CAPITULO 7.

CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE RIESGO















ACTUALIZACIÓN POMCA DEL RÍO HACHA INFORME FINAL FASE DE DIAGNÓSTICO

CAPITULO 5. CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE RIESGO



FLORENCIA- CAQUETÁ JUNIO 2018









TABLA DE CONTENIDO

Pág.
7 CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE RIESGO 20
7.1 OBJETIVOS
7.2 ALCANCES Y LIMITACIONES
7.3 DEFINICIONES BÁSICAS
7.4 GENERALIDADES31
7.5 RESUMEN EJECUTIVO DE LA CONDICIÓN DE AMENAZA Y RIESGO 35
7.6 CARACTERIZACIÓN HISTÓRICA Y EVENTOS AMENAZANTES36
7.6.1 Metodología36
7.6.2 Caracterización de eventos37
7.6.2.1 Eventos históricos espacializados por movimientos en masa 50
7.6.2.2 Eventos históricos espacializados por inundaciones
7.6.2.3 Eventos históricos espacializados por avenidas torrenciales 56
7.6.2.4 Eventos históricos espacializados por incendios forestales 58
7.7 IDENTIFICACIÓN, CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FENÓMENOS AMENAZANTES Y EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA
7.7.1 Descripción metodológica para obtener susceptibilidad a movimientos en masa
7.7.2 Descripción de las variables de susceptibilidad a movimientos en masa
7.7.2.1. Selección de la muestra de análisis (MM_LM_MOVT) 63









7.7.2.2 Factores condicionantes
7.7.2.3 Características Geométricas de la Ladera (CGL)67
7.7.2.4 Variables con relación de proximidad (VRP)
7.7.2.5 Variables categóricas
7.7.3 Descripción de las variables de propensividad93
7.7.4 Zonificación de susceptibilidad a movimientos en masa
7.7.5 Descripción metodológica para obtener amenaza por movimientos en masa
7.7.6 Descripción de las variables de amenaza por movimientos en masa 114
7.7.6.1 Precipitación
7.7.6.2 Aceleración Sísmica
7.7.6.3 Modelo geológico geotécnico
7.7.7 Zonificación de la amenaza por movimientos en masa
7.7.8 Validación en campo de la condición de amenaza por movimientos en masa
7.8 IDENTIFICACIÓN, CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FENÓMENOS AMENAZANTES Y EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR INUNDACIONES
7.8.1 Descripción metodológica para obtener susceptibilidad a inundaciones
7.8.2 Descripción de variables de susceptibilidad a inundaciones
7.8.2.1 Localización de inundaciones (LIN)
7.8.2.2 Factores condicionantes
7.8.4 Descripción metodológica para obtener amenaza por inundaciones 144









7.8.1 Descripción de las variables para obtener amenaza por inundaciones148
7.8.1.1 Inundaciones históricas (INUNHIST)
7.8.1.2 Zonas de susceptibilidad a inundaciones
7.8.2 Zonificación de la amenaza a inundaciones149
7.9 IDENTIFICACIÓN, CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FENÓMENOS AMENAZANTES Y EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES
7.9.1 Descripción metodológica para obtener susceptibilidad a avenidas torrenciales
7.9.2 Descripción de las variables para obtener susceptibilidad a avenidas torrenciales
7.9.2.1 Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET) 154
7.9.2.2 Índice de Melton (IMELTON)159
7.9.2.3 Unidades geomorfológicas
7.9.2.4 Eventos (LOC_AT)
7.9.3 Zonificación de la susceptibilidad a avenidas torrenciales 164
7.9.4 Descripción metodológica para obtener amenaza por avenidas torrenciales166
7.9.5 Descripción de las variables para obtener susceptibilidad a avenidas torrenciales
7.9.5.1 Localización de Avenidas Torrenciales (LAT)
7.9.5.2 Zonas de susceptibilidad a avenidas torrenciales
7.9.6 Análisis de la zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales 168
7.10 IDENTIFICACIÓN, CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FENÓMENOS AMENAZANTES Y EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR INCENDIOS FORESTALES









7.10.1 Descripción metodológica para obtener susceptibilidad a incendios forestales
7.10.2 Descripción de las variables para el cálculo de susceptibilidad a incendios forestales
7.10.3 Análisis de la zonificación de la susceptibilidad a incendios forestales
7.10.4 Descripción metodológica para obtener amenaza por incendios forestales
7.10.5 Descripción de las variables de amenaza por incendios forestales 184
7.10.5.1 Precipitación (PRECIP)
7.10.5.2 Temperatura (TEMP)
7.10.5.3 Pendiente (PEND)
7.10.5.4 Accesibilidad (ACCES)
7.10.5.5 Factor Histórico (FHIST)
7.10.6 Análisis de la zonificación de la amenaza a incendios forestales 194
7.11 ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE VULNERABILIDAD 195
7.11.1 Exposición
7.11.1.1 Valor físico o costo de reposición (vu)
7.11.1.2 Valor humano u ocupación uso (OU)
7.11.2 Fragilidad201
7.11.2.1 Fragilidad física (FF)
7.11.2.2 Fragilidad Ecosistémica
7.11.3 Falta de resiliencia210
7 11 3 1 Planeación (PR) 213









7.11.3.2 Operaciones (O)
7.11.3.3 Recuperación (Rec).:
7.11.4 Vulnerabilidad final218
7.12 ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE RIESGO
7.13 ANÁLISIS DE ELEMENTOS EXPUESTOS
7.13.1 Indicadores de niveles de amenaza23
7.14 CONSIDERACIONES ADICIONALES SOBRE AMENAZA Y RIESGO EN FLORENCIA
7.14.1 Escala real de análisis rural de amenaza en los estudios vigentes 23:
7.14.1 Escala real de análisis urbano de amenaza de los estudios vigentes23
7.14.2 Riesgo sísmico relegado230
7.15 RECOMENDACIONES E IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES DE INFORMACIÓN E INVESTIGACIÓN
7.15.1 Zonas de amenaza por movimientos en masa24
7.15.2 Zonas de amenaza por inundaciones24
7.15.3 Zonas de amenaza por avenidas torrenciales
7.15.4 Zonas de amenaza por incendios de coberturas vegetales 243
7.16 BIBLIOGRAFIA









LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización general de la cuenca del río Hacha31
Figura 2. Distribución territorial de la cuenca del rio Hacha
Figura 3. Espacialización de Eventos amenazantes registrados en la cuenca del río Hacha
Figura 4. Movimientos en masa identificados y espacializados en la cuenca 51
Figura 5. Recurrencia de movimientos en masa identificados y espacializados en la cuenca del río Hacha
Figura 6. Inundaciones identificadas y espacializadas en la cuenca del río Hacha
Figura 7. Recurrencia de inundaciones identificadas y espacializadas en la cuenca del río Hacha
Figura 8. Avenidas torrenciales identificadas y espacializadas en la cuenca del río Hacha
Figura 9. Recurrencia de avenidas torrenciales identificadas y espacializadas en la cuenca
Figura 10. Incendios forestales identificados y espacializados en la cuenca del rio Hacha
Figura 11. Recurrencia de inundaciones identificadas y espacializadas en la cuenca del río Hacha
Figura 12. Metodología para obtener susceptibilidad a movimientos en masa 62
Figura 13. Muestra de eventos inestables y puntos estables 64
Figura 14. Modelo Digital de Elevación DEM de la cuenca del río Hacha 66
Figura 15. Factores condicionantes derivados de las características geométricas de la ladera
Figura 16. Propensividad a inestabilidad por pendiente de la ladera 68
Figura 17. Propensividad a inestabilidad por pendiente senoidal de la ladera 69









Figura 18. Propensividad a inestabilidad por rugosidad del terreno70
Figura 19. Propensividad a inestabilidad por curvatura del terreno71
Figura 20. Propensividad a inestabilidad por curvatura longitudinal72
Figura 21. Propensividad a inestabilidad por curvatura transversal73
Figura 22. Propensividad a inestabilidad por insolación del terreno74
Figura 23. Propensividad a inestabilidad por orientación de ladera75
Figura 24. Propensividad a inestabilidad por acumulación de cuenca76
Figura 25. Propensividad a inestabilidad por longitud acumulada de cuenca 77
Figura 26. Variables con relación de proximidad en función a la susceptibilidad a movimientos en masa
Figura 27. Propensividad a inestabilidad por proximidad a cuerpos de agua 80
Figura 28. Propensividad a inestabilidad por proximidad a vías 81
Figura 29. Propensividad a inestabilidad por proximidad a fallas y lineamientos 82
Figura 30. Densidad de fracturamiento
Figura 31. Variables categóricas en función a la susceptibilidad a movimientos en masa
Figura 32. Propensividad por origen o unidades geológicas
Figura 33. Propensividad a inestabilidad por subunidades geomorfológicas 88
Figura 34. Propensividad a inestabilidad por tipo de vegetación o coberturas 90
Figura 35. Propensividad a inestabilidad por unidades geológicas superficiales 92
Figura 36. Susceptibilidad a movimientos en masa
Figura 37. Estructura metodológica para la evaluación de amenaza por movimientos en masa
Figura 38. Esquema del modelo de talud infinito









Figura 39. Retención potencial de agua (S)
Figura 40. Altura de la lámina de agua para periodo de retorno de precipitaciones de 2 años
Figura 41. Altura de la lámina de agua para periodo de retorno de precipitaciones de 20 años
Figura 42. Altura de la lámina de agua para periodo de retorno de precipitaciones de 50 años
Figura 43. Altura de la lámina de agua para periodo de retorno de precipitaciones de 100 años
Figura 44. Amenaza sísmica nacional
Figura 45. Coeficiente de aceleración sísmica
Figura 46. Zonas geotécnicas
Figura 47. Parámetro geomecánico de cohesión de suelos
Figura 48. Parámetro geomecánico de ángulo de fricción de suelos
Figura 49. Parámetro de peso unitario de suelos
Figura 50. Amenaza por movimientos en masa
Figura 51. Validación en campo de la condición de amenaza por movimientos en masa para la cuenca del río Hacha
Figura 52. Variables que determinan a la zonificación de la susceptibilidad a la amenaza por inundaciones
Figura 53. Susceptibilidad por subunidades geomorfológicas a inundaciones 139
Figura 54. Susceptibilidad por unidades de terreno a inundaciones
Figura 55. Susceptibilidad a inundaciones
Figura 56. Zonificación antecedente de inundación en la quebrada La Sardina . 145
Figura 57. Zonificación antecedente de inundación en ríos del área urbana 146









Figura 58. Zonificación de inundación antecedente del río Hacha147
Figura 59. Variables para la modelación de la amenaza por inundaciones 148
Figura 60. Amenaza por inundaciones
Figura 61. Variables que determinan a la zonificación de la susceptibilidad por avenidas torrenciales
Figura 62. Índices implícitos en el cálculo del Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales - IVET
Figura 63. Índice de variabilidad de caudal
Figura 64. Categorías necesarias para calcular el índice morfométrico 156
Figura 65. Índice de morfométrico
Figura 66. Índice vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET)
Figura 67. Índice de torrencialidad de Melton
Figura 68. Susceptibilidad de subunidades geomorfológicas a eventos torrenciales
Figura 69. Susceptibilidad de unidades del terreno a eventos torrenciales 163
Figura 70. Susceptibilidad a eventos torrenciales
Figura 71. Variables para la modelación de la amenaza por avenidas torrenciales
Figura 72. Amenaza por avenidas torrenciales
Figura 73. Variables que determinan a la zonificación de la susceptibilidad de la cobertura vegetal a sufrir incendios forestales
Figura 74. Tipo de combustible para la cobertura vegetal presente en la cuenca
Figura 75. Duración de combustible para la cobertura vegetal
Figura 76. Carga total de combustible para la cobertura vegetal 181
Figura 77. Susceptibilidad de la vegetación a incencios forestales









Figura 78. Variables para la modelación de la amenaza por incendios forestales
Figura 79. Calificación de la precipitación en función a la amenaza a incendios forestales
Figura 80. Características del clima (Temperatura) en función a la amenaza a incendios forestales
Figura 81. Calificación de la temperatura en función a la amenaza a incendios forestales
Figura 82. Características topográficas (PENDIENTE) en función a la amenaza a incendios forestales
Figura 83. Calificación de la pendiente media en función a la amenaza a incendios forestales
Figura 84. Características de proximidad (ACCES) en función a la amenaza a incendios forestales
Figura 85. Calificación de la accesibilidad en función a la amenaza a incendios forestales
Figura 86. Factor Histórico en Función a La Amenaza a Incendios Forestales 192
Figura 87. Calificación del factor histórico en función a la amenaza a incendios forestales
Figura 88. Amenaza a incendios forestales para la cuenca del río Hacha 194
Figura 89. Variables que incluyen la exposición de función a la vulnerabilidad 196
Figura 90. Valor de uso
Figura 91. Valor de ocupación
Figura 92. Índice de exposición
Figura 93. Variable que incluyen la fragilidad de función a la vulnerabilidad 201
Figura 94. Posible fragilidad física por movimientos en masa
Figura 95. Posible fragilidad física por inundaciones 203









Figura 96. Posible fragilidad física por avenidas torrenciales
Figura 97. Índice de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) 205
Figura 98. Índice de calidad de vida (ICV)
Figura 99. Índice de fragilidad ecosistémica
Figura 100. Índice de fragilidad
Figura 101. Variables implícitas en el cálculo de falta de resiliencia
Figura 102. Índice de falta de resiliencia
Figura 103. Posible vulnerabilidad a movimientos en masa
Figura 104. Posible vulnerabilidad a inundaciones
Figura 105. Posible vulnerabilidad a avenidas torrenciales
Figura 106. Vulnerabilidad general
Figura 107. Riesgo por movimientos en masa
Figura 108. Riesgo por inundaciones
Figura 109. Riesgo por avenidas torrenciales
Figura 110. Riesgo por incendios forestales
Figura 111. Elementos expuestos a amenazas altas
Figura 112. Comparativa de amenaza por movimientos en masa en área rural . 234









LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Información Político Administrativa de la cuenca del Río Hacha 32
Tabla 2. Eventos reportados en la cuenca
Tabla 3. Recurrencia de eventos reportados
Tabla 4. Causas de eventos reportados
Tabla 5. Afectaciones de eventos de emergencia
Tabla 6. Afectaciones inundación 2010
Tabla 7. Propensividad a inestabilidad según origen o unidades geológicas 85
Tabla 8. Propensividad a inestabilidad por subunidades geomorfológicas 87
Tabla 9. Calificación y categorización según tipo de vegetación o coberturas 89
Tabla 10. Propensividad a inestabilidad por unidad geológica superficial 91
Tabla 11. Prueba Kolmogorov – Sminorv
Tabla 12. Análisis factorial y matriz de correlación
Tabla 13. Prueba T (estadísticas de grupo)
Tabla 14. Prueba ANOVA
Tabla 15. Clasificación de la amenaza por movimientos en masa en 3 clases 112
Tabla 16. Clasificación de la amenaza por movimientos en masa en 3 clases 112
Tabla 17. Sismicidad local en Caquetá
Tabla 18. Sismicidad local en Florencia
Tabla 19. Parámetros geomecánicos
Tabla 20. Susceptibilidad por subunidades geomorfológicas a inundaciones 138
Tabla 21. Susceptibilidad por unidades de terreno a inundaciones









Tabla 22. Categorización de la recurrencia de los eventos de inundación 148
Tabla 23. Relaciones para categorizar índices morfométricos
Tabla 24. Relaciones entre variables para el índice morfométrico
Tabla 25. Clasificación del Índice de Vulnerabilidad Frente a Eventos Torrenciales- IVET
Tabla 26. Susceptibilidad de subunidades geomorfológicas a eventos torrenciales
Tabla 27. Susceptibilidad de unidades del terreno a eventos torrenciales 162
Tabla 28. Categorización de la recurrencia de los eventos de avenidas torrenciales
Tabla 29. Categorización de la recurrencia de los eventos de avenidas torrenciales
Tabla 30. Calificación de tipo de combustible para la cobertura vegetal existente en la cuenca del río Hacha
Tabla 31. Calificación de duración de combustible para la cobertura vegetal existente en la cuenca del río Hacha
Tabla 32. Calificación de carga total de combustible para la cobertura vegetal existente en la cuenca del río Hacha
Tabla 33. Indicador temperatura
Tabla 34. Indicador tasa de dispersión
Tabla 35. Indicador distancia a vías
Tabla 36. Reporte deincendios forestales
Tabla 37. Matriz de comparación por pares para variables de exposición 199
Tabla 38. Pesos asignados para variables de exposición (vector de valores propios)
Tabla 39. Normalización de categorías ecosistémicas en función al índice de fragilidad









Tabla 40. Matriz de comparación por pares para variables de fragilidad 208
Tabla 41. Pesos asignados para variables de fragilidad (vector de valores propios)
Tabla 42. Ficha de revisión de instrumento de gestión de riesgos local para el cálculo de la resiliencia
Tabla 43. Calificación de la categoría para cada respuesta realizada
Tabla 44. Calificación de la categoría
Tabla 45. Nivel de efectividad de resiliencia
Tabla 46. Categoría calificación operaciones
Tabla 47. Estandarización y calificación de la falta de resiliencia medida en disponibilidad de un centro de salud cercano
Tabla 48.Evaluación personal de búsqueda y rescate público
Tabla 49.Calificación nivel educativo
Tabla 50. Matriz de comparación por pares para variables de falta de resiliencia
Tabla 51. Pesos asignados para variables de falta de resiliencia (vector de valores propios)
Tabla 52. Matriz propuesta para la categorización de niveles de riesgo 223
Tabla 53. Porcentajes de amenaza por movimientos en masa
Tabla 54. Porcentajes de amenaza por inundación
Tabla 55. Porcentajes de amenaza por avenidas torrenciales
Tabla 56. Porcentajes de amenaza por incendios de coberturas vegetales 232









LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Número de Eventos reportados y espacializados en la cuenca	. 44
Gráfica 2. Recurrencia de eventos reportados en la cuenca	. 45
Gráfica 3. Afectaciones de eventos de emergencia	. 47
Gráfica 4. Movimientos en masa por tipo de fuente	. 50
Gráfica 5. Inundaciones por tipo de fuente	. 53
Gráfica 6. Número de Incendios y área afectada reportada por departamento al a	
Gráfica 7. Registros de Incendios de la cobertura vegetal por tipo de fuente	. 61
Gráfica 8. Histogramas de distribución de las variables de entrada de la func discriminante	









LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Inundación por desbordamiento del río Hacha 2010
Fotografía 2. Avenida torrencial en la quebrada La Yuca en marzo de 2010 40
Fotografía 3. Avenida torrencial, deslizamientos y flujos detonados en mayo 2010
Fotografía 4. Inundación por desbordamiento del río Hacha en el barrio el Raicero
Fotografía 5. Deslizamiento compuesto vía Florencia- Huila42
Fotografía 6. Deslizamiento compuesto vía Florencia- Huila43
Fotografía 7. Flujos detonados durante la inundación del río Hacha 2010 43
Fotografía 8. Área urbana sobre depósitos aluviales236
Fotografía 9. Viviendas y edificaciones vulnerables físicamente237









LISTADO DE ANEXOS

- Anexo 7.1. Base de datos eventos amenazantes
- Anexo 7.2. Formato de eventos activos
- Anexo 7.3. Factores susceptibilidad para Movimientos en Masa
- Anexo 7.4. Análisis discriminante Movimientos en Masa Susceptibilidad
- Anexo 7.5. Caracterización geotécnica
- Anexo 7.6. Modelo geológico geotécnico
- Anexo 7.7. Amenaza Sísmica
- Anexo 7.8. Condicionantes y detonantes Amenaza de Movimientos en Masa
- Anexo 7.9. Evaluación amenaza de Movimientos en Masa
- Anexo 7.10. Diez escenarios MM Amenaza
- Anexo 7.11. Índices evaluación susceptibilidad Av Torrenciales (IVET Melton)
- Anexo 7.12. Encuestas resiliencia
- Anexo 7.13. Diez escenarios MM riesgo
- Anexo 7.14. Validación de campo









7 CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE RIESGO

El presente análisis técnico corresponde a uno de los componentes de la fase de diagnóstico del proceso de actualización del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica (POMCA) del río Hacha, la cual se encuentra en jurisdicción de la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia (CORPOAMAZONIA), y se desarrolla en el marco del proyecto "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".

La información consignada en este documento se centra en la identificación y evaluación de las diferentes amenazas naturales que afectan la cuenca hidrográfica del río Hacha junto con los diferentes factores de vulnerabilidad, con el propósito de establecer, delimitar y clasificar las condiciones de riesgo para movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales e incendios forestales a lo largo de toda el área de la cuenca.

En la medida que cada territorio incorpore dentro de sus instrumentos de ordenamiento un buen componente de gestión del riesgo, este podrá conocer mejor sus dinámicas y determinar las zonas que presentan mayor susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo a los diversos eventos amenazantes. Lo cual permite formar a los habitantes, asignar recursos financieros, técnicos y humanos para prevenir, mitigar, alertar, responder, rehabilitar y recuperarse ante cualquier evento catastrófico, al tiempo que se da cumplimiento a la legislación actual y se reconoce 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, la 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 se "reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos..." y se incorpora el componente de gestión del riesgo en los procesos de formulación y/o actualización de los POMCA.

