se calcula como la interacción entre la amenaza y la vulnerabilidad. El modelo más sencillo es  $R=A \times V$ , pedido por el alcance técnico.

El procedimiento de los alcances técnicos pide calcular vulnerabilidad considerando las mismas variables administrativas y socioeconómicas para todas las amenazas (ver premisa 3) y sugiere hacer diferencia a través de un índice que denomina "fragilidad física" que dependería, simplificando, únicamente de la calificación de amenaza. Entonces se pide explícitamente por los alcances técnicos evaluar fragilidad en función de la amenaza y asumir que todo elemento expuesto a amenaza alta es completamente

frágil físicamente y viceversa (modelo de vulnerabilidad binaria). Solo así, existiría vulnerabilidad particular para cada amenaza, pero la única diferencia sería la calificación amenaza que queda implícita bajo el seudónimo de "índice de fragilidad".

Ahora bien, una vez exista esta "vulnerabilidad para cada amenaza" se pide calcular el riesgo. Entre las posibilidades está el modelo de riesgo que combina directamente la amenaza con la vulnerabilidad, una estimación cualitativa expresada matricialmente comparable con el modelo  $R=A \times V$  (ver premisa 6). No obstante, la vulnerabilidad tiene implícita la amenaza a la cual el alcance técnico llamó "índice de fragilidad" y el modelo de riesgo de nuevo la tiene en cuenta para la estimación de la condición de riesgo. Esto significa tener en cuenta dos veces la calificación de amenaza en el modelo de riesgo, lo que iría en contra de la premisa 1.

Resulta entonces conveniente el descarte de la amenaza en una de las variables mencionadas pues está contenida en el modelo de vulnerabilidad y en el modelo de riesgo. Evidentemente es mejor no considerarla en la estimación de fragilidad física pues el modelo de riesgo  $R=A \times V$  la involucra directamente, mientras en la "fragilidad" aparece implícita y bajo una hipótesis técnicamente incompleta (se tendría en cuenta solo una de las variables relevantes, descartando las demás descritas en la premisa 4 y premisa 5). Así, no se está planteando algo diferente al alcance técnico, solamente se aplica una mejora en el modelo conceptual.

## 7.8 RECOMENDACIONES E IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES DE INFORMACIÓN

Se elaboraron los mapas para las distintas amenazas a escala 1:25.000 para cada uno de los eventos identificados en los sitios definidos como de susceptibilidad crítica, en donde se realizó una valoración de la amenaza por niveles referida a la magnitud del evento y su recurrencia, el cual tiene como objetivo servir de base para definir y priorizar los escenarios de riesgo, la planificación del uso del territorio y de los planes y programas de reducción de riesgos.

Los movimientos en masa históricamente ha sido el evento amenazante más recurrente en la cuenca con 216 ocurrencias; el equipo consultor en la verificación de campo se identificaron 42 nuevos eventos por movimientos en masa. Los incendios forestales están documentados con 7 eventos a nivel nacional, sin embargo CORPOURABA genero un levantamiento de información con el uso de herramientas SIG combinada con datos geográficos en tiempo real aportados por el programa LANCE-MODIS de la NASA arrojó que en la jurisdicción de CORPOURABA en el periodo 2000-2013 se presentaron 856 incendios, En la regional Nutibara registro 109 eventos (13%), las avenidas torrenciales e inundaciones están representadas por 23 y 36 registros de eventos históricos respectivamente. Finalmente, el 68% del territorio está expuesto a riesgos por movimientos en masa en la siguiente proporción: alta (25%) y media (43%).

Las metodologías de evaluación de amenazas y los insumos técnicos utilizados en las amenazas identificadas guardan coherencia y pertinencia con la escala de evaluación para la cuenca (1:25.000). De acuerdo con las características geológicas, geomorfológicas, y bioclimáticas, los fenómenos amenazantes identificados que definen una mayor propensión a la ocurrencia de los mismos dentro de la Cuenca Río Sucio Alto son: inundación, movimientos en masa, incendios forestales y avenidas torrenciales.

Si bien el desarrollo normativo y contractual del POMCA permite dar un panorama de las condiciones de amenaza, vulnerabilidad y riesgo en la cuenca su resultado debe ser solo una de las herramientas para la toma de decisiones en la definición de metas, planes y

proyectos en gestión integral de riesgo las cuales deben ser definidas por los entes locales y territoriales desde sus propios instrumentos de ordenamiento territorial y de gestión del riesgo. Por consiguiente, toda decisión de acción puntual debe estar soportada por análisis de detalle que requieran la rigurosidad técnica propia de esa escala de análisis y no interpretar estos resultados de amenaza y riesgo regionales como los definitivos y suficientes para la definición de obras, reasentamientos de familias, restricciones de uso de suelo y demás acciones que afecten o favorezcan el uso del mismo.