Este documento contiene el componente de gestión del riesgo, el cual se desarrolló de acuerdo con el anexo técnico del POMCA de la cuenca hidrográfica del río









Hacha, y el Anexo B de la Guía técnica para la formulación de los POMCA del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS, 2014), estructurándose de la siguiente forma: Inicialmente se puntualiza el alcance y se dan unas definiciones básicas sobre las que se orienta el desarrollo de la metodología; después se realiza 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 efectúa 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 en esta área.

7.1 OBJETIVOS

- 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 han 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 espacializar 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 Sostenible¹ y corresponde a una actualización del POMCA formulado en el año 2005, en el cual el componente de riesgos tuvo un alcance conceptual, sin llegar a 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 A, (1991), Baeza (1996), Nuria (2001), Santacana (2003), (IDEAM et al, 2012) 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, y considera adicionalmente los planteamientos de Luengas y

_

¹ MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE (MADS). Protocolo para la Incorporación de la gestión del riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA). 2014









Perico (2017) para considerar la condición de amenaza probabilística por movimientos en masa como aportante de materiales sólidos de arrastre en combinación con la caracterización morfométrica y áreas de afectación condicionada por el confinamiento de los cauces.

- 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 Hacha, sin embargo, se considera entre los insumos para evaluación, los modelamientos recientes para el acotamiento de la ronda hídrica contratado por CORPOAMAZONIA y los estudios para la incorporación de la gestión del riesgo en el ordenamiento territorial del municipio de Florencia contratados por la alcaldía municipal y realizados por Corporación Ozono, los cuales aplican para escalas regionales.
- La información secundaria existente en estudios relacionados con condiciones de fragilidad socioeconómica y física, permiten un análisis de vulnerabilidad y exposición a una mejor escala en algunos sectores de la cuenca (principalmente urbanos como la cabecera municipal de Florencia, más no para sus sectores rurales). Por lo tanto, el análisis integral de vulnerabilidad y riesgo parte de la información que existe en su totalidad a escala municipal y tiene cobertura en toda la extensión cuenca hidrográfica del río Hacha a fin de evitar la exclusión de ciertos análisis en algunas zonas que no cuentan con información de mayor detalle en las mismas.
- La referencia de eventos históricos permite reconocer la recurrencia y afectaciones de los diferentes eventos amenazantes, pero no logra 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 uno de los fenómenos amenazantes identificados en la cuenca.









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

El análisis y evaluación del riesgo es la consideración de las causas y fuentes del riesgo, sus consecuencias y la probabilidad de que las mismas puedan ocurrir. Según la Ley 1523 de 2012 en su artículo 4, numeral 4 se define análisis y









evaluación del riesgo como: "el modelo mediante el cual se relaciona la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos sociales, económicos y ambientales. Se estima el valor de los daños y las pérdidas potenciales, y se compara con criterios de seguridad establecidos, con el propósito de definir tipos de intervención y alcance de la reducción del riesgo y preparación para la respuesta y recuperación". A continuación, se conceptualizan los términos más comunes empleados en gestión de riesgo de desastres y fenómenos amenazantes, acorde a lo establecido por el Comité Nacional para el Conocimiento del Riesgo², con lo cual se busca atender la recomendación de emplear un lenguaje común al interior y exterior del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD) y en este sentido facilitar la articulación institucional en todo el territorio nacional.

- 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

_

² COMITÉ NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO DEL RIESGO. Terminología sobre Gestión del Riesgo de Desastres y Fenómenos Amenazantes. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres-UNGRD. Bogotá. 2017. 48p.









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 espaciotiempo 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.
- 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, 2016).
 - 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, lobuladas cuando interesan а materiales cohesivos desparramándose por la ladera o formando conos de devección cuando afectan a materiales granulares (Corominas, 2015). 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, solifluxión, 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.







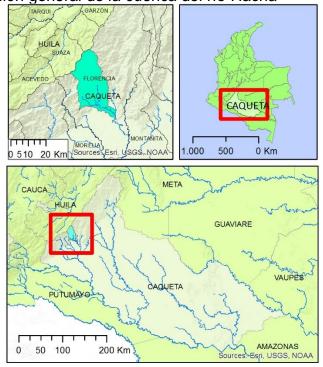


- z) Riesgo de desastres: corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socionatural, tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente, el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad.
- aa) Vulnerabilidad: fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo.

7.4 GENERALIDADES

La cuenca hidrográfica del Río Hacha tiene una extensión de 50.030 ha y se encuentra ubicada geográficamente en el departamento del Caquetá en jurisdicción del municipio de Florencia, desempeñando una función estratégica como abastecedora de agua y otros servicios ambientales importantes para la ciudad de Florencia (Ver Figura 1).

Figura 1. Localización general de la cuenca del río Hacha



Fuente: Ecointegral Ltda. Contrato N°0390 de 2016









La cuenca del río Hacha comprende el 21,8% del municipio de Florencia, el 89% de su territorio se encuentra en la cordillera Oriental (partes media y alta de la cuenca) y el 11% restante pertenece a la altiplanicie amazónica (parte baja) distribuyéndose de esta manera en dos importantes regiones naturales del país: Andina y Amazónica.

El río Hacha nace en la Reserva Forestal de la Amazonia a una altura aproximada de 2.400 msnm cerca del límite con el departamento del Huila; desde su nacimiento hasta su confluencia en el río Orteguaza tiene una longitud de 64,501 km y su curso lleva una dirección norte – sureste. En su recorrido por el municipio de Florencia recoge las aguas de importantes tributarios tales como el río Caraño y las quebradas La Magola, La Ruidosa, Tarqui, Sucre, Santa Elena, El Paraíso, Palmichal, La Perdiz, Las Doradas, Travesías, La Carbona, El Dedo y La Yuca (CORPOAMAZONIA, 2005).

La Cuenca hidrográfica del Río Hacha se encuentra conformada por cuatro de los siete corregimientos del municipio de Florencia y la totalidad del suelo urbano de la ciudad de Florencia (ver Tabla 1). A nivel rural, la cuenca está integrada por 58 veredas y siete (7) parcelaciones distribuidas en los Corregimientos Caraño, Santo Domingo, San Martin y Venecia (Figura 2).

Tabla 1. Información Político Administrativa de la cuenca del Río Hacha

DIVISIÓN TERRITORIAL	COMPOSICIÓN	ÁREA (HA)	PORCENTAJE DE LA CUENCA
Corregimiento Caraño	44 veredas y 6 parcelaciones	37.922,64	75,8%
Corregimiento Santo Domingo	9 veredas	5.081,5	10,2%
Corregimiento San Martin	2 veredas parciales	206,53	0,4%
Corregimiento Venecia	2 veredas parciales	3.016,76	6,0%
Zana Llubana	Casco Urbano	1.597,76	7.60
Zona Urbana	Área de expansión	2.205,53	7,60

Fuente: Ecointegral Ltda. Contrato N°0390 de 2016

El clima en esta región está influenciado por la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y los vientos alisios del sureste. La cuenca en su mayor extensión está en los pisos térmicos cálido y templado, con una porción menor en piso térmico frío. Los valores promedios de temperatura mensual en las estaciones del IDEAM en el sector tienden a presentar un comportamiento bastante uniforme, cercano a la media en casi todos los meses y con variaciones de no más de 3.0 °C a lo largo del año con respecto al valor de temperatura media para la cuenca de 23.5 °C. De









acuerdo con la información registrada por las estaciones meteorológicas del IDEAM, las más altas temperaturas se presentan en los meses de final e inicio del año, entre noviembre y marzo. Mientras que los meses de junio a agosto son los que presentan por lo general, los valores más bajos de temperatura.

Figura 2. Distribución territorial de la cuenca del rio Hacha GUADALUPE CAUCA SIN HUILA CAQUETA SUAZA CAUCA UTUMAYO Convenciones Vía Tipo Vía Drenaje Sencillo Veredas Casco Urbano Límite Cuenca San Jose de Canelos Drenaje Doble División Política мо 1:170.000

Fuente: Ecointegral Ltda. Contrato N°0390 de 2016









De acuerdo con la información registrada por las estaciones metereológicas del IDEAM, la temperatura en la cuenca del río Hacha disminuye de sur a norte, siendo inversamente proporcional a la altura, es decir, la temperatura aumenta en la medida que disminuye la altura sobre el nivel del mar.

El régimen de precipitación es monomodal con un período de lluvias intensas y otro período de baja precipitación. La temporada de alta precipitación se presenta entre los meses de abril a julio, con valores máximos mensuales de 508 mm en el mes de junio para la estación Aeropuerto. La temporada de baja precipitación se presenta principalmente entre los meses de diciembre a febrero, siendo el mes de enero, el que presenta los valores totales mensuales más bajos en todas las estaciones, con un valor de precipitación mínima de 51 mm en el mes de enero para la estación Líbano.

En relación con la velocidad media mensual y la dirección predominante media vectorial mensual de los vientos en la zona y tomando como referencia la Estación Aeropuerto, se aprecia que predominantemente en la región, los vientos van con dirección Nor-Oeste (NO) con un porcentaje de permanencia del 32.7%. Seguido con un 18.4% de permanencia, los vientos con dirección Sur (S). Respecto a la variación de velocidades, se encuentra que los valores promedio máximo, va desde 0.7 m/s (junio y septiembre), hasta 1.7 m/s (enero). La velocidad media es de 0.6 m/s.

A nivel espacial la recarga potencial anual en la cuenca va desde 2200 mm al año en la parte baja hasta 1500 mm al año en su parte alta. De acuerdo con esto, las zonas donde se presentan los mayores aportes al agua subsuperficial corresponden con la parte sur de la cuenca, área donde se presentan las precipitaciones anuales más altas.

A nivel geológico y geomorfológico, la cuenca posee rocas metamórficas y sedimentarias con perfiles de meteorización en toda su extensión en ambientes morfogenéticos estructurales, denudaciones y fluviales y depósitos aluviales en la parte suroriental de la cuenca, incluyendo al casco urbano de Florencia en ambientes fluviales. Además, estructuralmente hay presencia de fallas geológicas que han provocado fracturamientos no despreciables.

El territorio recibe la influencia de sistemas de fallas regionales y de la zona de subducción del pacífico que pueden generar aceleraciones sísmicas muy importantes que pueden imprimir amenaza sísmica media y alta. Asimismo, la existencia de depósitos aluviales con contenidos arcillosos puede tener un efecto local sobre el sismo cambiando sus propiedades si se comparan con los materiales rocosos, imprimiendo condiciones particulares de riesgo sobre los centros poblados y el casco urbano de Florencia. La estimación de la amenaza sísmica como detonante de deslizamientos se presenta con detalle en el presente documento.









Por otro lado, de la caracterización socioeconómica se encuentra que la cuenca es habitada por aproximadamente 167.158 personas, de las cuales 12.552 se distribuyen en el sector rural de la cuenca, siendo el corregimiento Caraño el más habitado y cercano al casco urbano. Las veredas más representativas en población son La Sardina, las parcelaciones del sector suburbano (Corregimiento Caraño) y Damas abajo (Corregimiento Santo Domingo) con más de mil habitantes. Mientras que las veredas con menor población corresponden a Tarqui (Corregimiento Caraño), Finlandia, Las Cascadas y La Conga (Corregimiento Santo Domingo) con menos de 20 habitantes; lo que muestra la heterogeneidad de la distribución poblacional en la zona rural de la cuenca

Con respecto a la densidad poblacional calculada por el DANE en 75 habitantes por km², hay que señalar que debe diferenciarse nuevamente la zona urbana y rural. De acuerdo con la ficha municipal del DNP, el casco urbano de Florencia tenía en el año 2016, 153.978 personas (11.792 personas por km²), lo que implica una hidrocefalia de lo urbano sobre lo rural que tenía para ese mismo año aproximadamente 2.279 km² con 21.429 personas, con una densidad de 9.4 habitantes por km² o 0.9 personas por hectárea.

7.5 RESUMEN EJECUTIVO DE LA CONDICIÓN DE AMENAZA Y RIESGO

A partir de la información obtenida desde los distintos componentes evaluados en el POMCA, se establece en este documento los procesos metodológicos desarrollados para la evaluación de susceptibilidad, amenaza, exposición, vulnerabilidad y riesgos por movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales e incendios forestales, considerando dentro de ellos aspectos sísmicos relacionados con fallas locales y amenaza regional e implementando las metodologías establecidas dentro de los alcances técnicos del POMCA del río Hacha, el protocolo para la incorporación de la Gestión de Riesgo y el anexo B de la guía metodológica para la implementación de POMCA; siempre involucrando mayor número de variables disponibles y buscando el mejor desarrollo técnico en la caracterización de las condiciones de amenaza y riesgo particulares para la cuenca hidrográfica del río Hacha.

El municipio de Florencia ha registrado eventos de emergencia por inundaciones debido al desbordamiento del río Hacha y de las quebradas La Yuca, El Dedo, El Dedito, La Sardina, La Perdiz y el río Orteguaza, siendo este quizás uno de los fenómenos amenazantes más relevantes para la cabecera municipal dentro de la cuenca. Por su parte, los movimientos en masa son de moderada magnitud y bastante recurrentes y dispersos por toda el área montañosa, siendo algunos representativos para la comunidad del sector rural. Una importante proporción de estos movimientos en masa han aportado materiales que han alcanzado los cauces de las quebradas torrenciales derivándose en avenidas torrenciales de importante









magnitud, principalmente en la quebrada La Yuca.

Considerando estos eventos históricos, la zonificación de amenaza resulta en posible afectación por amenazas en casi toda la cuenca, siendo las partes de ladera las más afectadas por todo tipo de fenómenos; el área urbana con afectaciones por inundación, avenidas torrenciales y en menor medida por movimientos en masa, y las áreas de planicie fuertemente expuestas a inundaciones hasta la desembocadura en el río Ortegüaza.

Las inundaciones y en general los eventos relacionados directa o indirectamente con las condiciones de precipitaciones se han visto agravados por los cambios en magnitud generados por los ciclos actuales de variabilidad climática; según el IDEAM, el ciclo conocido como "el Niño" y su fase opuesta "la Niña" son la causa de la mayor señal de variabilidad climática en la franja tropical del océano Pacifico, en la escala interanual y sus efectos son más marcados en el norte de la región Pacífica, los departamentos de la región Andina y en los departamentos de la región Caribe, principalmente en las tres últimas décadas.

En términos de vulnerabilidad se estimó la fragilidad socioeconómica y ecosistémica, falta de resiliencia y exposición, encontrando que las condiciones sociales y económicas son propicias en algunos sectores urbanos pero aún no se enmarcan en una dinámica poblacional orientada a la percepción del riesgo y capacidad de respuesta oportuna a eventos de emergencia, siendo este uno de los ejes que puede ser fortalecido en el corto plazo y de manera permanente. Así mismo, al revisar la existencia de elementos expuestos y bajo un concepto de riesgo implícito se observan áreas extensas de infraestructura expuesta urbana y rural, de manera que si se analiza con mayor detalle la fragilidad física de edificaciones y demás elementos se puede llegar a zonificar riesgo con estimación de pérdidas y afectaciones específicas a la población.

7.6 CARACTERIZACIÓN HISTÓRICA Y EVENTOS AMENAZANTES

7.6.1 Metodología

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

La recopilación de información se abordó de tres formas: Información de campo,









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

7.6.2 Caracterización de eventos

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

Los eventos de mayor recurrencia son los movimientos en masa, la mayoría tipo deslizamiento siendo algunos bastante representativos pues se han participado de fenómenos secuenciales al convertirse en flujos que van encontrando canalización en los drenajes y se combinan con crecientes de caudal en cuerpos de agua confinados y de relieve escarpado para finalmente desarrollar avenidas torrenciales que logran alcanzar extensiones importantes en las áreas de llanura, planicie o desconfinamiento de ríos. Otros movimientos en masa (deslizamientos distantes de cuerpos de agua, flujos no canalizados y caídas de rocas en la antigua vía al departamento del Huila) afectan cortes viales dentro de la cuenca.

Otros eventos de menor recurrencia, pero con el mismo o mayor impacto son las inundaciones y avenidas torrenciales asociadas a crecientes súbitas del río Hacha y las quebradas La Perdiz, La Yuca, El Dedo y el río Orteguaza. Es representativa en el municipio de Florencia la inundación del año 1962, el río Hacha afectó severamente el barrio La Vega provocando alrededor de 300 víctimas fatales. Hoy, quebradas como La Yuca, La Perdiz, La Sardina que conjuntamente con El Hacha hacen parte del perímetro urbano, han demostrado su área de influencia y, por ende, su capacidad de afectación urbana. La capital del Caquetá está rodeada por el río Hacha, su ubicación se encuentra en la confluencia de aguas del piedemonte en el río Orteguaza. Por el perímetro urbano pasan las quebradas La Yuca, La Sardina y La Perdiz que atraviesan la ciudad de norte a sur y confluyen con el Hacha a la altura del barrio Juan XXIII.









En esta configuración, en 1999 el desbordamiento del cauce principal del río Hacha y sus tributarios directos redundó en la inundación de más de 20 barrios y cobró la vida de 17 personas. Son también recurrentes y evidentes las afectaciones por otro tipo de amenazas como los flujos y avenidas torrenciales en la cuenca alta, los cuales logran avanzar hasta zonas en donde confluyen la quebrada La Perdiz y La Yuca con el río Hacha.

En 2010, luego del desbordamiento del río Hacha y la quebrada la Perdiz mostrado en la Fotografía 1, resultaron afectados por inundación 25 barrios con dos víctimas fatales y más de 3500 familias damnificadas. En este año, también se presentaron otros eventos previos a la inundación reportada en junio, estos fueron de tipo torrencial durante los meses de marzo y mayo (ver Fotografía 2 y Fotografía 3) que se desplazaron a lo largo del cauce de la quebrada La Yuca y afectaron sectores como Alto Brasil, Caño Caraño, El Mirador, Santo Domingo, La Holanda y la vereda La Paz.

Posteriormente, en mayo de 2014 se desbordaron de su cauce principal el río Hacha y la quebrada La Perdiz (la cual tiene varias quebradas afluentes que mostraron niveles altos de caudal), siendo afectados 14 barrios y además recordado el caso de un niño que murió por inmersión.

En junio de 2015, una vez más estos dos cuerpos de agua que pasan por la ciudad se desbordaron e inundaron calles y viviendas en los barrios San Judas Bajo, Raicero, Juan XXIII, El Guamal, Obrero, San Luis, La Esmeralda y El Chamón, provocándose pérdidas de enseres y un saldo de 760 familias damnificadas.

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

Considerando lo sostenido por la Alcaldía de Florencia en sus documentos relacionados con la gestión del riesgo, lo anterior evidencia las posibles incompatibilidades en el uso del suelo y la desatención de la regulación de los ciclos naturales propios de los cuerpos de agua, lo cual explícitamente hace un llamado a revisar los procesos de planificación y ocupación del territorio que no han consolidado una forma de ocupar y apropiar el territorio buscando equilibrio ambiental y desarrollo sostenible. Esto debe buscarse teniendo en cuenta que es una cuenca en que la recurrencia marca una situación de amenazas permanentes (ver análisis de recurrencia de eventos más adelante, los eventos se presentan con importante frecuencia, algunos son incluso muy recientes registrados en 2016 y 2017 como se muestra en la Fotografía 4), aun cuando estas se manifiestan con mayor intensidad en ciertas temporadas del año.

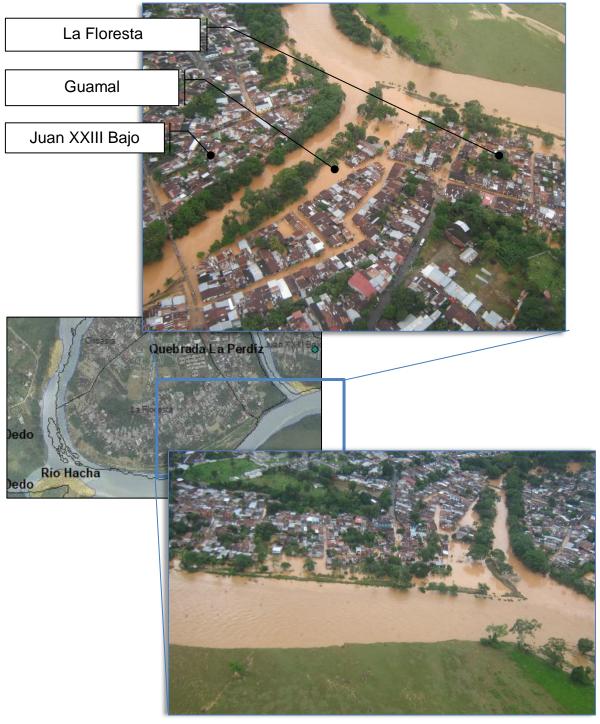








Fotografía 1. Inundación por desbordamiento del río Hacha 2010



Fuente: Ecointegral. Contrato N°0390 de 2016, con fotografías del evento Suministradas por Luis Carlos Montoya. Secretario de Ambiente y Desarrollo Territorial de la Alcaldía municipal de Florencia (Caquetá).









Fotografía 2. Avenida torrencial en la quebrada La Yuca en marzo de 2010





Fuente: Corpoamazonia, 2016. Registro fotográfico de eventos amenazantes suministrado como insumo para la ejecución del Contrato N°0390 de 2016.









Fotografía 3. Avenida torrencial, deslizamientos y flujos detonados en mayo 2010



a. sector Alto Brasil, b. sector Caraño, c. sector La Ilusión, d. sector El Mirador, e. sector puente La Yuca, f. sector Santo Domingo- La Holanda.

Fuente: Corpoamazonia, 2016. Registro fotográfico de eventos amenazantes suministrado como insumo para la ejecución del Contrato N°0390 de 2016.









Fotografía 4. Inundación por desbordamiento del río Hacha en el barrio el Raicero



Fuente: RCN, 2016

Las altas precipitaciones en la cuenca contribuyen directamente en la ocurrencia de inundaciones, avenidas torrenciales y movimientos en masa y son una de las variables más relevantes pues detonan dichos eventos. A pesar de la existencia de más variables condicionantes y detonantes de gran relevancia, las altas precipitaciones han logrado concentrar en una misma temporada la existencia simultánea de eventos de distinta naturaleza. Por ejemplo, deslizamientos compuestos que se observan sobre la vía que comunica a Florencia con el departamento del Huila (Fotografía 5 y Fotografía 6), deslizamientos en la cantera de San Jerónimo, flujos detonados en las zonas de ladera en el área rural, avenidas torrenciales en las quebradas La Yuca y La Perdiz e inundaciones por desbordamiento de cauces en sectores del área urbana y en la parte baja del río Hacha, todos en un solo trimestre en el año 2010 (Fotografía 7).

Fotografía 5. Deslizamiento compuesto vía Florencia- Huila



Fuente: Ecointegral. Contrato N°0390 de 2016. Tomada el 22 de julio de 2017.









Fotografía 6. Deslizamiento compuesto vía Florencia- Huila



Fuente: Corporación Ozono, 2016. Estudio Para La Incorporación De La Gestión Integral Del Riesgo en el Ordenamiento Territorial Del Municipio De Florencia, Caquetá. Contrato de Consultoría No. 20160002 del 23 de junio de 2016 (documento en revisión)

Fotografía 7. Flujos detonados durante la inundación del río Hacha 2010



Fuente: Corpoamazonia, 2016. Registro fotográfico de eventos amenazantes suministrado como insumo para la ejecución del Contrato N°0390 de 2016.



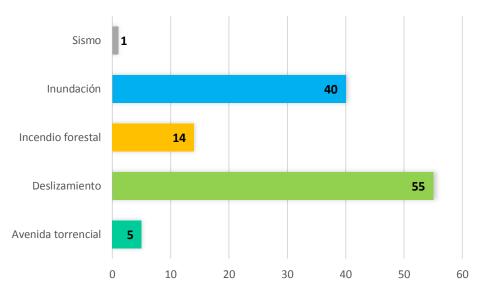






Una vez reseñados de manera general algunos de los eventos más importantes ocurridos en la cuenca en la historia reciente, se resumen a continuación los registros consultados y depurados por tipo de evento y fuente, extraídos de la base de datos disponibles en Desinventar (Sistema de inventario de efectos de desastres), la Unidad Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres (UNGRD), Servicio Geológico Colombiano (SGC), CORPOAMAZONIA y los referentes de estudios realizados en la ciudad de Florencia y el departamento del Caquetá con objeto de análisis de riesgo para ordenamiento territorial ejecutados por la Corporación Ozono³ (Gráfica 1 y Tabla 2).

Gráfica 1. Número de Eventos reportados y espacializados en la cuenca



Fuente: DESINVENTAR, UNGRD, SCG, CORPOAMAZONIA, Ecointegral, Contrato N°0390 de 2016

Tabla 2. Eventos reportados en la cuenca

TIPO DE FENÓMENO	NÚMERO DE EVENTOS	PORCENTAJE DE EVENTO
Avenida torrencial	5	4%
Deslizamiento	55	48%
Incendio forestal	14	12%
Inundación	40	35%
Sismo	1	1%
TOTAL GENERAL	115	100%

Fuente: Ecointegral, DESINVENTAR, UNGRD, SCG. Contrato N°0390 de 2016

³ Estudio Para La Incorporación De La Gestión Integral Del Riesgo en el Ordenamiento Territorial Del Municipio De Florencia, Caquetá. Contrato de Consultoría No. 20160002 del 23 de junio de 2016 Suscrito entre la Alcaldía

municipal del Florencia y la Corporación Ozono. En proceso de revisión.

44









En la Tabla 3 y Gráfica 2, se muestra un resumen de los eventos registrados en la cuenca para cada una de las amenazas en diferentes periodos, desde inicios del siglo anterior a la actualidad. Estos fueron construidos con la información reportada en las bases de datos de diferentes entidades depurando la duplicidad de los registros.

Tabla 3. Recurrencia de eventos reportados

Table 6. Recurrence de eventes reportades									
Tipo de evento	Menor a 15 años	Entre 15 y 50 años	Mayor a 50 años	Total					
Incendio forestal	13	1	0	14					
Deslizamiento	33	22	0	55					
Avenida torrencial	2	3	0	5					
Inundación	29	11	0	40					

Fuente: Ecointegral, DESINVENTAR, UNGRD, SCG. Contrato N°0390 de 2016

35
30
25
20
15
10
Incendio forestal Deslizamiento Avenida Inundación

Gráfica 2. Recurrencia de eventos reportados en la cuenca

■ Menor a 15 años

Fuente: Ecointegral, DESINVENTAR, UNGRD, SCG. Contrato N°0390 de 2016

Entre 15 y 50 años

torrencial

Mayor a 50 años

De los 115 eventos históricos registrados a lo largo de un poco más de un siglo, el 48% corresponde a registros de movimientos en masa ocurridos en su mayoría antes del año 2000. El 4% de los eventos registrados corresponde a avenidas torrenciales, valor que de igual manera se ha reducido en los últimos 15 años. El 14% de las situaciones de emergencia están relacionadas con la ocurrencia de incendios forestales, sin embargo, se debe mencionar que estos eventos son los más numerosos en los últimos 15 años. Finalmente, las inundaciones representan









el 35% de los eventos reportados, lo cual puede relacionarse con el tipo de relieve presente en la zona y las dinámicas de asentamiento de tipo subnormal que se encuentran a lo largo del cauce del río Hacha.

Los eventos de inundaciones en muchos casos hacen referencia a la recurrencia del desbordamiento de quebradas afluentes al río Hacha, afectando comunidades e infraestructura vial tanto en el suelo urbano y suburbano como en el rural. Esta amenaza es claramente la más notoria en la cuenca, denotando problemas asociados a los niveles de urbanización y los inconvenientes ligados a las restricciones de manejo de las aguas lluvias, ocupación de rondas hídricas, la reducción de infiltración en áreas urbanas, los cambios en volumen y velocidad de las escorrentías por pérdida de cobertura vegetal, entre otros aspectos.

Espacialmente los movimientos en masa y avenidas torrenciales siguen siendo muy representativos en la parte media y alta de la cuenca. Como se observa en la Tabla 4, hay registradas situaciones causales por tipo de evento, pero se evidencia en las bases de datos falta de información precisa y confusión de los registradores en la concepción del fenómeno físico de inundación y avenida torrencial y de sus efectos reales en el territorio.

Tabla 4. Causas de eventos reportados

TIPO DE FENÓMENO / CAUSAS	NÚMERO DE EVENTOS				
Avenida torrencial	5				
Desbordamiento quebrada la Perdiz y río Hacha	2				
Desbordamiento quebrada La Viciosa	1				
Desbordamiento quebrada el Dedo	1				
Sin dato acerca de causa	1				
Deslizamiento	55				
Lluvias	5				
Sin dato acerca de causa	50				
Incendio forestal	14				
Quemas incontroladas	1				
Sin dato acerca de causa	13				
Inundación	40				
Desbordamiento quebrada la Perdiz y la Sardina	6				
Desbordamiento quebrada la Perdiz y río Hacha	9				
Desbordamiento ríos Caguán y Orteguaza	2				
Desbordamiento ríos Doncello y Analla	1				
Desbordamiento diversos afluentes del río Hacha	2				
Sin dato acerca de causa	20				
Sismo	1				
Sin dato acerca de causa	1				
Total general	115				

Fuente: Ecointegral, DESINVENTAR, UNGRD, SCG. Contrato N°0390 de 2016



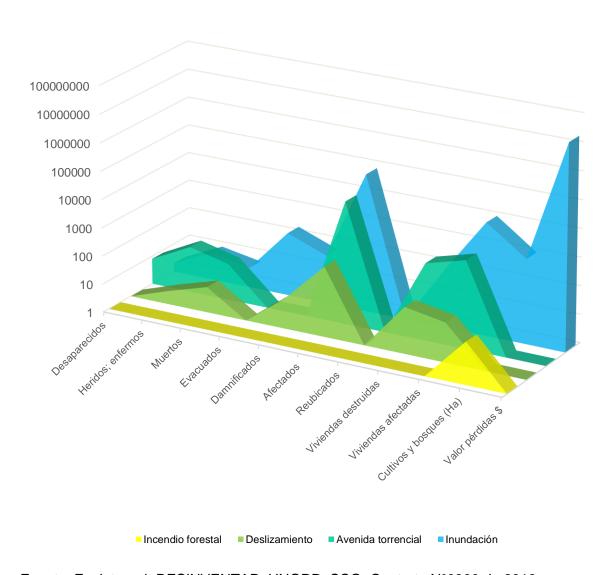






Si se presenta la información de eventos con enfoque específico de afectaciones y pérdidas, la ocurrencia de las cuatro amenazas y de sismos sobre el territorio de la cuenca se resume en la pérdida de 32 vidas, principalmente debido a avenidas torrenciales (52%), el 25% de las víctimas mortales por movimientos en masa y el restante de las vidas que se han perdido se deben a inundaciones. De las 11 personas desaparecidas, el 77% se debe a eventos torrenciales, el restante es consecuencia de movimientos en masa e inundaciones, en mayor proporción las segundas (Tabla 5 y Gráfica 3), las inundaciones reportadas han destruido en la cuenca el mayor número de cultivos seguido de los incendios forestales.

Gráfica 3. Afectaciones de eventos de emergencia



Fuente: Ecointegral, DESINVENTAR, UNGRD, SCG. Contrato N°0390 de 2016









Tabla 5. Afectaciones de eventos de emergencia

TIPO DE EVENTO	DESAPARECIDOS	HERIDOS	MUERTOS	EVACUADOS	DAMNIFICADOS	AFECTADOS	REUBICADOS	VIVIENDAS DESTRUIDAS	VIVIENDAS AFECTADAS	CULTIVOS Y BOSQUES (Ha)	PÉRDIDAS (MDP)
Incendio forestal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	0
Deslizamiento	1	3	8	0	12	306	0	44	25	0	0
Avenida torrencial	8	41	19	0	0	21580	0	528	1297	0	0
Inundación	2	9	5	170	50	73017	0	121	9837	977	20
TOTAL GENERAL	11	53	32	170	62	94903	0	693	11159	1008	20

Fuente: Ecointegral, DESINVENTAR, UNGRD, SCG. Contrato N°0390 de 2016

El número de damnificados por las emergencias es de 62 causado principalmente por inundaciones y deslizamientos. Las emergencias han generado la destrucción de 693 viviendas y la afectación de otras 11.159. Específicamente, para la inundación que se presentó en junio de 2010 la alcaldía de la ciudad de Florencia reporta que se vieron afectadas más de 3.000 familias concentradas principalmente en el área urbana del municipio (ver Tabla 6).

Tabla 6. Afectaciones inundación 2010

REPORTE	AFECTADOS ÁREA RURAL	AFECTADOS ÁREA URBANA	TOTAL AFECTADOS FLORENCIA
Familias afectadas	98	2.994	3.092
Personas mayores 7 años	240	8.997	9.237
Personas menores 7 años	78	2.391	2.469
TOTAL PERSONAS	318	11.388	11.706

Fuente: Alcaldía municipal de Florencia, 2016

La información recopilada durante las fases de aprestamiento y diagnóstico a través de diferentes actividades participativas en las que la comunidad evidenció y validó la información de los eventos amenazantes que han afectado a la cuenca, así como la recogida a través de las visitas de campo y las diferentes bases de datos, fue objeto de depuración y análisis para identificar y espacializar aquellos eventos que contaban con un referente espacial específico (ver Figura 3).

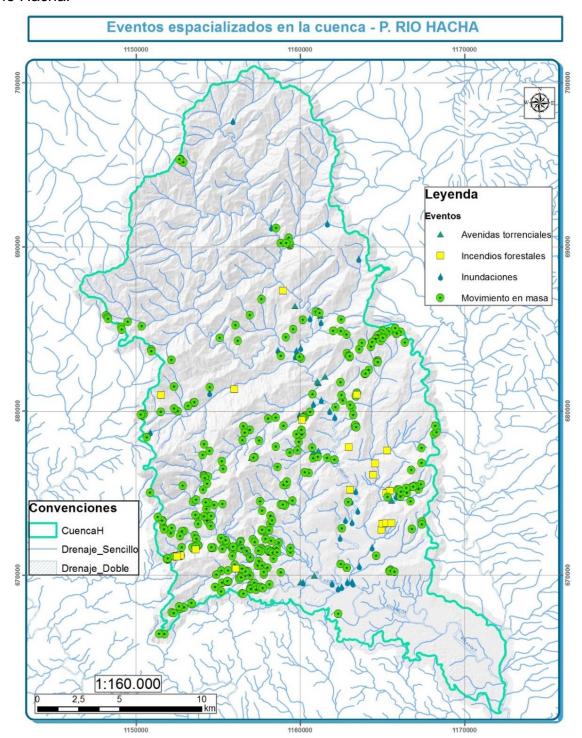








Figura 3. Espacialización de Eventos amenazantes registrados en la cuenca del río Hacha.











7.6.2.1 Eventos históricos espacializados por movimientos en masa. Como resultado de la recopilación realizada durante las fases de aprestamiento y diagnóstico se identificaron 379 eventos de movimientos en masa, los cuales se encuentran principalmente en la cuenca media hacia las veredas de El Paraíso, El Caraño, Santo Ángel, Las Brisas y Las Doradas y el sector suroccidental correspondiente al corregimiento Santo Domingo.

Dentro de las diversas fuentes consultadas para generar el inventario de procesos se encuentran la información histórica recolectada y suministrada por CORPOAMAZONIA, eventos identificados en oficina durante el proceso de fotointerpretación, además de los procesos identificados durante las diferentes misiones de campo (Anexos 7.1 Base de datos de eventos y 7.2 Formatos de eventos activos).

Como se muestra en la Gráfica 4, la mayoría de la información de movimientos en masa corresponde a eventos recopilados a partir de fotointerpretación e información secundaria seguidos por los identificados en campo.

300 73.4% 250 200 150 23,2% 100 50 3,4% \cap Secundaria-Campo Encuesta Fotointerpretación N° Registros Porcentaje Registro

Gráfica 4. Movimientos en masa por tipo de fuente

Fuente: Ecointegral. Contrato N°0390 de 2016

Algunas de las bases de datos específicas reportan eventos por movimientos en masa urbanos que por su magnitud debieron ser descartados porque su cantidad es desmesurada dentro de un análisis de susceptibilidad como el llevado a cabo en este estudio si se compara con la ruralidad en las que dichas bases tienen pocos o ningún evento. Entonces, al analizar las bases de datos existentes se realiza un filtro y adaptación de las mismas con los siguientes criterios:

 Pendiente de la ladera: eventos georreferenciados en zonas de pendientes inferiores a 13 grados o cercanos a la verticalidad.









- Zonas urbanas, de expansión, centros poblados y 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, razón por la cual se recomienda realizar estudios detallados en estas zonas que tengan en cuenta las modificaciones morfométricas detalladas.
- Eventos que no cuentan con un referente espacial puntual.

Luego de realizar el proceso de depuración se obtiene una base de 278 eventos de movimientos en masa (Figura 4), la información recopilada coincide con un rango temporal alto y moderado. Estos eventos se representan con colores rojos al tener una recurrencia inferior a 15 años y naranja cuando su recurrencia está entre 15 y 50 años (Ver Figura 5).

Figura 4. Movimientos en masa identificados y espacializados en la cuenca

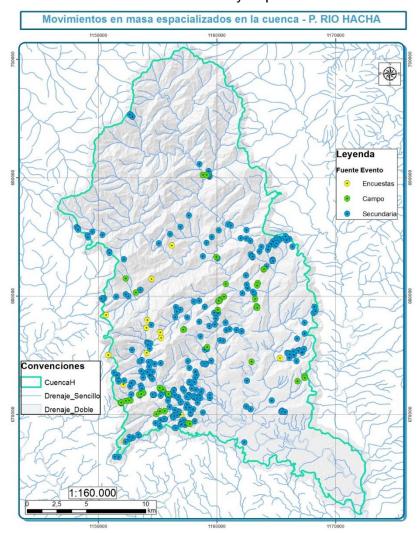


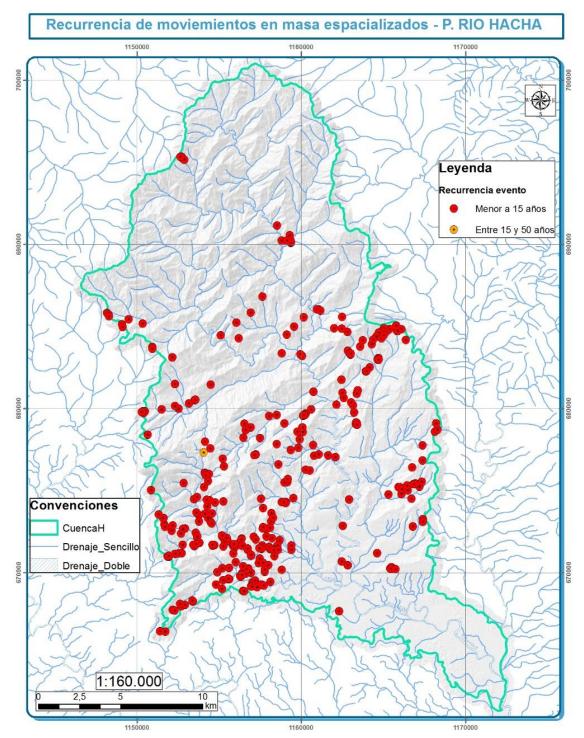








Figura 5. Recurrencia de movimientos en masa identificados y espacializados en la cuenca del río Hacha





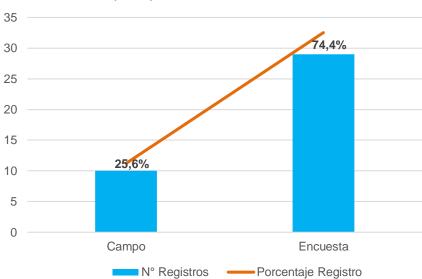






Se observa que los eventos registrados principalmente son flujos, caídas de roca y deslizamientos traslacionales relacionados principalmente con lomos denudados en unidades metamórficas y cuaternarias poco consolidadas con gran contenido de material terrígeno tamaño arcilla.

7.6.2.2 Eventos históricos espacializados por inundaciones. Como resultado de la recopilación realizada durante las fases de aprestamiento y diagnóstico se identificaron 39 eventos de inundaciones distribuidos a lo largo de los cauces de la cuenca, principalmente en las desembocaduras de las quebradas La Perdiz, La Yuca y el río Hacha (Ver Figura 6). Dentro de las diversas fuentes consultadas para generar el inventario de procesos se encuentran la información histórica recolectada y suministrada por la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia (CORPOAMAZONIA), Planes de Ordenamiento Territorial y Planes de Gestión del Riesgo, adicionalmente se tiene en cuenta los eventos referenciados por la comunidad y los identificados en las diferentes misiones de campo (Ver Gráfica 5).



Gráfica 5. Inundaciones por tipo de fuente

Fuente: Ecointegral. Contrato N°0390 de 2016

La información recopilada muestra que la recurrencia de estos eventos como lo sugiere el Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en POMCAS es alta (colores rojos) en su mayoría (52%), lo que coincide con una recurrencia inferior a 15 años algunos eventos cuentan con recurrencia media (colores naranjas) entre 15 y 50 años (38%) y el resto (colores amarillos) con recurrencia baja (Figura 7). Se observa que los acontecimientos registrados están condicionados principalmente por depósitos aluviales y geoformas de origen fluvioaluvial asociadas principalmente a la dinámica del río Hacha.