En las áreas urbanas se deben desarrollar análisis para la zonificación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo con mayor detalle para que dentro del ordenamiento urbano y de expansión urbana se tomen las decisiones prescriptivas y prospectivas del territorio. Para ello es recomendable orientar los análisis y la generación de información primaria, considerando las siguientes necesidades:

- Estudios regionales de zonificación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo urbano con identificación de áreas específicas con condición de riesgo que requieran acciones de mitigación y reducción en el corto y mediano plazo sobre las cuales se deberán ejecutar y revisar estudios con análisis de estabilidad de taludes, modelación hidrodinámica y de capacidad hidráulica de la red de drenaje con evaluación de alternativas entre las que se deben considerar diseños de obras civiles de contención de laderas, reconformación morfométrica del relieve, estructuras de drenaje y manejo de aguas, protección de los márgenes de los cauces y aumento de su capacidad hidráulica, diseño de aliviaderos y otras estructuras de contención y control de sedimentos, caracterización de vulnerabilidad social para relocalización transitoria de familias o su reasentamiento definitivo y programas de acompañamiento e integración social de las mismas en sus nuevos espacios socioculturales orientado a la reconstrucción del tejido social.
- Evaluación de las estrategias de respuesta a emergencias, planes de emergencia y contingencia y planes institucionales de respuesta a emergencias.

Las fronteras urbano rurales corresponden con las áreas de crecimiento urbano informal en la periferia de las cabeceras municipales que se desarrollan sin considerar el perímetro de suelo urbano ni sus normas urbanísticas asociadas en una situación más compleja que la propia interacción rural con la cabecera municipal. Estos modos de ocupación del territorio no reciben control urbano ni cuentan con infraestructura o equipamientos suficientes debido a su informalidad; sin embargo, en ellos se forman nichos culturales, sociales y económicos con dinámicas locales propias que generan interdependencia con los sectores formales, por lo cual deben ser objeto de tratamiento especial dentro de los proyectos que se desarrollen enfocados a la gestión integral del riesgo territorial.

Las fronteras urbano rurales y de crecimiento informal han presentado procesos de consolidación y dinámicas de crecimiento urbano que conviene cuantificar con objeto de establecer control urbano que incluya la revisión de oportunidades de legalización total o parcial y acciones de reubicación o reasentamiento si llega a ser necesario. Este tipo de acciones evidentemente se escapan del análisis de riesgo del presente diagnóstico, pero deberán contemplarse para la toma de decisiones en función de las condiciones de riesgo detallado, como complemento, por supuesto, a las variables que se deben tener

en cuenta para un proceso de legalización y regularización de un sector urbano-rural informal. Como un proceso de esta complejidad requiere información más detallada e integral que el POMCA no alcanza a contemplar en su alcance, es preciso que se establezca una articulación interinstitucional que destine esfuerzos, recursos y tiempo de manera apremiante en la gestión integral del riesgo iniciando en estos sectores. Desde su competencia, cada una de las instituciones debe ejercer control urbano, integración social y ambiental relacionados con el ordenamiento territorial urbano y rural, protección de recursos naturales y fortalecimiento del tejido social y cultural.

Para aquellas zonas que cuenten con una zonificación de amenaza alta por movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundaciones es importante evaluar y priorizar la ejecución de estudios y obras de mitigación y reducción del riesgo discriminados por categoría y tipo de amenaza entre los cuales se encuentran:

### 7.8.1 Generales de vulnerabilidad y riesgo

- Es necesario y oportuno ejecutar estudios de precio de la tierra teniendo en cuenta la espacialización de coberturas y usos del suelo se ve estancada por la ausencia de información con escalas mayores a municipio o vereda.
- Para análisis de vulnerabilidad social e institucional se recomienda realizar censos rurales y urbanos levantando información específica de condiciones de sociales, económicas, conocimiento de riesgos y demás relacionados con la percepción de amenazas, exposición, capacidad de respuesta y riesgo. La evaluación de riesgo a la escala presentada se vio limitada por la resolución y actualización de estas variables.
- Se hace necesario consolidar una base de datos georreferenciada y unificada que le permita a los diferentes actores de riesgo consultar información básica (daños, afectaciones, magnitud) de los eventos amenazantes que afecten la cuenca del río Sucio Alto, de manera tal que dicho catálogo se alimente a lo largo de la historia y los análisis de probabilidad de ocurrencia sean mucho más asertivos. En este específico es necesario que se garantice que los eventos por incendios forestales se georreferencien acertadamente en adelante pues carece de históricos espacializados.
- La cuenca del río Sucio Alto presenta escenarios de alta amenaza para, movimientos en masa, avenidas torrenciales e incendios forestales dentro de la misma, si bien el resultado de la aplicación de cada una de las metodologías muestra una condición regional de la cuenca es importante que dentro de las sugerencias y recomendaciones orientadas a la gestión del riesgo se tenga en cuenta la formulación y revisión de estudios detallados orientados al control y mitigación de aquellas zonas que han sido zonificadas en condición de amenaza.
- Es necesario mayor detalle en cuanto a la información para la identificación y caracterización de los centros poblados en aquellas zonas que localmente evidenciaron condiciones de susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo para cada una de las amenazas evaluadas dentro de la cuenca.
- Luego de realizar un análisis completo asociado a las condiciones de riesgo implícitas dentro de la cuenca se observa una necesidad de conocimiento y divulgación en la comunidad y hacia los actores específicos del riesgo sobre la percepción y mitigación del mismo y esto sólo se logra a través de espacios sociales efectivos que alimenten el conocimiento de las amenazas en cada sector de la cuenca.

- Espacios liderados por el consejo de cuenca son esenciales dentro del aprendizaje y comprensión de la gestión del riesgo, de forma similar es importante formular espacios que brinden conocimiento del riesgo a la comunidad incluso desde la formación académica básica buscando mantener una cultura en el largo plazo sobre la prevención y respuesta a desastres siconaturales.
- Teniendo en cuenta las condiciones de la zona, es importante desarrollar más espacios en conjunto con las alcaldías municipales y entes locales en donde se propenda por un adecuado ordenamiento del territorio considerando de la manera más asertiva posible las condiciones de amenazas y riesgos, así como la conservación de los escenarios hídricos (ríos y zonas de recarga) entendiendo que estos juegan un papel fundamental en la dinámica del agua sobre la superficie terrestre y la regulación de los sistemas hídricos.
- Generar fortalecimiento o creación de programas de entrenamiento, preparación y capacitación con el fin de fortalecer los equipos locales de respuesta, a la comunidad en general y a las entidades encargadas de responder ante una emergencia o desastre de origen siconatural.
- Los resultados obtenidos son indicativos para observar las zonas con mayor susceptibilidad y amenaza para ser considerada en análisis más detalladas dentro de las actualizaciones de instrumentos de ordenamiento territorial en los municipios de Abriaquí, Cañasgordas, Frontino, Uramita y Dabeiba. Simultáneamente es recomendable identificar y diagnosticar la efectividad de las obras civiles de mitigación de amenazas ejecutadas y en ejecución para replantear las zonas expuestas necesarias de estudios específicos.
- Se recomienda realizar estudios detallados de amenazas en los sectores hidrográficos tributarios de las quebradas que obtuvieron calificación de amenaza alta por avenidas torrenciales considerando el fenómeno físico como la combinación de crecientes súbitas de caudal en cauces torrenciales con la detonación de movimientos en masa que aportarían material tras la ocurrencia de flujos canalizados o deslizamientos cerca del cauce del cuerpo de agua. Para ello se deben considerar los fenómenos presentados en Salgar (Antioquia) en el año 2015 o el caso de Mocoa (Putumayo) en marzo de 2017 que aportan comprensión de las condiciones de riesgo en Colombia y las metodologías adecuadas para su análisis, siempre combinando el criterio cualitativo y heurístico a partir de análisis geológico y geomorfológico, la modelación hidráulica de la torrencialidad de los cauces, la modelación geotécnica de la estabilidad de las laderas y la modelación del flujo de materiales sólidos y líquidos para que la zonificación no quede reducida a solo un aspecto y se logre integrar efectivamente todo el análisis mínimo que requiere un fenómeno de esta naturaleza (geológico, geomorfológico, hidrológico, geotécnico, hidráulico y físico en general).
- Establecer esquemas de monitoreo observacional e instrumental en combinación con capacitación comunitaria e institucional en el marco de la iniciación a Sistemas de Alerta Temprana (SATs) para evitar exposición directa de vidas humanas en los instantes de ocurrencia de los fenómenos de avenidas torrenciales, inundaciones y movimientos en masa.