Figura 6. Inundaciones identificadas y espacializadas en la cuenca del río Hacha

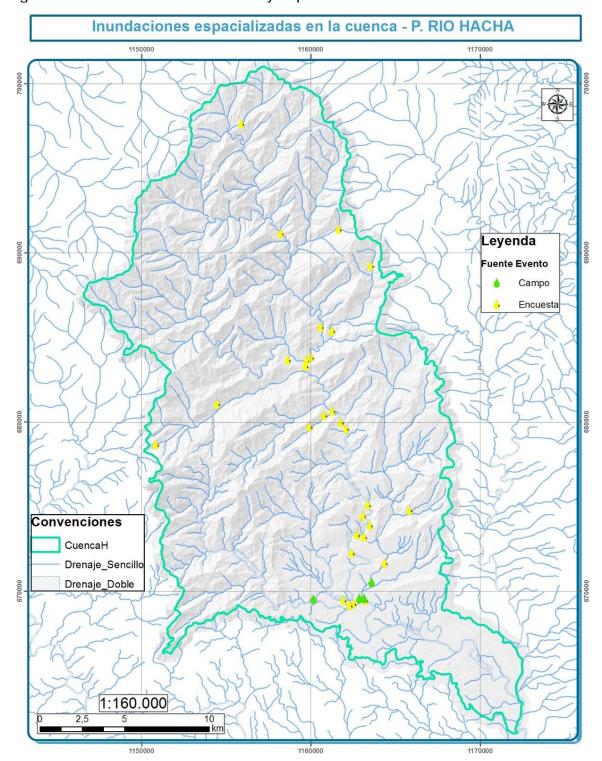


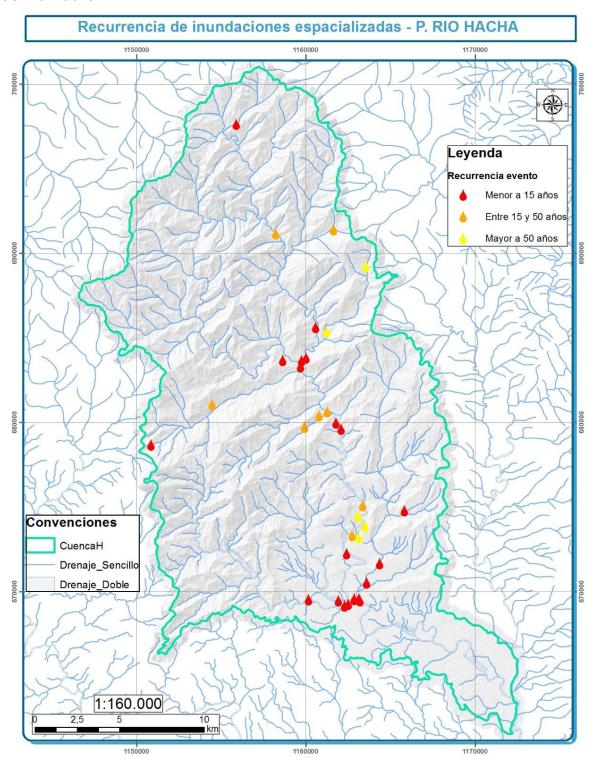








Figura 7. Recurrencia de inundaciones identificadas y espacializadas en la cuenca del río Hacha.





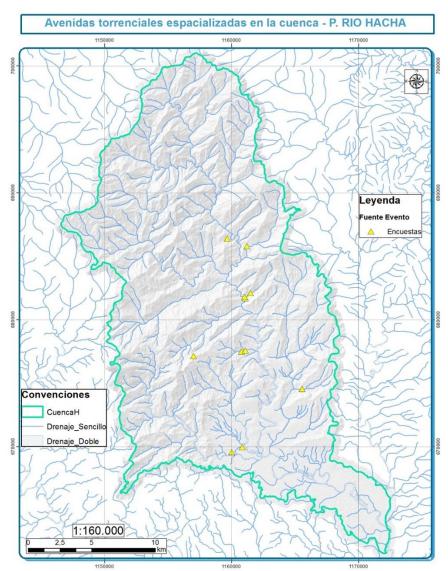






7.6.2.3 Eventos históricos espacializados por avenidas torrenciales. Como resultado de la recopilación realizada durante las fases de aprestamiento y diagnóstico se identificaron 11 eventos de avenidas torrenciales distribuidos a lo largo de la cuenca hidrográfica del río Hacha. Los eventos se encuentran principalmente en los sectores de San Francisco, El Limón, Caraño, La Paz, Palmichal y Nuevo Jerusalén, entre otros (Figura 8). Dentro de las diversas fuentes consultadas para generar el inventario de procesos solo se contó con información brindada por la comunidad durante las diferentes actividades participativas del POMCA.

Figura 8. Avenidas torrenciales identificadas y espacializadas en la cuenca del río Hacha





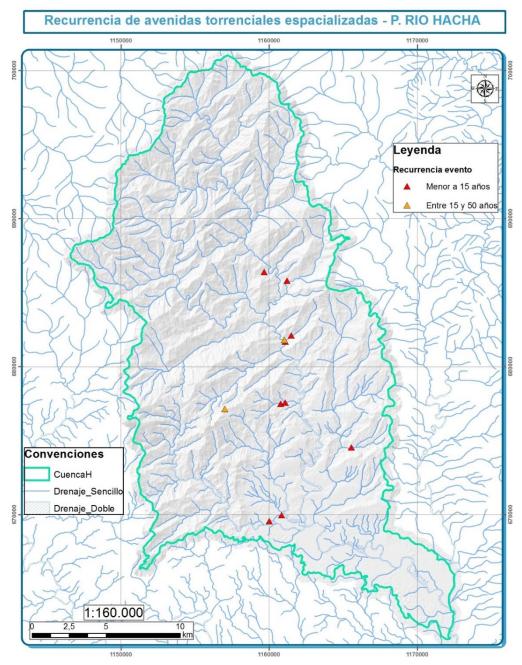






El análisis de temporalidad muestra que más del 75% de los mismos ocurrieron dentro de una ventana temporal reciente o parcialmente reciente lo que primará en la selección de zonas de amenaza alta por este tipo de fenómeno amenazante (Figura 9).

Figura 9. Recurrencia de avenidas torrenciales identificadas y espacializadas en la cuenca





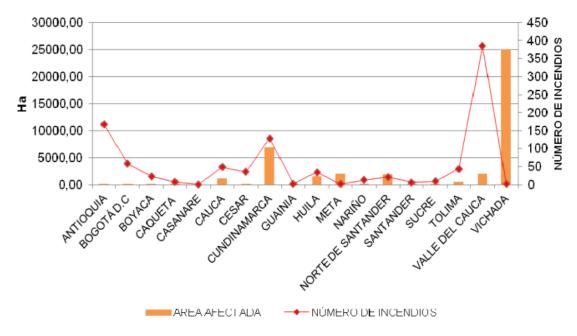






7.6.2.4 Eventos históricos espacializados por incendios forestales. En el departamento de Caquetá la afectación por incendios es poco recurrente aunque sus valores sean en número y afectación muy diferente a lo largo de las diferentes vigencias. En el periodo 2002 a 2010 se observan un bajo registro de incendios (menos de 50 incendios por año). En cuanto al área afectada se puede indicar que 2002 se reportaron menos de 100 hectáreas afectadas por los cerca de 12 incendios (Gráfica 6).

Gráfica 6. Número de Incendios y área afectada reportada por departamento al año 2002



FUENTE: IDEAM

Si bien la cuenca del río Hacha cuenta con cierta información acerca de afectaciones y daños por incendios de la cobertura vegetal, dicha información no se logró espacializar en su totalidad debido a la ausencia de referentes geográficos puntuales de las áreas descritas en las bases de datos de eventos amenazantes y de reporte de desastres naturales (Figura 10).

La identificación de los eventos amenazantes por incendios de la cobertura vegetal muestra una distribución homogénea a lo largo de la cuenca, se observa una proporción equivalente de eventos recopilados en encuestas y durante las misiones de campo (Gráfica 7). El análisis de temporalidad muestra que el total de los mismos ocurrieron dentro de una ventana temporal reciente (menor a 15 años colores rojos) (Figura 11).









Figura 10. Incendios forestales identificados y espacializados en la cuenca del rio Hacha

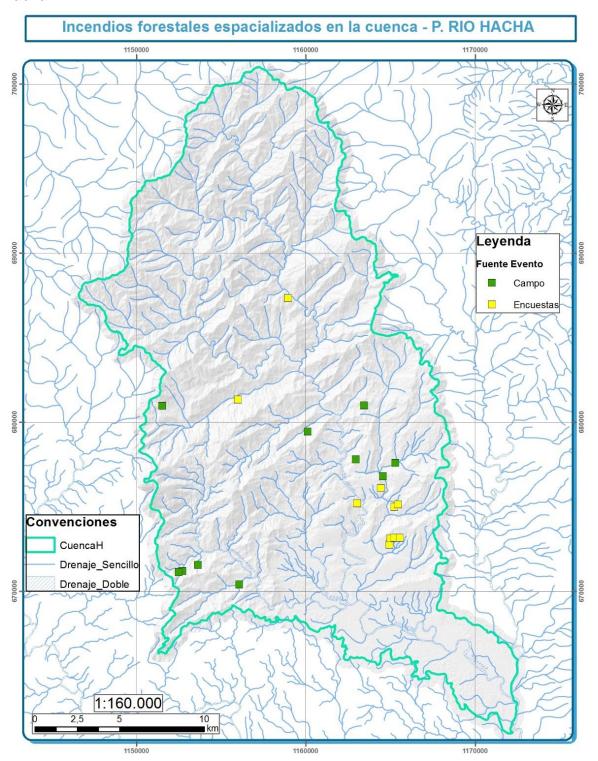


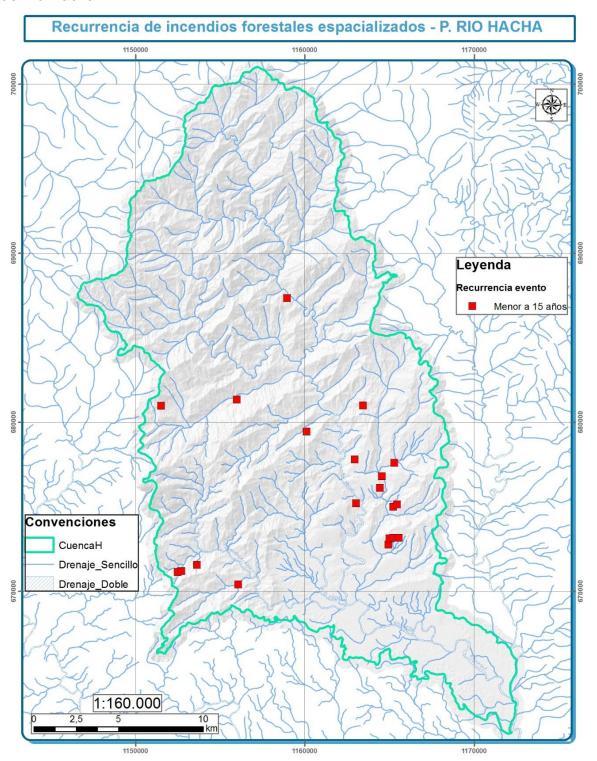








Figura 11. Recurrencia de inundaciones identificadas y espacializadas en la cuenca del río Hacha











Gráfica 7. Registros de Incendios de la cobertura vegetal por tipo de fuente



7.7 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, 2017). 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 M., 2012).

Para identificar y caracterizar los eventos amenazantes para este tipo de procesos se compilaron eventos de remoción en masa a partir de varias fuentes, dentro de las que se incluyen la información de campo, eventos históricos y de información secundaria tomados de las bases de datos oficiales dentro de la cuenca hidrográfica del río Hacha (Ver Anexo 7.1_Bases de datos eventos).

El análisis de la susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa se realizó con base en la recopilación de la información necesaria para modelar cada fase de este estudio mediante observaciones de las diferentes variables identificadas. Estos









datos fueron cargados espacialmente para evaluar de forma óptima su relación espacial y dinámica. Como tendencia general se identificaron movimientos en masa en todas las zonas de la cuenca alta y media. Los principales tipos de procesos de movimientos en masa que se identificaron en la cuenca tienen que ver con flujos, deslizamientos rotacionales, deslizamientos traslacionales de suelo y roca y eventuales caídas de roca.

7.7.1 Descripción metodológica para obtener 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.

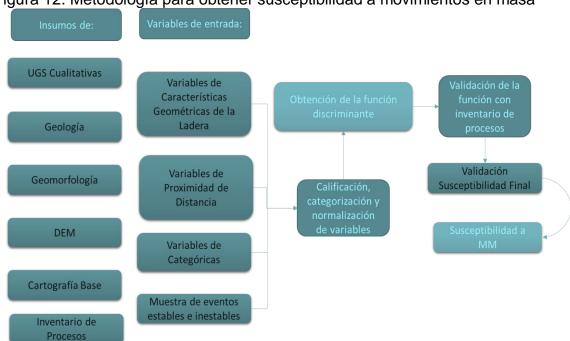


Figura 12. Metodología para obtener susceptibilidad a movimientos en masa

Fuente: Ecointegral. Contrato N°0390 de 2016

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 (ver Anexo 7.3 Factores MM Susceptibilidad).

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.

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 Hacha se procede a realizar el análisis de la zonificación de susceptibilidad a movimientos en masa.

7.7.2 Descripción de las variables de susceptibilidad a movimientos en masa

Como se indicó anteriormente, se definieron los siguientes factores de propensividad: pendiente de ladera (PEND), pendiente senoidal de la ladera (PENDS), rugosidad (RUGOS), curvatura (CURVAR), curvatura longitudinal (PERFIL), curvatura transversal (PLA), orientación de la ladera (ORIENT), insolación (INSOL), densidad de drenaje y distancia a drenajes (DISTDREN), distancia a vías (DISTVIAS), densidad de fracturamiento y distancia a fallas y lineamientos (DISTFALL), distancia a canteras y demás sitios de extracción minera (DISTCANTE), acumulación de área de drenaje de la cuenca (ACUENCA), longitud de drenaje acumulado de la cuenca (LONG), origen o unidades geológicas básicas (GLG), subunidades geomorfológicas (GMF), presencia y espesor de depósitos o unidades geológicas superficiales (UGS) y vegetación o tipo de cobertura (COBER).

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:

7.7.2.1. 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 surgen del inventario de procesos desarrollado con fotointerpretación, trabajo de campo y catálogos históricos de eventos por movimientos en masa asociados a inestabilidad.

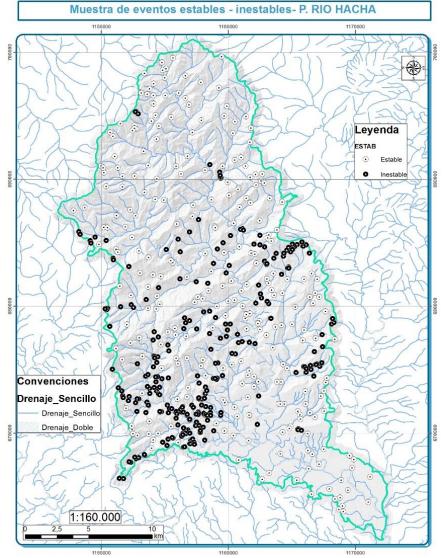








Figura 13. Muestra de eventos inestables y puntos estables



Posteriormente 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 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.









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 el cálculo del tamaño de la muestra para datos globales es la siguiente:

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

Donde,

- N: es el tamaño de la población, esto es 278 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)⁴, 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.

_

⁴ IDEAM, PNUD, Alcaldía de Bogotá, Gobernación de Cundinamarca, CAR, Corpoguavio, Instituto Alexander von Humboldt, Parques Nacionales Naturales de Colombia, MADS, DNP. 2012. Piloto de asistencia técnica para incorporar la gestión integral de riesgos hidroclimáticos en el ordenamiento territorial municipal





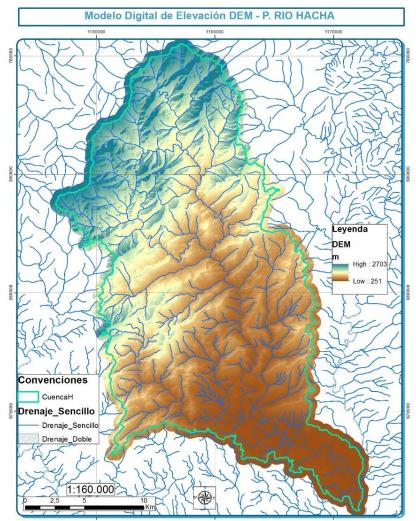




7.7.2.2 Factores condicionantes

- Modelo Digital de Elevación (DEM). El DEM es una matriz en la que el valor de cada pixel corresponde a la altitud del mismo sobre el nivel del mar en metros. Este factor constituye el insumo de entrada para obtener las variables que componen las características geométricas de la ladera (CGL): PEND, PENDS, ASPECT, INSOL, RUGOS, CURVAR, PERFIL, PLA, ACUENCA Y LONG, las cuales se describen en el siguiente numeral (Ver Figura 14).
 - Formato: ráster (Valor de celda indica el valor de la elevación).
 - Fuente: reconstruido para el componente de gestión del riesgo a partir de la cartografía base según resolución y cobertura.

Figura 14. Modelo Digital de Elevación DEM de la cuenca del río Hacha





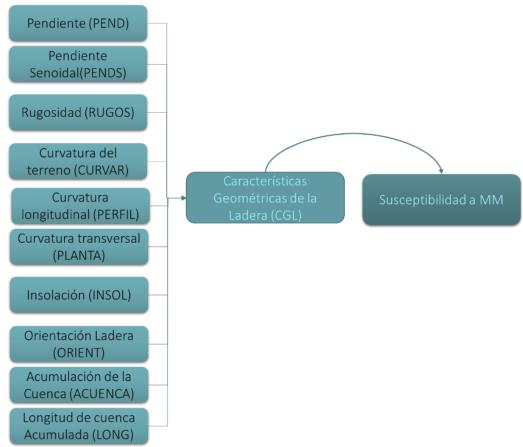






7.7.2.3 Características Geométricas de la Ladera (CGL). Las variables o factores condicionantes relacionadas con las características geométricas de la ladera, también llamadas variables derivadas del DEM, incluyen: pendiente de ladera, pendiente senoidal de ladera, rugosidad, curvatura del terreno, curvatura longitudinal, curvatura transversal, insolación, orientación ladera, acumulación de la cuenca y longitud de cuenca acumulada. Estos factores se encuentran representados en la Figura 15 y se desarrollan en detalle a continuación referenciando su obtención e importancia en el territorio.

Figura 15. Factores condicionantes derivados de las características geométricas de la ladera



Fuente: Ecointegral. Contrato N°0390 de 2016

• Pendiente de la ladera (PEND). Hace referencia al ángulo existente entre la superficie del terreno comparado con el eje horizontal, su importancia radica en la influencia de la inclinación de la ladera en la estabilidad de los materiales (Ver Figura 16).







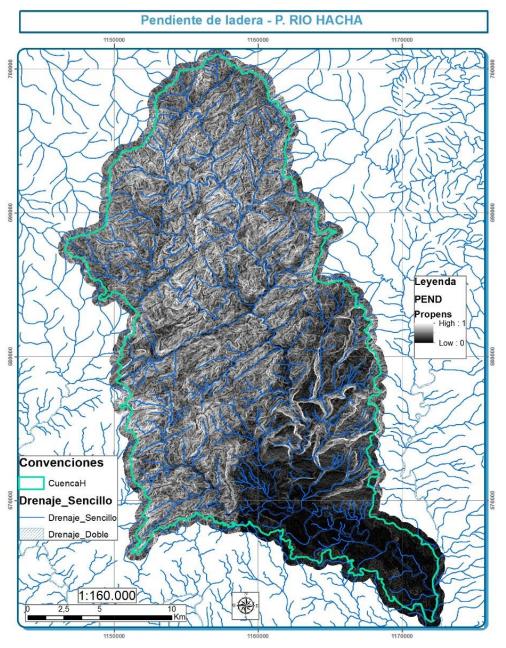


Para esta variable se normalizaron sus valores entre 0 y 1 como variable continua, siendo "0" muy poco propenso y "1" muy propenso. Sin embargo, la variable no se agrupa por rangos para no reducir la calidad de la información.

- Formato: ráster.

- Fuente: derivado del DEM.

Figura 16. Propensividad a inestabilidad por pendiente de la ladera









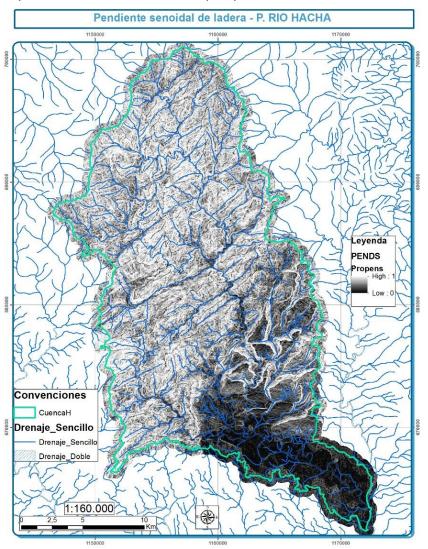


• Pendiente Senoidal de la Ladera (PENDS). Corresponde a la pendiente senoidal de la ladera que tiene un comportamiento relevante con respecto a las zonas de rotura de los deslizamientos superficiales, pues la afectación del aumento de la pendiente es directamente proporcional hasta los 45°, valor a partir del cual empieza a tener un comportamiento inversamente proporcional (Ver Figura 17). 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.

- Formato: ráster.

- Fuente: derivado del DEM.

Figura 17. Propensividad a inestabilidad por pendiente senoidal de la ladera









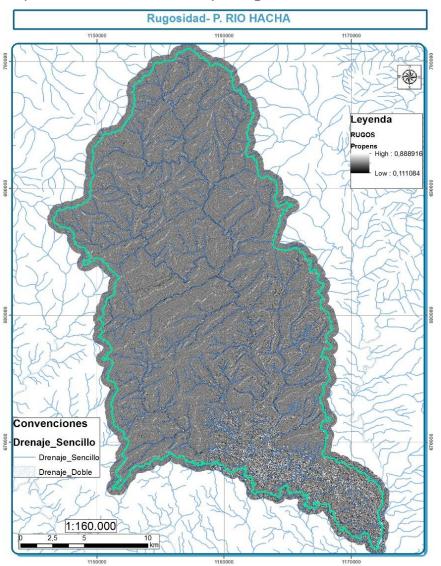


 Rugosidad del Terreno (RUGOS). Corresponde a la desviación del vector normal a la superficie de cada celda permitiendo definir límites de taludes y laderas. Además, tiene un impacto en los deslizamientos, pues a mayores cambios de pendiente aumenta su posibilidad (ver <u>Figura 18</u>). Debido a que los valores de Rugosidad varían de 0 a 1, donde "0" significa que le terreno no presenta rugosidad y "1" representa rugosidad alta, la calificación para esta variable es equiparable con su valor.

- Formato: ráster.

- Fuente: derivado del DEM.

Figura 18. Propensividad a inestabilidad por rugosidad del terreno









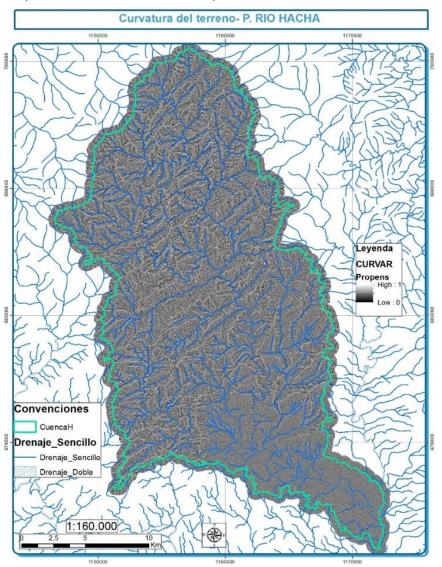


 Curvatura del Terreno (CURVAR). Corresponde al grado de curvatura de cada celda a evaluar representando de manera normalizada las zonas cóncavas con valores cercanos a 0, planas cuando el valor se aproxima a 0.5 y convexas con valores cercanos a 1 (Ver Figura 19). En general las formas convexas son receptoras 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.

- Formato: ráster.

Fuente: derivado del DEM.

Figura 19. Propensividad a inestabilidad por curvatura del terreno









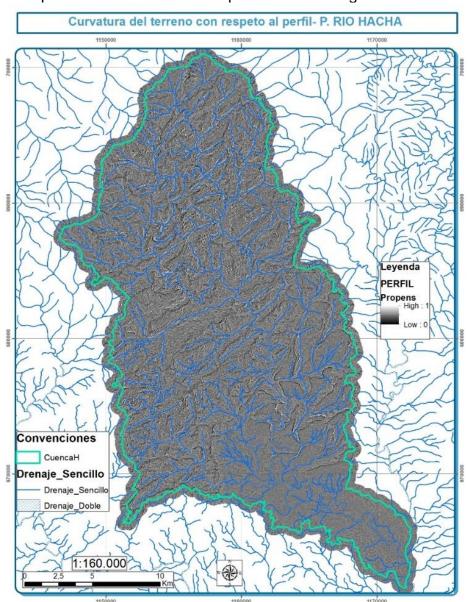


• Curvatura con Respecto al Perfil (PERFIL). Hace referencia al grado de curvatura mencionada en la variable CURVAR pero medida únicamente de manera longitudinal a la dirección de la pendiente y tiene una repercusión adicional en la generación de erosión y deposición debido a su impacto en la escorrentía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

Formato: ráster.

- Fuente: derivado del DEM.

Figura 20. Propensividad a inestabilidad por curvatura longitudinal.





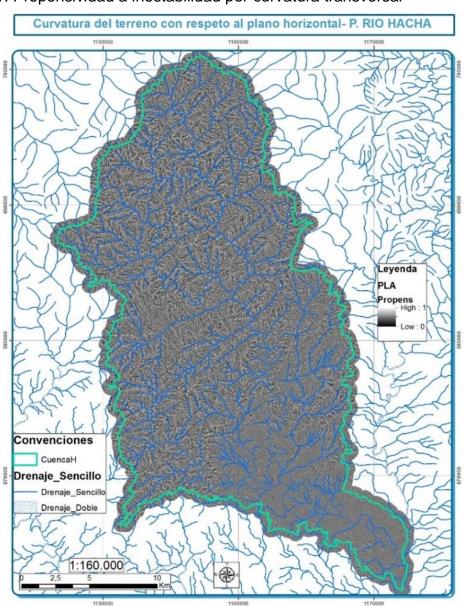






- Curvatura con respecto al plano horizontal (PLA). Hace referencia al grado de curvatura mencionada en la variable CURVAR pero medida únicamente de manera transversal a la dirección de la pendiente y tiene una repercusión adicional confluencia del flujo superficial y subsuperficial hacia la celda de análisis (ver Figura 21).
 - Formato: ráster.
 - Fuente: derivado del DEM.

Figura 21. Propensividad a inestabilidad por curvatura transversal









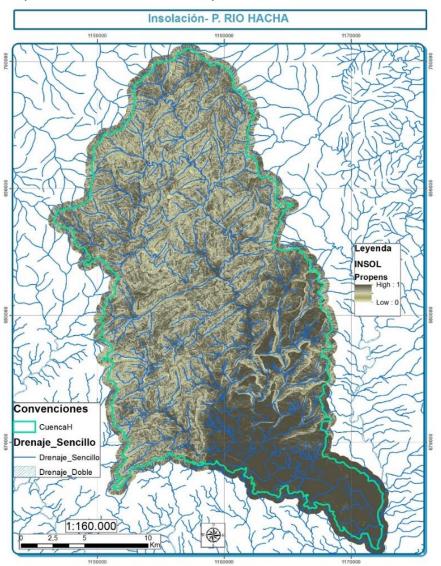


• Insolación (INSOL). Corresponde al coeficiente de iluminación o intensidad reflejada de la superficie terrestre indicando el tiempo en que cada punto se encuentra bajo exposición directa al sol o en la sombra, lo que tiene incidencia en la desecación del suelo e incluso efectos en el tipo de vegetación (Ver Figura 22). 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.

- Formato: ráster.

Fuente: derivado del DEM.

Figura 22. Propensividad a inestabilidad por insolación del terreno









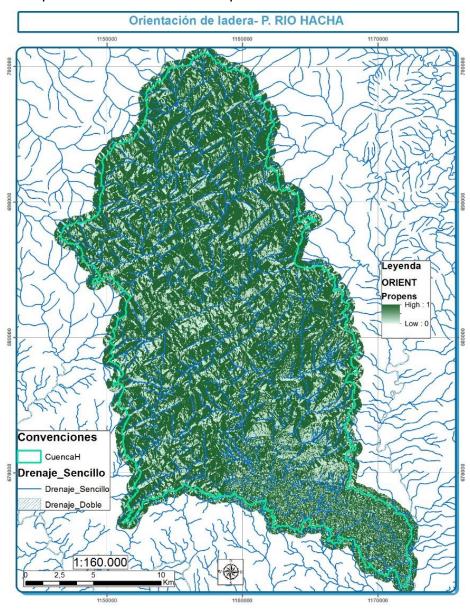


 Orientación de la Ladera (ORIENT). Hace referencia a la dirección de exposición de la ladera y puede ser un indicador de cantidad de vegetación y cantidad de lluvia recibida según la dirección de avance de los frentes nubosos (Ver Figura 23). Su valor se presenta normalizado entre 0 y 1, siendo 1 el área más propensa.

Formato: ráster.

- Fuente: derivado del DEM.

Figura 23. Propensividad a inestabilidad por orientación de ladera









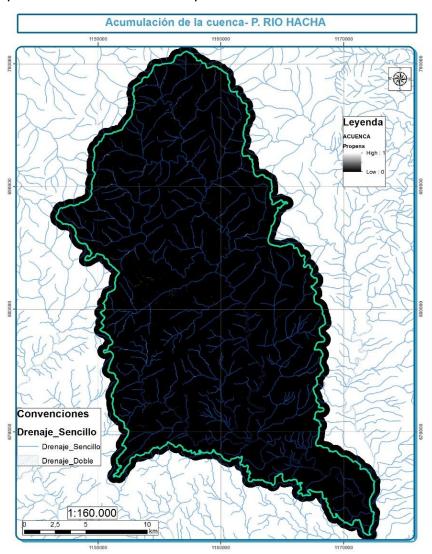


• Acumulación de la Cuenca (ACUENCA). La acumulación de la cuenca se relaciona con la cantidad de agua que es capaz de recoger e infiltrar en el terreno. A mayor superficie acumulada más agua captada para escorrentía e infiltración (ver Figura 24). Se obtiene a partir de la dirección del flujo, el cual 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.

Formato: ráster.

Fuente: derivado del DEM.

Figura 24. Propensividad a inestabilidad por acumulación de cuenca





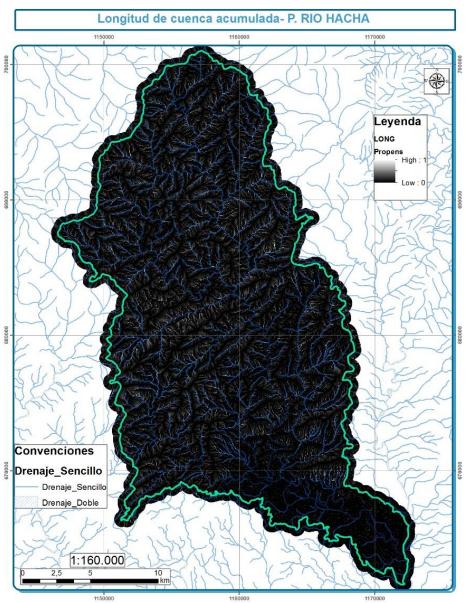






- Longitud de cuenca acumulada (LONG). Esta variable da una indicación del tamaño de la cuenca y la longitud acumulada de flujo. Representa la capacidad de la misma para concentrar agua superficial y subterránea y de la posible acumulación de sedimentos o generación de cauces. Se obtiene a partir de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

Figura 25. Propensividad a inestabilidad por longitud acumulada de cuenca







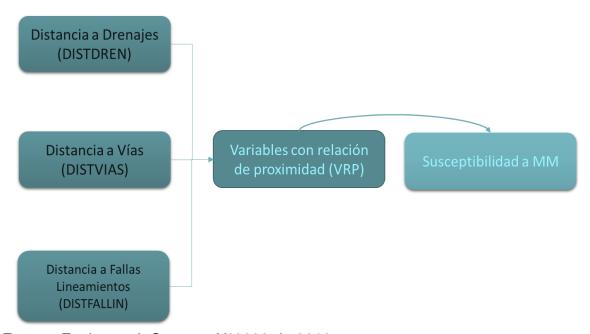




7.7.2.4 Variables con relación de proximidad (VRP). La relación de proximidad emplea el cálculo de la distancia de cada celda de análisis a los elementos sobre los cuales se considera una influencia sobre los procesos de inestabilidad geotécnica. Típicamente se define para cada punto inestable y estable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

Este tipo de consideración hace perder sensibilidad al análisis pues distancias muy largas evidentemente no reflejan influencia del elemento de análisis sobre el proceso de inestabilidad que se esté consultando (Perico, 2017). 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. Variables con relación de proximidad en función a la susceptibilidad a movimientos en masa











• 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.

Para el presente análisis no se consideró la densidad de drenaje por ser mutuamente dependiente con la distancia a drenajes sin limitación de proximidad (ver Figura 27). La variable se presenta como la relación de proximidad con valores normalizados entre 0 y 1, siendo 1 un valor propenso a la inestabilidad.

- Formato: vector tipo línea.
- Fuente: derivado de cartografía IGAC escala 1:25.000.
- 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 (ver Figura 28). La variable se presenta como la relación de proximidad con valores normalizados entre 0 y 1, siendo 1 un valor propenso a la inestabilidad.
 - Formato: vector tipo línea.
 - Fuente: derivado de cartografía IGAC escala 1:25.000.
- Densidad de fracturamiento y distancia fallas y lineamientos (DISTFALL). La densidad de fracturamiento 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 (Figura 29 y Figura 30). La variable se presenta como la relación de proximidad con valores normalizados entre 0 y 1, siendo 1 un valor propenso a la inestabilidad.

Formato: vector tipo línea.Fuente: derivado del SGC.









Figura 27. Propensividad a inestabilidad por proximidad a cuerpos de agua

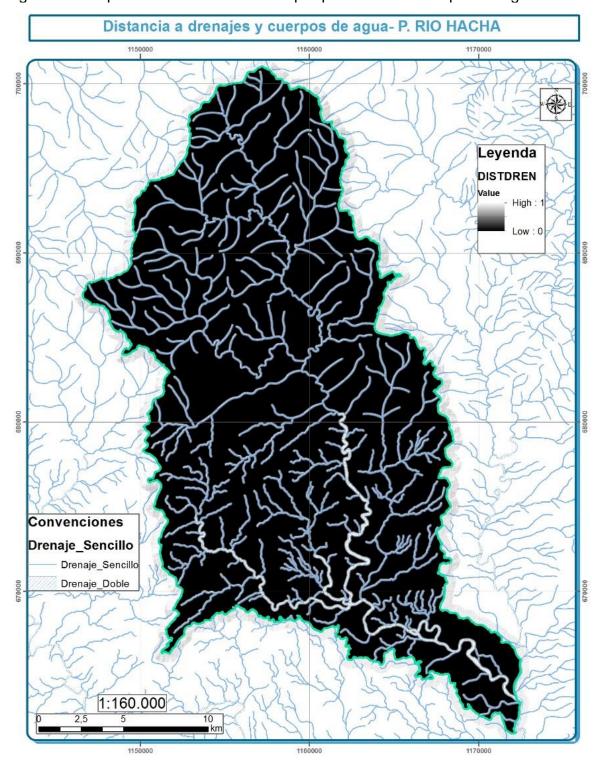










Figura 28. Propensividad a inestabilidad por proximidad a vías

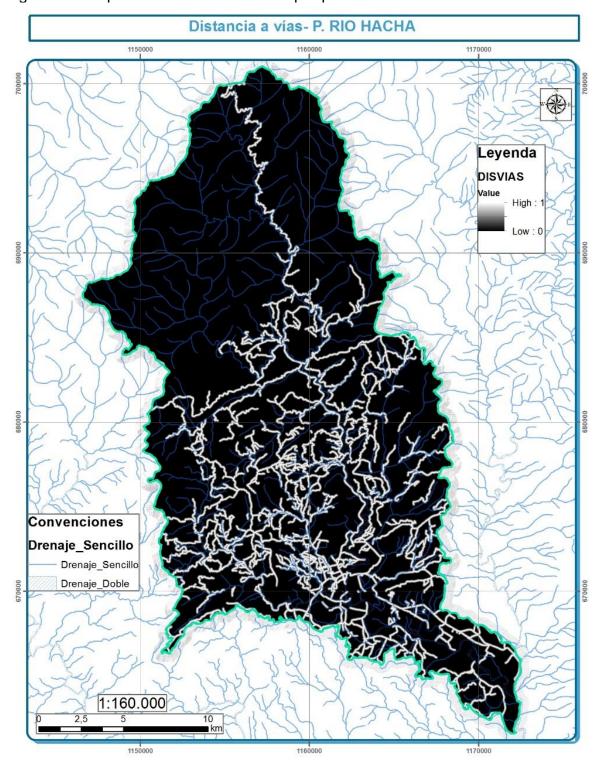










Figura 29. Propensividad a inestabilidad por proximidad a fallas y lineamientos

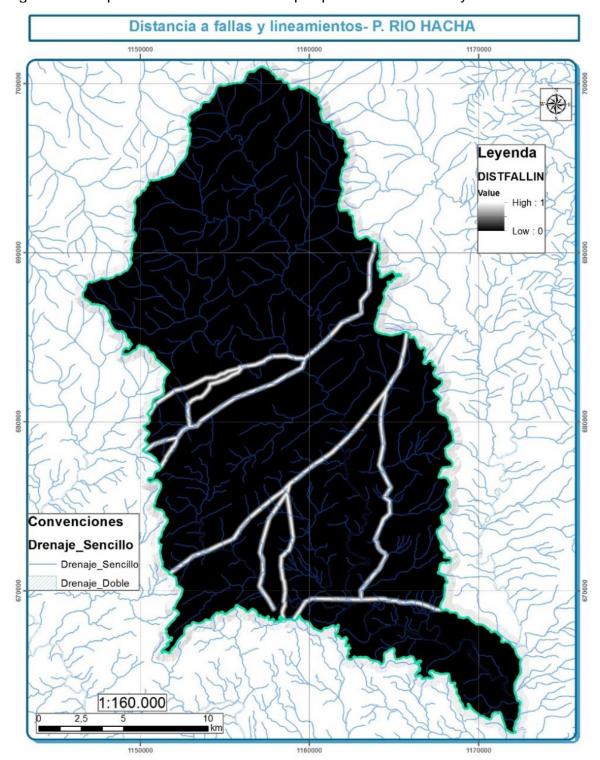


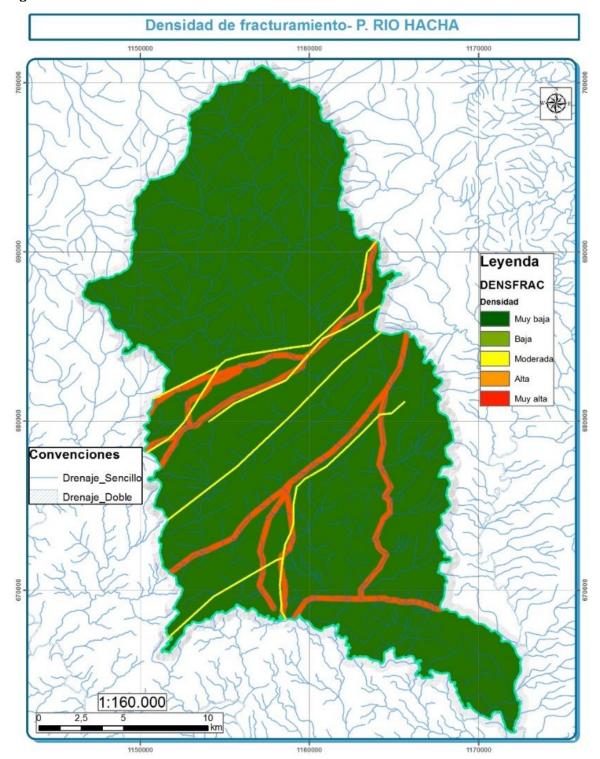








Figura 30. Densidad de fracturamiento







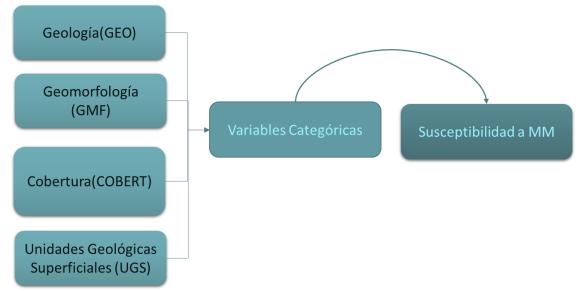




La presencia de fallas locales puede relacionarse con dos aspectos directos a la inestabilidad de laderas: sismicidad local como factor detonante y degradación de los materiales como factor condicionante. Al ser Florencia históricamente receptor de sismos importantes generados en sistemas de fallas regionales (ver más adelante en el análisis de aceleración sísmica como detonante de movimientos en masa), se considera que la actividad de fallas locales se opaca considerablemente por la sismicidad regional, por lo cual no es técnicamente 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. En ese sentido, resulta más apropiado relacionar la propensividad por presencia de fallas en términos de la degradación de materiales en superficie.

7.7.2.5 Variables categóricas. La susceptibilidad por movimientos en masa de acuerdo con las variables categóricas está sujeta a varios factores como la composición litológica de la roca que se traduce en una mayor o menor competencia o resistencia de la misma, el ambiente denudacional en que esta se encuentre formando y el tipo de uso de suelo que se le está dando a esta zona. La combinación de estos factores determina 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 (ver Figura 31). Todas estas variables son calificadas según su propensividad de manera normalizada entre 0 y 1, siendo los valores cercanos a 1 los más propensos.

Figura 31. Variables categóricas en función a la susceptibilidad a movimientos en masa











• 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, redunda 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 7 se presenta la calificación asignada a cada una de las unidades de acuerdo a sus características y predisposición a la inestabilidad (ver Figura 32).

Tabla 7. Propensividad a inestabilidad según origen o unidades geológicas

UNIDAD GEOLÓGICA BÁSICA	GEO	CALIFICACIÓN
Depósitos de llanura de inundación	QII	0,2
Formación Orteguaza	N1n3or	0,2
Depósitos aluviales	Qal	0,4
Formación Pepinos	E2E3pe	0,4
Terraza	Qt	0,4
Formación Caballos	K1K2cb	0,5
Formación Saldaña	TJsal	0,5
Formación Villeta	K1b6K2k4	0,6
Migmatitas de Florencia	PRmfl	0,7
Neis de Guapotón - Managua	PRngm	0,7
Depósitos de flujo de detritos	Qfd	0,9
Depósitos coluviales	Qc	1

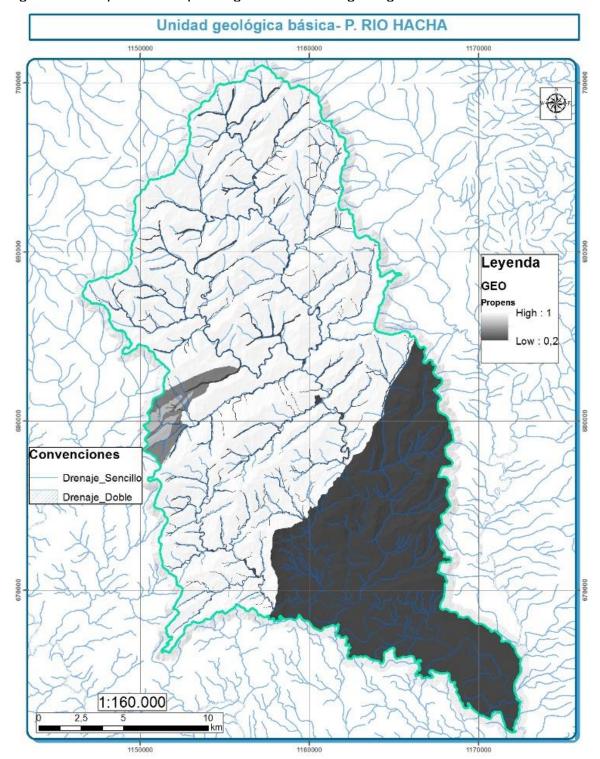








Figura 32. Propensividad por origen o unidades geológicas











• Subunidades geomorfológicas (GMF). Corresponde a la calificación de la susceptibilidad de cada subunidad geomorfológica teniendo en cuenta el proceso de formación de la misma y su implicación en la inestabilidad. Cada subunidad se identifica según el material del depósito, morfogénesis, pendientes, contrastes morfológicos (rugosidad, curvatura, etc.) y cronología. En la Tabla 8 se presenta la calificación asignada según el tipo de subunidad geomorfológica y en la Figura 33 se muestra espacialmente la propensividad por este factor.

Tabla 8. Propensividad a inestabilidad por subunidades geomorfológicas

GMF	AMBIENTE MORFOGENÉTICO	SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA	CALIFICACIÓN
Ar	Ambiente Antropogénico	Planos y campos de llenos antrópicos	0
Fbc	Ambiente Fluvial	Barra compuesta	0
Fbl	Ambiente Fluvial	Barras longitudinales	0
Fbp	Ambiente Fluvial	Barras Puntuales	0
Fma	Ambiente Fluvial	Meandro abandonado	0,2
Fpi	Ambiente Fluvial	Plano o llanura de inundación	0,2
Fca	Ambiente Fluvial	Cauce aluvial	0,3
Fta	Ambiente Fluvial	Terraza de acumulación	0,4
Sefcml	Ambiente Estructural	Espolón faceteado moderado de longitud larga	0,4
Sesml	Ambiente Estructural	Espolón moderado de longitud larga	0,5
Sle	Ambiente Estructural	Ladera Estructural	0,5
Sft	Ambiente Estructural	Faceta triangular	0,6
Sgf	Ambiente Estructural	Gancho de flexión	0,6
SI	Ambiente Estructural	Lomos	0,6
Slcp	Ambiente Estructural	Ladera contrapendiente	0,6
Sshlc	Ambiente Estructural	Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal	0,6
Dldi	Ambiente Denudacional	Lomeríos disectados	0,7
Ss	Ambiente Estructural	Sierra	0,7
Sshle	Ambiente Estructural	Ladera estructural de sierra homoclinal	0,7
Dft	Ambiente Denudacional	Cono o lóbulo de flujo indiferenciado	1

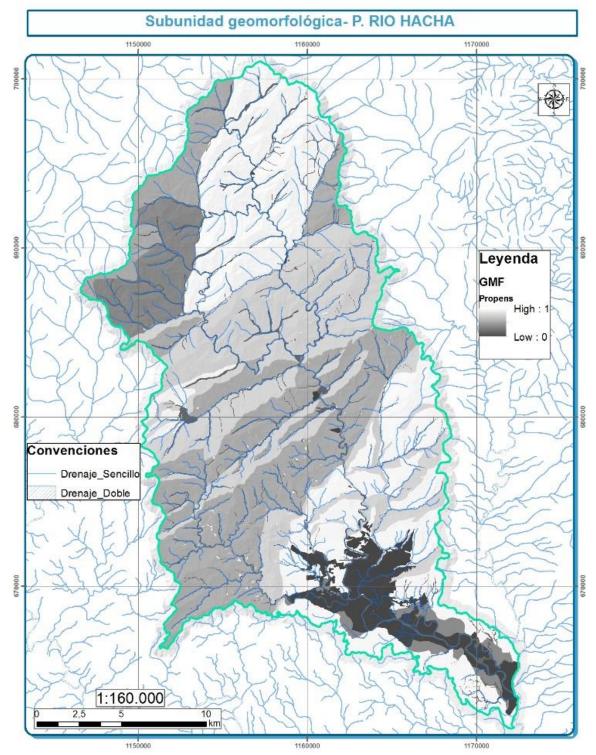








Figura 33. Propensividad a inestabilidad por subunidades geomorfológicas











• 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. La Tabla 9 y la Figura 34 muestran la calificación asignada a cada tipo de cobertura.

Tabla 9. Calificación y categorización según tipo de vegetación o coberturas

Vegetación acuática sobre cuerpos de agua Lagunas, lagos, ríos y ciénagas naturales Bosque de galería y/o ripario O,2 Bosque denso O,25 Tejido urbano continuo Zonas verdes urbanas Mosaico de pastos con espacios naturales O,4 Bosque abierto Zonas quemadas Tejido urbano discontinuo O,5 Tejido Urbano continuo y discontinuo del área Rural Mosaico de pastos y cultivos Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales D,5 Bosque fragmentado Zonas arenosas naturales O,5 Vegetación secundaria o en transición Mosaico de cultivos Pastos arbolados Mosaico de cultivos y espacios naturales O,6 Mosaico de cultivos Pastos arbolados O,65 Mosaico de cultivos y espacios naturales O,65 Pastos arbolados O,75 Pastos enmalezados O,76 Pastos limpios O,85 Tierras desnudas y degradadas	COBERTURA	CALIFICACIÓN
Vegetación acuática sobre cuerpos de agua0Lagunas, lagos, ríos y ciénagas naturales0Bosque de galería y/o ripario0,2Bosque denso0,25Tejido urbano continuo0,3Zonas verdes urbanas0,3Mosaico de pastos con espacios naturales0,4Bosque abierto0,4Zonas quemadas0,45Tejido urbano discontinuo0,5Tejido Urbano continuo y discontinuo del área Rural0,5Mosaico de pastos y cultivos0,5Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales0,5Bosque fragmentado0,5Zonas arenosas naturales0,5Vegetación secundaria o en transición0,55Mosaico de cultivos0,6Zonas Taladas0,6Pastos arbolados0,65Mosaico de cultivos y espacios naturales0,7Red vial, ferroviaria y terrenos asociados0,75Pastos enmalezados0,76Pastos limpios0,85Tierras desnudas y degradadas0,99	Aeropuertos	0
Lagunas, lagos, ríos y ciénagas naturales0Bosque de galería y/o ripario0,2Bosque denso0,25Tejido urbano continuo0,3Zonas verdes urbanas0,3Mosaico de pastos con espacios naturales0,4Bosque abierto0,4Zonas quemadas0,45Tejido urbano discontinuo0,5Tejido Urbano continuo y discontinuo del área Rural0,5Mosaico de pastos y cultivos0,5Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales0,5Bosque fragmentado0,5Zonas arenosas naturales0,5Vegetación secundaría o en transición0,55Mosaico de cultivos0,6Zonas Taladas0,6Pastos arbolados0,65Mosaico de cultivos y espacios naturales0,7Red vial, ferroviaria y terrenos asociados0,75Pastos enmalezados0,76Pastos limpios0,85Tierras desnudas y degradadas0,99	Zonas pantanosas	0
Bosque de galería y/o ripario Bosque denso Capas verdes urbanas Odas	Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	0
Bosque denso 0,25 Tejido urbano continuo 0,3 Zonas verdes urbanas 0,3 Mosaico de pastos con espacios naturales 0,4 Bosque abierto 0,4 Zonas quemadas 0,45 Tejido urbano discontinuo 0,5 Tejido Urbano continuo y discontinuo del área Rural 0,5 Mosaico de pastos y cultivos 0,5 Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales 0,5 Bosque fragmentado 0,5 Zonas arenosas naturales 0,5 Vegetación secundaria o en transición 0,55 Mosaico de cultivos 0,6 Zonas Taladas 0,6 Pastos arbolados 0,65 Mosaico de cultivos y espacios naturales 0,7 Red vial, ferroviaria y terrenos asociados 0,75 Pastos enmalezados 0,76 Pastos limpios 0,85 Tierras desnudas y degradadas 0,9	Lagunas, lagos, ríos y ciénagas naturales	0
Tejido urbano continuo Zonas verdes urbanas Mosaico de pastos con espacios naturales Bosque abierto Zonas quemadas Tejido urbano discontinuo Tejido Urbano continuo y discontinuo del área Rural Mosaico de pastos y cultivos Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales Bosque fragmentado Zonas arenosas naturales Vegetación secundaria o en transición Mosaico de cultivos Aconas Taladas Pastos arbolados Mosaico de cultivos y espacios naturales D,5 Mosaico de cultivos Red vial, ferroviaria y terrenos asociados Tierras desnudas y degradadas Tierras desnudas y degradadas O,3 O,4 D,4 D,4 D,5 D,5 D,5 D,5 D,5 D	Bosque de galería y/o ripario	0,2
Zonas verdes urbanas Mosaico de pastos con espacios naturales 0,4 Bosque abierto 0,4 Zonas quemadas 0,45 Tejido urbano discontinuo 0,5 Mosaico de pastos y cultivos Mosaico de pastos y cultivos Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales 0,5 Bosque fragmentado 2,5 Zonas arenosas naturales 0,5 Wegetación secundaria o en transición 0,55 Mosaico de cultivos 2,6 Zonas Taladas 0,6 Pastos arbolados Mosaico de cultivos y espacios naturales 0,6 Pastos arbolados 0,75 Pastos enmalezados 0,76 Pastos limpios 0,85 Tierras desnudas y degradadas 0,9	Bosque denso	0,25
Mosaico de pastos con espacios naturales 0,4 Bosque abierto 0,4 Zonas quemadas 0,45 Tejido urbano discontinuo 0,5 Tejido Urbano continuo y discontinuo del área Rural 0,5 Mosaico de pastos y cultivos 0,5 Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales 0,5 Bosque fragmentado 0,5 Zonas arenosas naturales 0,5 Vegetación secundaria o en transición 0,55 Mosaico de cultivos 0,6 Zonas Taladas 0,6 Pastos arbolados 0,65 Mosaico de cultivos y espacios naturales 0,6 Pastos arbolados 0,65 Pastos enmalezados 0,76 Pastos limpios 0,85 Tierras desnudas y degradadas 0,9	Tejido urbano continuo	0,3
Bosque abierto 0,4 Zonas quemadas 0,45 Tejido urbano discontinuo 0,5 Tejido Urbano continuo y discontinuo del área Rural 0,5 Mosaico de pastos y cultivos 0,5 Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales 0,5 Bosque fragmentado 0,5 Zonas arenosas naturales 0,5 Vegetación secundaria o en transición 0,55 Mosaico de cultivos 0,6 Zonas Taladas 0,6 Pastos arbolados 0,65 Mosaico de cultivos y espacios naturales 0,65 Pastos arbolados 0,65 Mosaico de cultivos y espacios naturales 0,75 Red vial, ferroviaria y terrenos asociados 0,75 Pastos enmalezados 0,76 Pastos limpios 0,85 Tierras desnudas y degradadas 0,99	Zonas verdes urbanas	0,3
Zonas quemadas 0,45 Tejido urbano discontinuo 0,5 Tejido Urbano continuo y discontinuo del área Rural 0,5 Mosaico de pastos y cultivos 0,5 Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales 0,5 Bosque fragmentado 0,5 Zonas arenosas naturales 0,5 Vegetación secundaria o en transición 0,55 Mosaico de cultivos 0,6 Zonas Taladas 0,6 Pastos arbolados 0,65 Mosaico de cultivos y espacios naturales 0,65 Pastos arbolados 0,65 Pastos enmalezados 0,75 Pastos limpios 0,85 Tierras desnudas y degradadas 0,99	Mosaico de pastos con espacios naturales	0,4
Tejido urbano discontinuo 0,5 Tejido Urbano continuo y discontinuo del área Rural 0,5 Mosaico de pastos y cultivos 0,5 Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales 0,5 Bosque fragmentado 0,5 Zonas arenosas naturales 0,5 Vegetación secundaria o en transición 0,55 Mosaico de cultivos 0,6 Zonas Taladas 0,6 Pastos arbolados 0,65 Mosaico de cultivos y espacios naturales 0,7 Red vial, ferroviaria y terrenos asociados 0,76 Pastos enmalezados 0,76 Pastos limpios 0,85 Tierras desnudas y degradadas 0,9	Bosque abierto	0,4
Tejido Urbano continuo y discontinuo del área Rural 0,5 Mosaico de pastos y cultivos 0,5 Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales 0,5 Bosque fragmentado 2,5 Zonas arenosas naturales 0,5 Vegetación secundaria o en transición 0,55 Mosaico de cultivos 2,06 Zonas Taladas 0,6 Pastos arbolados 0,65 Mosaico de cultivos y espacios naturales 0,7 Red vial, ferroviaria y terrenos asociados 0,75 Pastos enmalezados 0,85 Tierras desnudas y degradadas 0,9	Zonas quemadas	0,45
Mosaico de pastos y cultivos0,5Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales0,5Bosque fragmentado0,5Zonas arenosas naturales0,5Vegetación secundaria o en transición0,55Mosaico de cultivos0,6Zonas Taladas0,6Pastos arbolados0,65Mosaico de cultivos y espacios naturales0,7Red vial, ferroviaria y terrenos asociados0,75Pastos enmalezados0,76Pastos limpios0,85Tierras desnudas y degradadas0,9	Tejido urbano discontinuo	0,5
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales0,5Bosque fragmentado0,5Zonas arenosas naturales0,5Vegetación secundaria o en transición0,55Mosaico de cultivos0,6Zonas Taladas0,6Pastos arbolados0,65Mosaico de cultivos y espacios naturales0,7Red vial, ferroviaria y terrenos asociados0,75Pastos enmalezados0,76Pastos limpios0,85Tierras desnudas y degradadas0,9	Tejido Urbano continuo y discontinuo del área Rural	0,5
Bosque fragmentado0,5Zonas arenosas naturales0,5Vegetación secundaria o en transición0,55Mosaico de cultivos0,6Zonas Taladas0,6Pastos arbolados0,65Mosaico de cultivos y espacios naturales0,7Red vial, ferroviaria y terrenos asociados0,75Pastos enmalezados0,76Pastos limpios0,85Tierras desnudas y degradadas0,9	Mosaico de pastos y cultivos	0,5
Zonas arenosas naturales Vegetación secundaria o en transición Mosaico de cultivos Zonas Taladas Pastos arbolados Mosaico de cultivos y espacios naturales Red vial, ferroviaria y terrenos asociados Pastos enmalezados Pastos limpios Tierras desnudas y degradadas 0,5 0,65 0,66 0,65 0,76 0,76 0,76 0,76 0,76 0,76	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	0,5
Vegetación secundaria o en transición0,55Mosaico de cultivos0,6Zonas Taladas0,6Pastos arbolados0,65Mosaico de cultivos y espacios naturales0,7Red vial, ferroviaria y terrenos asociados0,75Pastos enmalezados0,76Pastos limpios0,85Tierras desnudas y degradadas0,9	Bosque fragmentado	0,5
Mosaico de cultivos0,6Zonas Taladas0,6Pastos arbolados0,65Mosaico de cultivos y espacios naturales0,7Red vial, ferroviaria y terrenos asociados0,75Pastos enmalezados0,76Pastos limpios0,85Tierras desnudas y degradadas0,9	Zonas arenosas naturales	0,5
Zonas Taladas 0,6 Pastos arbolados 0,65 Mosaico de cultivos y espacios naturales 0,7 Red vial, ferroviaria y terrenos asociados 0,75 Pastos enmalezados 0,76 Pastos limpios 0,85 Tierras desnudas y degradadas 0,9	Vegetación secundaria o en transición	0,55
Pastos arbolados0,65Mosaico de cultivos y espacios naturales0,7Red vial, ferroviaria y terrenos asociados0,75Pastos enmalezados0,76Pastos limpios0,85Tierras desnudas y degradadas0,9	Mosaico de cultivos	0,6
Mosaico de cultivos y espacios naturales 0,7 Red vial, ferroviaria y terrenos asociados 0,75 Pastos enmalezados 0,76 Pastos limpios 0,85 Tierras desnudas y degradadas 0,9	Zonas Taladas	0,6
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados0,75Pastos enmalezados0,76Pastos limpios0,85Tierras desnudas y degradadas0,9	Pastos arbolados	0,65
Pastos enmalezados 0,76 Pastos limpios 0,85 Tierras desnudas y degradadas 0,9	Mosaico de cultivos y espacios naturales	0,7
Pastos limpios 0,85 Tierras desnudas y degradadas 0,9	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	0,75
Tierras desnudas y degradadas 0,9	Pastos enmalezados	0,76
	Pastos limpios	0,85
	Tierras desnudas y degradadas	0,9
Zonas de extracción minera	Zonas de extracción minera	1

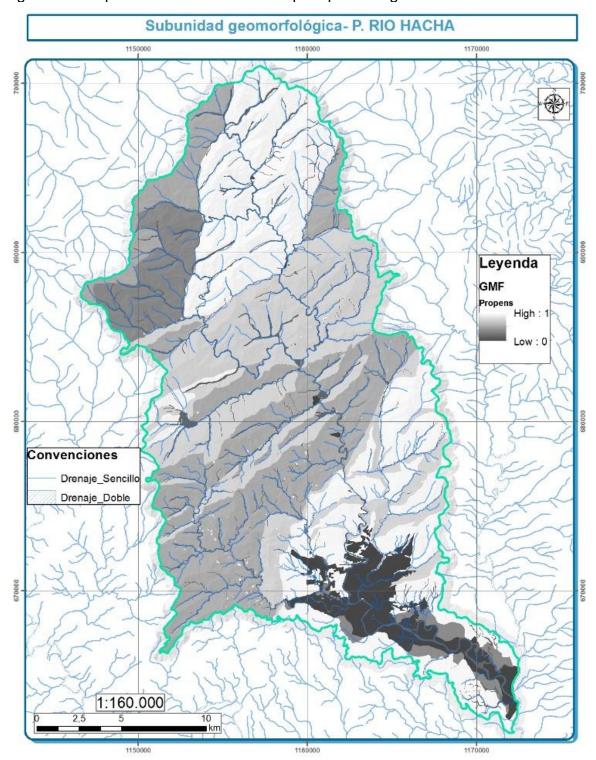








Figura 34. Propensividad a inestabilidad por tipo de vegetación o coberturas











• 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.

Los mapas de unidades geológicas superficiales contienen la zonificación por materiales geológicos descritas en el capítulo de geología. La Tabla 10 muestra el peso asignado a cada tipo de UGS de acuerdo a su influencia en la susceptibilidad a procesos de remoción en masa como se puede ver en la Figura 35.

Tabla 10. Propensividad a inestabilidad por unidad geológica superficial

UGS	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN
Stf1	Suelo aluvial de lecho fluvial	0,3
Stf2	Suelo aluvial de planicies de inundación	0,3
Stf3	Suelo de terrazas aluviales	0,4
Rborad	Roca blanda de la Formación Orteguaza en ambiente denudacional con espesores de suelo residual producto de la meteorización	0,5
Rmbpeaa	Roca moderadamente blanda de la Formación Pepinos en ambiente antrópico con espesores de suelo residual producto de la meteorización y rellenos antrópicos	0,5
Rmbsalae	Roca moderadamente blanda de la Formación Saldana en ambiente estructural con espesores de suelo residual	0,5
Rmdngma	Neis de Guapotón Moncagua	0,5
Stfaa	Suelo transportado aluvial en ambiente antrópico	0,5
Rmbcaae	Roca moderadamente blanda de la Formación Caballos en ambiente estructural con espesores de suelo residual producto de la meteorización	0,6
Rmbpeae	Roca moderadamente blanda de la Formación Pepinos en ambiente estructural con espesores de suelo residual	0,6
Rmbviae	Roca moderadamente Blanda de la Formación Villeta en ambiente estructural con espesores de suelo residual	0,6
Rmbmflae	Roca moderadamente blanda de las Migmatitas de Florencia en ambiente estructural con espesores de suelo residual producto de la meteorización	0,7
Rmbpead	Roca moderadamente blanda de la Formación Pepinos en ambiente denudacional con espesores de suelo residual producto de la meteorización	0,7
Strc4	Depósitos coluviales en flujos de tierra, lodo y detritos	0,8
Strc1	Suelos de depósitos coluviales	1
Strc1cb	Depósitos coluviales en la Formación Caballos	1
Strc1fl	Depósitos coluviales en las Migmatitas de Florencia	1
Strc1gm	Depósitos coluviales en los Neis de Guapotón Moncagua	1
Strc1pe	Depósitos coluviales en la Formación Pepinos	1
Strc1vi	Depósitos coluviales en la Formación Villeta	1

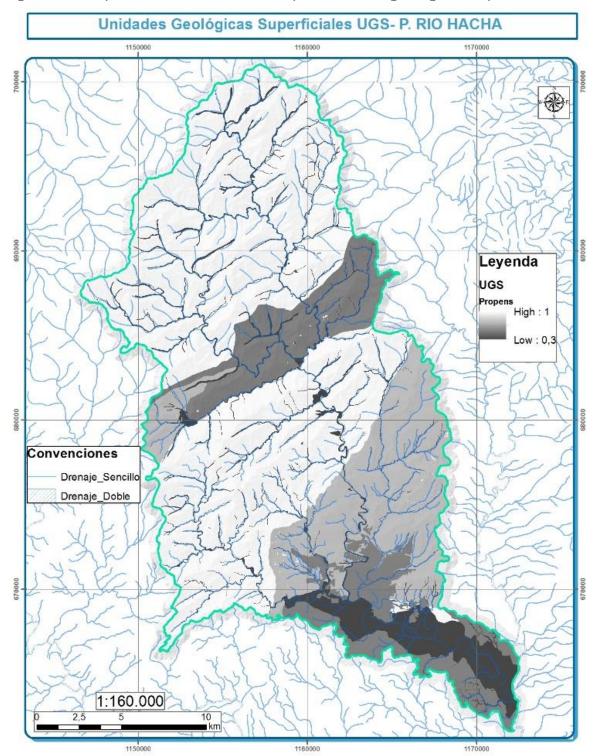








Figura 35. Propensividad a inestabilidad por unidades geológicas superficiales











7.7.3 Descripción de las variables de propensividad.

El Modelo Digital de Elevación (DEM, por sus siglas en inglés) permite ver que la cuenca comprende alturas entre 250 y 2.700 m.s.n.m. aproximadamente y que en su mayoría representan un relieve montañoso con dos tendencias principales: hacia el norte alturas máximas y relieves escarpados y hacia el suroriente mínimas y relieves de planicie o valle principalmente desde la parte urbana de la ciudad de Florencia. Como es de esperarse según esta descripción, las pendientes son más altas en el centro y norte de la cuenca.

La rugosidad del terreno en general es baja, representada en laderas sin cambios abruptos de la pendiente en áreas de corta extensión. Los valores más altos se ubican en la parte baja de la cuenca en donde las pendientes son menores. Por su parte, la pendiente de la ladera puede considerarse como uno de los factores más importantes que generarían una susceptibilidad media y alta a movimientos en masa en la parte media y alta de la cuenca pues se evidencia relieve dominantemente escarpado.

La pendiente senoidal de ladera (PENDS) presenta una distribución espacial muy similar a la pendiente de la cuenca, en general dos tendencias: valores altos (0,9 en su valor normalizado) alta en la parte occidental y norte. En cambio, en la zona urbana de Florencia parte baja de la cuenca predominan los menores valores de pendiente (0.06 en su valor normalizado) y evidentemente menor propensión a eventos de movimientos en masa.

La curvatura del terreno (CURVAR) presenta en general valores medios de manera dispersa en la cuenca, lo que implica la existencia de áreas cóncavas, planas y convexas en toda la cuenca. La curvatura longitudinal (PERFIL) muestra que el terreno tiene tendencia a formas cóncavas que representan zonas homogéneas (áreas de depósito) delimitadas por zonas elevadas con forma de "lomo". Al tiempo, la curvatura transversal (PLA) obtiene valores cercanos a 0,4 (en su valor normalizado) en toda la cuenca de manera dispersa, lo cual refuerza lo enunciado en relación con la existencia de formas planas, convexas y cóncavas dispersas en toda la cuenca.

Otra variable que indica implícitamente la inclinación de las laderas y el relieve relativo es la insolación del terreno (INSOL), relacionada a su vez con los de la orientación de la ladera (ORIENT). Las laderas están orientadas hacia el sureste y suroeste (el vector normal a su superficie apunta hacia el suroriente y suroccidente), son iluminadas y proyectan sombras en horas tempranas y horas de la tarde, teniendo algunas áreas con mayor exposición a la luz solar, lo que podría derivarse en más desecación de los suelos o incluso algunas variaciones en el tipo de vegetación.

En relación con las acumulaciones de longitud de flujo y área de flujo representadas









en las variables ACUENCA y LONG, se observa que hay zonas en donde el paso de algún cuerpo de agua permite acumulación de tributación de agua de escorrentía que por su energía puede generar procesos de socavación lateral sobre sus márgenes que se derivarían en colapsos laterales de suelo y deslizamientos.

La vegetación puede influir de manera beneficiosa o adversa en la estabilidad de las laderas dependiendo de cómo actúen dichos mecanismos. Un ejemplo de ello es la presencia de raíces que aumentan la resistencia del suelo y al mismo tiempo favorecen una mayor infiltración del agua de lluvia provocando su saturación. El área urbanizada produce impermeabilidad en el terreno, beneficiando la estabilidad si se cuenta con una correcta canalización y disposición de aguas lluvias y servidas domésticas, aunque también se aporta peso adicional a la ladera. Las áreas verdes, cultivos, al igual que los patios en tierra, actúan como esponjas, absorbiendo la precipitación e infiltrando agua a la ladera, situación desfavorable frente a la saturación del suelo, el cual es un factor desencadenante de deslizamientos. A pesar de ello, no se observa de manera clara la influencia de las coberturas en la estabilidad del terreno, lo que significaría que es una variable de relevancia menor comparativamente con otros factores.

Una de las variables que parece tener bastante relevancia es la presencia de fallas; no obstante, no son pocos los eventos de movimientos en masa registrados y cartografiados lejanos a las fallas identificadas, razón por la que la presencia de fallamiento local no debe ser asumido de manera directa como el factor más relevante. Según lo observado, hay alguna correlación entre la existencia de fallas al tiempo con otra variable, por ejemplo, hay un aumento de eventos en las vías al cruzarlas con zonas de falla. En este sentido no es apropiado asociar directamente la inestabilidad a la presencia de fallas sin considerar otras variables.

Finalmente, todas las unidades geológicas, materiales superficiales y características geomorfológicas presentan correlación con eventos, de manera que estas variables condicionan de manera clara la presencia de inestabilidad, lo cual debe ser tenido en cuenta en la caracterización del comportamiento geomecánico de cada material, sin distingo específico de origen.

7.7.4 Zonificación de susceptibilidad a movimientos en masa

 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 (ver Anexo 7.4 Análisis discriminante MM Susceptibilidad). Entre las pruebas estadísticas que analizan el ajuste a una distribución normal se ha seleccionado el test de Kolmogorov-Smirnov (K-S). El test K-S permite conocer la bondad del ajuste mediante el contraste entre la función de



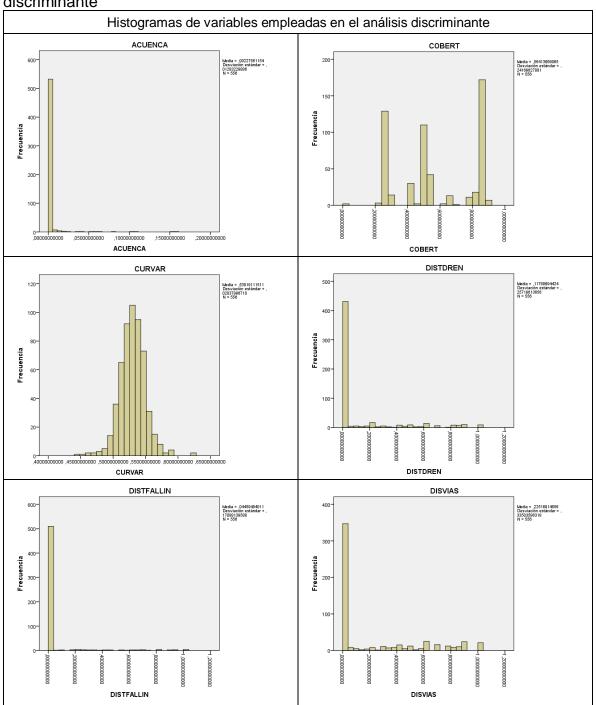






distribución acumulada empírica de la variable y la distribución acumulada teórica normal. Para ello utiliza la media y la desviación estándar de la muestra. Las distribuciones y prueba K-S se indican a continuación en la Gráfica 8 y en la Tabla 11.

Gráfica 8. Histogramas de distribución de las variables de entrada de la función discriminante

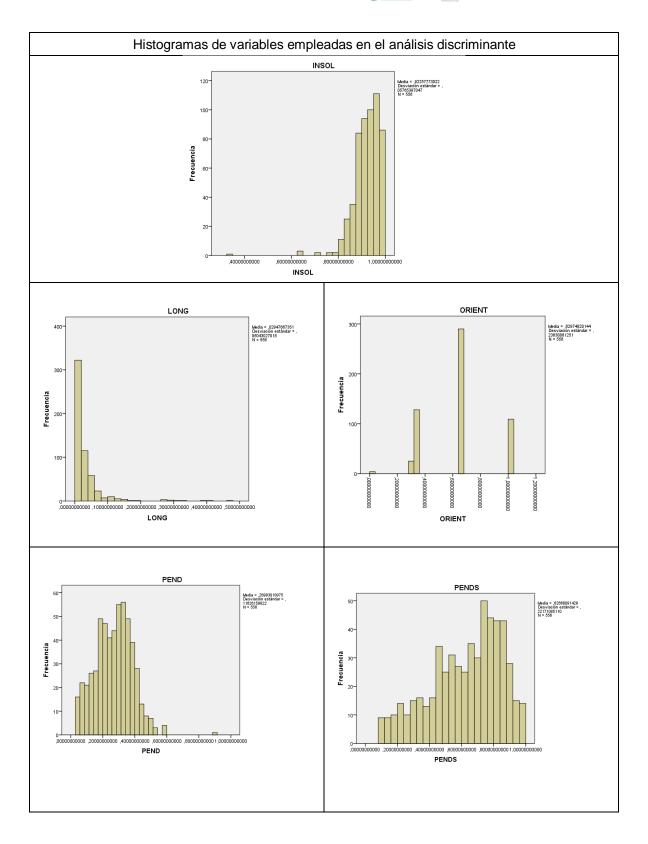




















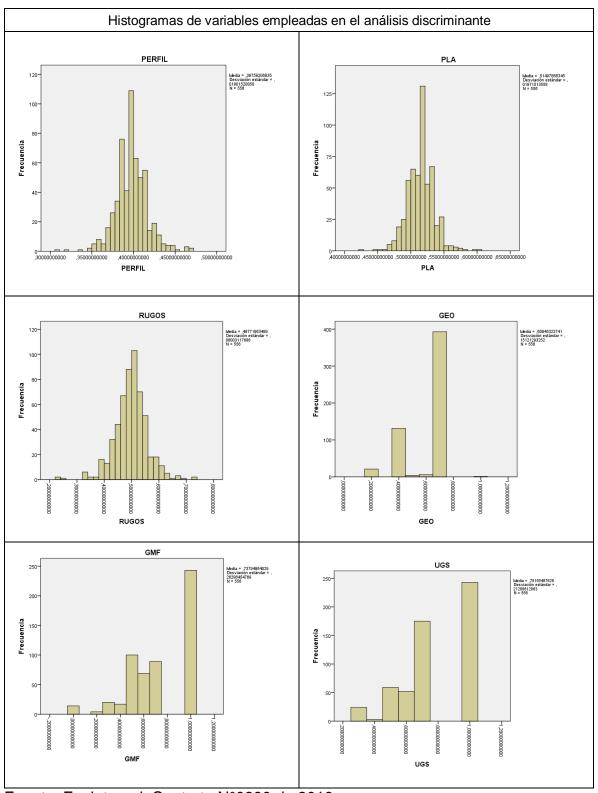










Tabla 11. Prueba Kolmogorov – Sminorv

	NGS	GMF	GEO	COBERT	DISTDREN	DISVIAS	DISTFALLIN	INSOL	LONG	ORIENT	PEND	PENDS	PERFIL	PLA	CURVAR	ACUENCA	RUGOS
	556	556	556	556	556	556	556	556	556	556	556	556	556	556	556	556	556
Media	0,8	0,7	0,6	0,6	0,1	0,2	0,0	0,9	0,0	0,6	0,3	0,6	0,4	0,5	0,5	0,0	0,5
DVEst	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
ABS	0,3	0,3	0,4	0,2	0,4	0,4	0,5	0,1	0,3	0,3	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,1
(+)	0,2	0,2	0,3	0,1	0,4	0,4	0,5	0,1	0,2	0,3	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,1
(-)	-0,3	-0,3	-0,4	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,1	-0,3	-0,3	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,4	-0,1
	0,3	0,3	0,4	0,2	0,4	0,4	0,5	0,1	0,3	0,3	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,1
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: Ecointegral. Contrato N°0390 de 2016

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 redunda 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 12).

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 las curvaturas del terreno con respecto al perfil y 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).









Tabla 12. Análisis factorial y matriz de correlación

							_										
	NGS	GMF	GEO	COBERT	DISTDREN	DISVIAS	DISTFALLIN	INSOL	LONG	ORIENT	PEND	PENDS	PERFIL	PLA	CURVAR	ACUENCA	RUGOS
UGS	1,0	0,9	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,3	0,1	0,0	0,3	0,4	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1
GMF	0,9	1,0	0,2	0,4	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
GEO	0,4	0,2	1,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,3	0,0	0,0	0,4	0,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
COBERT	0,3	0,4	0,1	1,0	0,1	0,4	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0
DISTDREN	0,2	0,2	0,1	0,1	1,0	0,0	0,1	0,0	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1
DISVIAS	0,1	0,1	0,1	0,4	0,0	1,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0
DISTFALLIN	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	1,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
INSOL	0,3	0,2	0,3	0,0	0,0	0,1	0,1	1,0	0,0	0,0	0,9	0,8	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
LONG	0,1	0,1	0,0	0,1	0,3	0,1	0,1	0,0	1,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,4	0,3	0,9	0,1
ORIENT	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0
PEND	0,3	0,3	0,4	0,0	0,1	0,1	0,1	0,9	0,1	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1
PENDS	0,4	0,3	0,5	0,0	0,1	0,1	0,1	0,8	0,1	0,0	1,0	1,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,1
PERFIL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	1,0	0,5	0,9	0,1	0,5
PLA	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,4	0,1	0,0	0,1	0,5	1,0	0,9	0,2	0,1
CURVAR	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,3	0,1	0,0	0,1	0,9	0,9	1,0	0,2	0,3
ACUENCA	0,2	0,1	0,1	0,1	0,3	0,0	0,1	0,1	0,9	0,0	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	1,0	0,1
RUGOS	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,5	0,1	0,3	0,1	1,0

Fuente: Ecointegral. Contrato N°0390 de 2016

El descarte de variables correlacionadas se debe ejecutar teniendo en cuenta criterios geotécnicos apoyados en pruebas estadísticas que aporten medición de dependendencia de variables, discriminancia o importancia de cada una en función de la muestra de análisis seleccionada. Aplicando los criterios mencionados se realiza descarte de factores apoyándose en las pruebas estadísticas de análisis factorial, pruebas T y ANOVA como se observa en la Tabla 13 y la Tabla 14. Por ejemplo, al comparar las curvaturas CURVAR, PLA y PERFIL se ve que la variable con mayor importancia es PERFIL (valor F-ANOVA=1.38), por lo cual se prefiere aportar los análisis con esta variable.









Tabla 13. Prueba T (estadísticas de grupo)

Tabla 13. Prueba		i (estaulstit	Jas ue y	· '	MEDIA DE EDDOD		
ESTAB		N	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MEDIA DE ERROR ESTÁNDAR		
UGS	0	278	0,621	0,109	0,007		
063	1	278	0,942	0,165	0,010		
GMF	0	278	0,542	0,169	0,010		
GWF	1	278	0,934	0,180	0,011		
INSOL	0	278	0,938	0,042	0,003		
INSOL	1	278	0,907	0,067	0,004		
DEND	0	278	0,238	0,107	0,006		
PEND	1	278	0,301	0,117	0,007		
DENDO	0	278	0,570	0,229	0,014		
PENDS	1	278	0,684	0,199	0,012		
LONG	0	278	0,030	0,057	0,003		
LONG	1	278	0,029	0,044	0,003		
ACHENCA	0	278	0,003	0,015	0,001		
ACUENCA	1	278	0,002	0,010	0,001		
DEDEII	0	278	0,397	0,019	0,001		
PERFIL	1	278	0,398	0,019	0,001		
PLA	0	278	0,516	0,020	0,001		
FLA	1	278	0,514	0,020	0,001		
CLIDVAD	0	278	0,531	0,020	0,001		
CURVAR	1	278	0,529	0,021	0,001		









Tabla 14. Prueba ANOVA

		SUMA DE CUADRADOS	GL	MEDIA CUADRÁTICA	F	SIG.
	Entre grupos	14,311	1	14,311	731,207	,000
UGS	Dentro de grupos	10,842	554	,020		
	Total	25,153	555			
	Entre grupos	21,408	1	21,408	700,063	,000
GMF	Dentro de grupos	16,941	554	,031		
	Total	38,349	555			
	Entre grupos	,128	1	,128	41,349	,000
INSOL	Dentro de grupos	1,717	554	,003		
	Total	1,845	555			
	Entre grupos	,553	1	,553	44,075	,000
PEND	Dentro de grupos	6,949	554	,013		
	Total	7,502	555			
	Entre grupos	1,810	1	1,810	39,366	,000
PENDS	Dentro de grupos	25,471	554	,046		
	Total	27,281	555			
	Entre grupos	,000	1	,000	,828	,363
PERFIL	Dentro de grupos	,200	554	,000		
	Total	,201	555			
	Entre grupos	,001	1	,001	1,341	,247
PLA	Dentro de grupos	,215	554	,000		
	Total	,216	555			
	Entre grupos	,001	1	,001	1,379	,241
CURVAR	Dentro de grupos	,230	554	,000		
	Total	,231	555			
LONG	Entre grupos	,000	1	,000	,168	,682
	Dentro de grupos	1,411	554	,003		
	Total	1,411	555			
ACUENCA	Entre grupos	,000	1	,000	1,232	,267
	Dentro de grupos	,091	554	,000		
	Total	,091	555			









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, PERFIL/PLA/CURVAR y LONG/ACUENCA. CriterioT: UGS, PENDS, PERFIL y LONG. Criterio ANOVA: UGS, PEND, CURVAR y ACUENCA. Coeficientes de función discriminante 1 (PENDS, PERFIL y LONG por pasos):

UGS 7,509
GEO -2,299
COBERT 1,000
DISTDREN ,765
PENDS ,799
LONG 2,351

Resultados de clasificación: 93,0% 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, PERFIL/PLA/CURVAR y LONG/ACUENCA. CriterioT: UGS, PENDS, PERFIL y LONG. Criterio ANOVA: UGS, PEND, CURVAR y ACUENCA. Coeficientes de función discriminante 2 (mayor número de factores, PENDS, PERFIL y LONG independientes):

UGS 7,507
GEO -2,320
COBERT ,852
DISTDREN ,712
DISVIAS ,288
DISTFALLIN ,296
PENDS ,901









PERFIL 1,724 LONG 2,166 RUGOS -,704 ORIENT ,058

Resultados de clasificación: 93,2% 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, PERFIL/PLA/CURVAR y LONG/ACUENCA. CriterioT: UGS, PENDS, PERFIL y LONG. Criterio ANOVA: UGS, PEND, CURVAR y ACUENCA. Coeficientes de función discriminante 3 (PEND, CURVAR y ACUENCA por pasos):

UGS 7,508
GEO -2,274
COBERT ,970
DISTDREN ,771
PEND 1,815
ACUENCA 9,130

Resultados de clasificación: 93,0% 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, PERFIL/PLA/CURVAR y LONG/ACUENCA. CriterioT: UGS, PENDS, PERFIL y LONG. Criterio ANOVA: UGS, PEND, CURVAR y ACUENCA. Coeficientes de función discriminante 4 (mayor número de factores, PEND, CURVAR y ACUENCA independientes):

UGS 7,493
GEO -2,277
COBERT ,838
DISTDREN ,712
DISVIAS ,280
DISTFALLIN ,329









RUGOS -,699
ORIENT ,044
PEND 1,988
CURVAR -2,450
ACUENCA 7,917

Resultados de clasificación: 93,2% 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, PERFIL/PLA/CURVAR y LONG/ACUENCA. CriterioT: UGS, PENDS, PERFIL y LONG. Criterio ANOVA: UGS, PEND, CURVAR y ACUENCA. Coeficientes de función discriminante 5 (factores discriminantes independientes juntos):

UGS 7,497 GEO -2,280COBERT .832 DISTDREN ,714 DISVIAS ,281 DISTFALLIN ,327 RUGOS -,692 **PEND** 1,986 CURVAR -2,479ACUENCA 7,928

Resultados de clasificación: 93,2% de casos agrupados correctamente.

Función discriminante 6

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, PERFIL/PLA/CURVAR y LONG/ACUENCA. CriterioT: UGS, PENDS, PERFIL y LONG. Criterio ANOVA: UGS, PEND, CURVAR y ACUENCA. Coeficientes de función discriminante 6 (factores discriminantes independientes juntos):

UGS 7,454 GEO -2,255









COBERT ,817
DISTDREN ,805
DISVIAS ,286
DISTFALLIN ,369
RUGOS -,523
PEND 4,887
PERFIL 3,122

Resultados de clasificación: 93,5% de casos agrupados correctamente.

Función discriminante 7

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, PERFIL/PLA/CURVAR y LONG/ACUENCA. CriterioT: UGS, PENDS, PERFIL y LONG. Criterio ANOVA: UGS, PEND, CURVAR y ACUENCA. Coeficientes de función discriminante 7 (GMF y factores discriminantes independientes juntos):

GEO .129 COBERT ,600 DISTDREN ,723 **DISVIAS** ,425 DISTFALLIN ,242 **RUGOS** -1,061 PEND 1,699 **PERFIL** 3,281 **GMF** 5,380

Resultados de clasificación: 93,4% de casos agrupados correctamente.

Función discriminante 8

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, PERFIL/PLA/CURVAR y LONG/ACUENCA. CriterioT: UGS, PENDS, PERFIL y LONG. Criterio ANOVA: UGS, PEND, CURVAR y ACUENCA. Coeficientes de función discriminante 8 (factores discriminantes independientes juntos):

UGS 5,264









GMF	2,059
GEO	-1,740
COBERT	,603
DISTDREN	,736
DISVIAS	,340
DISTFALLIN	,305
PEND	1,721
PERFIL	3,761
LONG	2,031

Resultados de clasificación: 93,3% de casos agrupados correctamente.

Luego de analizar los resultados de las funciones discriminantes se observa que la función número 6 posee la mayor agrupación correcta, seguida de las funciones número 7 y 8. 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 8 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 8 evaluada tiene resultados de clasificación cercanos al 93,5%, se opta por calcular la susceptibilidad con la siguiente ecuación:

```
Susc_{MM} = 2.059 * GMF + 1.721 * PEND + 2.031 * LONG + 0.340 * DISTVIA + 0.305 * DISTFALLIN + 0.736 * DISTDREN + 0.603 * COBER + 5.264 * UGS - 1.740 * GEO + 3.761 * PERFIL
```

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 Figura 36.

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 Hacha es moderadamente susceptible a movimientos en masa. Los lugares en que se presenta susceptibilidad corresponden con zonas de ladera en la que ocurren deslizamientos y flujos y en los márgenes de los ríos en los que la socavación lateral puede generar desprendimiento y arrastre de material y en zonas poco provistas de vegetación.



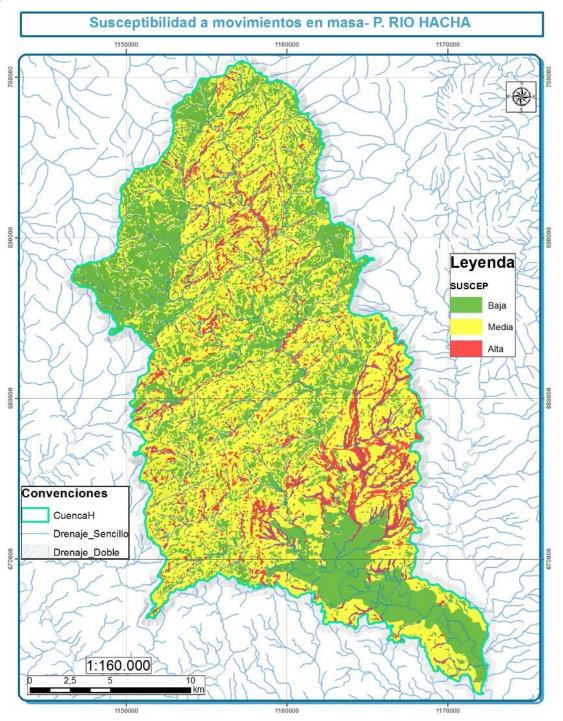






Esta condición de susceptibilidad alta ocurre en un 10,6% (5279,26 ha) del total de la cuenca, la calificación media en un 54,3% (27151,85 ha), y una categoría baja con un 35,2% (17598,73 ha) del total.

Figura 36. Susceptibilidad a movimientos en masa











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

7.7.5 Descripción metodológica para obtener amenaza por movimientos en masa

Dentro de la evaluación de la amenaza por movimientos en masa se tuvo en cuenta el Protocolo para la incorporación de la gestión del Riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas hidrográficas (MADS, 2014), el cual sugiere un procedimiento determinístico y la valoración de diversos escenarios con presencia de agua y sismo en diferentes periodos de retorno. En la Figura 37, se describe metodológicamente la obtención de la amenaza por movimientos en masa.

en masa Cohesión (C) UGS Ángulo de Frición Precipitaciones (Tr) Peso Unitario Aceleración Sísmica Cálculo de Amenaza Final Altura de la lámina de agua (hw) DEM Coeficiente de aceleración sísmica (k) Coberturas y usos del Pendiente (a) suelo Coberturas y usos del Zonificación de Susceptibilidad Zonificación de

Figura 37. Estructura metodológica para la evaluación de amenaza por movimientos en masa









A partir de cartografía base de geología y geomorfología, así como de los resultados del programa de exploración del suelo y ensayos de laboratorio realizados, se planteó el modelo geológico geotécnico que representa las zonas homogéneas de comportamiento geomecánica. Para su planteamiento se realizó el cruce espacial de los puntos de control de campo geológico y de suelos para estimar los parámetros de comportamiento mecánico en el caso de las unidades geotécnicas que coinciden con al menos uno de los mismos. Los parámetros de resistencia descritos se encuentran en el Anexo 7.6 (Modelo geológico geotécnico), para lo cual se asignaron en este caso para cada celda considerando los resultados de laboratorio y los ensayos y parámetros que dan cuenta del comportamiento geomecánico en otros estudios precedentes ya indicados en los apartes de información antecedente. Posteriormente, se tuvo en cuenta la determinación de los detonantes de niveles freáticos y la aceleración sísmica a aplicar para diferentes escenarios.

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

Para la evaluación del nivel freático se plantea la hipótesis en la que este se encuentra en la superficie de falla y varía según el régimen de lluvias de cada píxel. El análisis de lluvia considera el concepto de una proporción de esta que cae al suelo y se infiltra, otro porcentaje queda detenido en la vegetación y en depresiones del suelo mientras se evapora y otro fluye como escorrentía directa. La cantidad de lluvia se obtuvo con los análisis de precipitaciones descritos en curvas IDF y se plantearon valores esperados de precipitación máxima diaria por periodos de retorno de 2, 20, 50 y 100 años.

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

Por lo anterior, se utilizó el método lluvia-escorrentía del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) del U. S. Department of Agriculture, el cual, muy frecuentemente,









se utiliza para estimar cantidad de agua proveniente de una tormenta (P) que se convierte en escorrentía directa (P_e) , pero que para este caso se estimó el complemento, esto es, el resto de la lluvia que no se convierte en escorrentía directa, es decir: $(P_i = P - P_e)$.

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

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

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

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

Donde,

c es la cohesión del material α Es la pendiente del terreno k es el coeficiente de amplificación sísmica hw es el valor de la tabla de agua Φ' Es el ángulo de fricción del material γ Gamma es el peso unitario del material.

En la Figura 38, se ilustran los parámetros geométricos indicados.

El factor de seguridad se debe calcular en al menos diez (10) escenarios que corresponden con los parámetros considerando la profundidad de suelo según las interfaces suelo-roca con ausencia y presencia de detonantes como sismo y nivel de agua modificado por las precipitaciones con distintos periodos de retorno. Para este análisis se consideraron periodos de retorno de precipitaciones de 2, 20, 50 y 100 años y presencia o ausencia de sismo con periodo de retorno de 475 años (ver Anexo 7.8 Condicionantes y detonantes MM Amenaza).

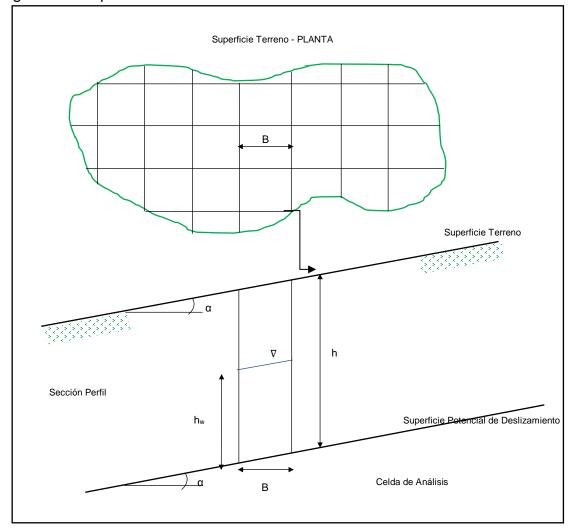








Figura 38. Esquema del modelo de talud infinito



Fuente: (SGC, 2015)

Los espesores de materiales que pueden fallar mediante mecanismo traslacional superficial pueden variar entre los 4 y los 12 metros y la cuenca presenta cambios morfométricos importantes en toda su área que indican variaciones espaciales de espesores. Los suelos tienen un espesor medio cercano a los 6 metros, por lo cual se evalúa un promedio de contacto suelo-roca para el cálculo de los diez escenarios mínimos requeridos y se incluyen más profundidades de falla posibles en función de los espesores encontrados. El resultado final es el cálculo del factor de seguridad en cada celda o píxel para distintas posibilidades de ocurrencia de falla dentro de 10 escenarios que relacionan variaciones de nivel freático, presencia de aceleración sísmica, distintas profundidades de falla y condición media a desfavorable de parámetros geomécanicos por la presencia de materiales por encima de la superficie de falla.









Las evaluaciones de los escenarios mencionadas se encuentran completas en los Anexos 7.9 (Evaluación MM Amenaza) y 7.10 (Diez escenarios MM Amenaza). En estos se incluye la cartografía de los diez escenarios de amenaza y riesgo con su respectiva salida cartográfica en formato JPEG para su consulta editable desde software GIS u observación simple en formato imagen.

La condición de amenaza puede ser representada en el Factor de Seguridad siempre que se clasifique en los rangos o clases mostradas en la Tabla 15. Sin embargo, las evaluaciones de riesgo por movimientos en masa conviene desarrollarlas sobre una condición general de amenaza y no sobre escenarios particulares, de manera que no se debe expresar en términos de factor de seguridad para un escenario seleccionado sino en función de la combinación de todos los escenarios posibles. La evaluación de un número mayor de opciones posibles contempla la inclusión de un número mayor de posibilidades de falla (siendo esta siempre acotada por el método de evaluación), para representar los resultados en términos de probabilidad de falla, la cual se calculó en cada celda o píxel considerando la media aritmética, varianza y desviación estándar y se clasificó con los rangos que se presentan en la Tabla 16, siendo estos últimos los definitivos para la zonificación de amenaza por movimientos en masa.

Tabla 15. Clasificación de la amenaza por movimientos en masa en 3 clases

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

Fuente: SGC, 2012.

Tabla 16. Clasificación de la amenaza por movimientos en masa en 3 clases

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

Fuente: Ecointegral. Contrato N°0390 de 2016

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

$$Z = \frac{1 - FS}{desv(FS)}$$
 , $P = (0.5 \pm Z) * 100$









No obstante, el protocolo recomienda calcular la varianza del factor de seguridad final para cada celda de cada uno de los escenarios y no a partir de la combinación misma de todos ellos calculados en una misma celda. Si bien la probabilidad de falla se obtiene calculando los factores Z tradicionales para evaluar probabilidad de ocurrencia de FS, para estabilidad de taludes se considera apropiado evaluar directamente la probabilidad de falla (caso en que las fuerzas actuantes son iguales a las fuerzas resistentes en la ecuación del factor de seguridad, es decir, que FS=1), considerando los planteamientos de González5 (2009); es decir, que si se tiene un resultado de FS igual a uno (1), la posibilidad de falla es la misma a la de la estabilidad, lo que corresponde con una probabilidad de falla del 50%, de manera que considerando una seguridad adicional se plantea la amenaza alta a partir de una probabilidad de falla superior al 40% y la amenaza baja como probabilidad de falla menor a 9%. Esto genera los rangos de probabilidad de falla que son compatibles y comparables con las condiciones de factor de seguridad y clasificaciones mostradas en la Tabla 16 de manera acorde con el Protocolo para la incorporación de gestión de riesgo en POMCAS (MADS, 2014) y SGC en 2015.

En resumen, la condición de amenaza se presenta para los 10 escenarios solicitados por el Protocolo en distintas combinaciones de superficies de falla posibles y se clasificaron en tres categorías: alta, media y baja. A partir de todas las evaluaciones de posibilidad de falla (cerca de 100 en total) se calculó también la amenaza en términos probabilísticos considerando no solo un único escenario sino la combinación de todos ellos, lo cual permite adelantarse a la representación de la amenaza general para toda la cuenca también en tres categorías (alta, media y baja) y con la cual resulta más recomendable estimar las condiciones de riesgo, evitando la subjetividad impresa en la selección de un solo escenario en el catálogo de posibilidades calculadas.

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

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

Las zonas de **amenaza media** corresponden a laderas o márgenes de cuerpos de agua donde han ocurrido pocos movimientos en masa y existe la posibilidad de que

_

⁵González G., Álvaro. Factores de seguridad... ¿por qué tantos? V encuentro de ingenieros de suelos y estructuras. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, 2009.









se presenten pues confluyen algunas de las condiciones que favorecen su ocurrencia como erosión hídrica moderada o pendiente moderada a alta.

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

7.7.6 Descripción de las variables de amenaza por movimientos en masa

7.7.6.1 Precipitación. Mide la cantidad de lluvia en milímetros reportadas por las diferentes estaciones ubicadas por el IDEAM a lo largo de la cuenca en estudio. Los valores fueron empleados para la estimación de las curvas IDF del componente hidrológico del presente estudio. Como se indicó metodológicamente, para estimar la fracción de agua infiltrada la Guía Técnica sugiere usar el método Alzate (2012) y Torres et al., (2014) que plantea una ecuación empírica en función de los factores que influyen en el proceso de infiltración. Sin embargo, dicha ecuación empírica sugiere el término de precipitación ponderada en el denominador como sumando, lo que puede llegar a indicar menores niveles freáticos con mayores precipitaciones. Por lo anterior, se utilizó el método lluvia-escorrentía del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) del U. S. Department of Agriculture.

- Fuente: Mediciones estaciones climáticas multiparamétricas -Consultoría.
- Formato: Ráster.

El análisis de lluvia considera el concepto a partir del cual una proporción de esta cae al suelo y se infiltra, otro porcentaje queda detenido en la vegetación y en depresiones del suelo mientras se evapora y otro fluye como escorrentía directa. Dentro de la evaluación se emplea el valor de precipitaciones cruzado con el tipo de material y cobertura para obtener la retención potencial (s) como se observa en la Figura 39 y las respectivas láminas de agua para la precipitación presente en la cuenca a lo largo de diferentes periodos de retorno (ver Figura 40 a Figura 43).

Para la cuenca se observan los mayores valores de retención potencial en el norte de la cuenca, mientras que hacia la parte central de la cuenca en la ciudad de Florencia se observan valores muy bajos de la misma en gran parte por las zonas urbanas y de expansión.

Luego de evaluar el valor de la altura de la lámina de agua se observan valores moderados y bajos en gran parte de la cuenca con un aumento significativo hacia la parte norte de la cuenca hidrográfica, al analizar las diferencias en milímetros de las respectivas tablas de agua se observan diferencias cerca a 140 mm entre el menor y mayor periodo de retorno.









Figura 39. Retención potencial de agua (S)

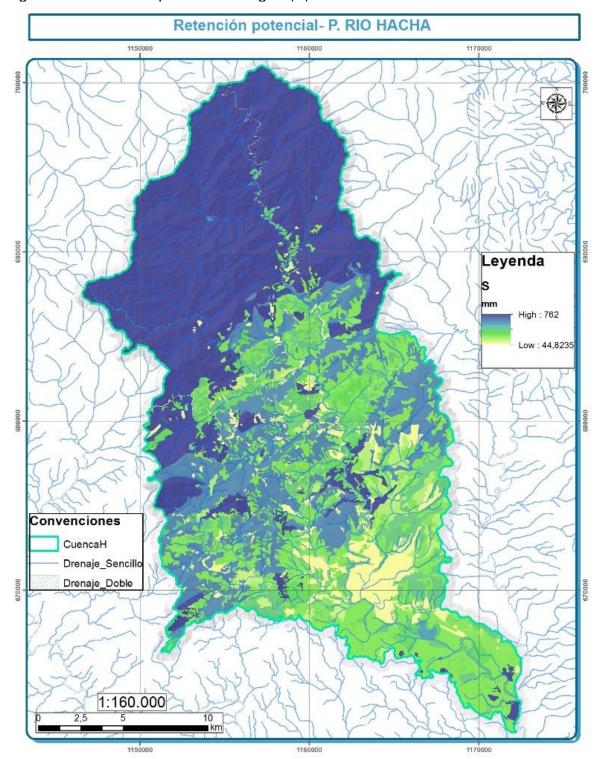










Figura 40. Altura de la lámina de agua para periodo de retorno de precipitaciones de 2 años

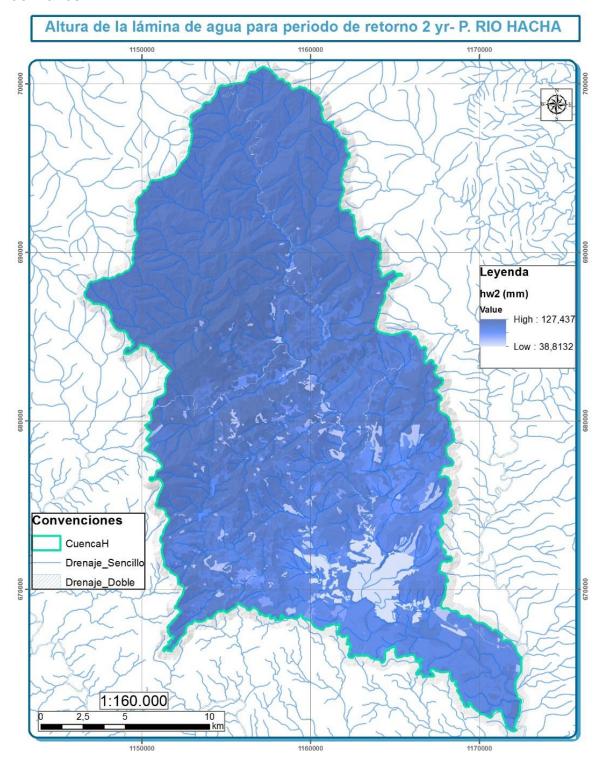










Figura 41. Altura de la lámina de agua para periodo de retorno de precipitaciones de 20 años

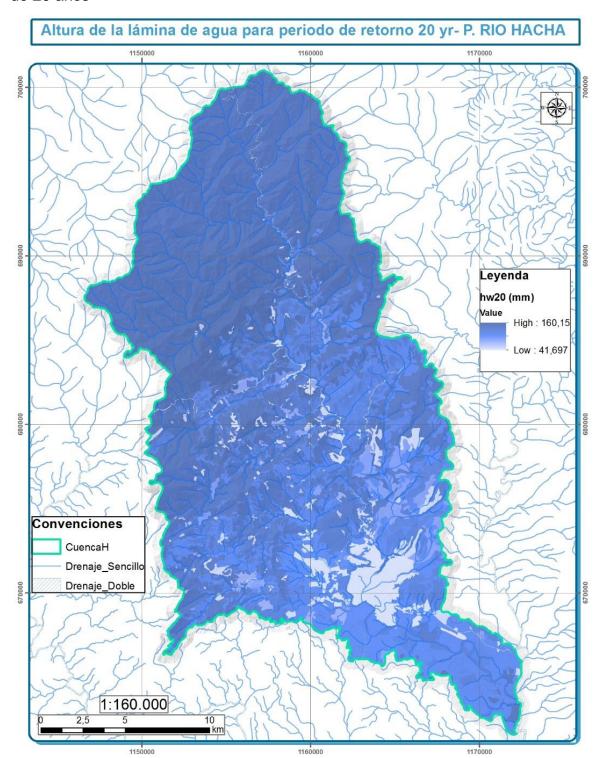










Figura 42. Altura de la lámina de agua para periodo de retorno de precipitaciones de 50 años

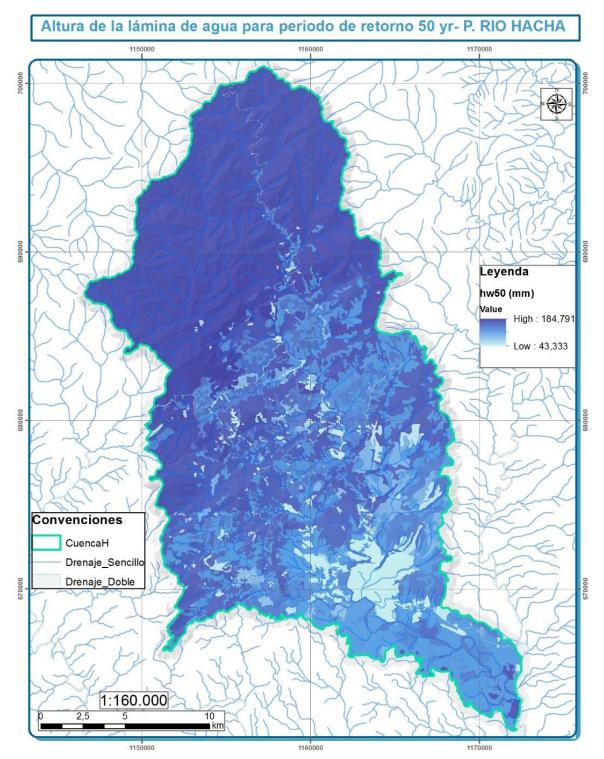


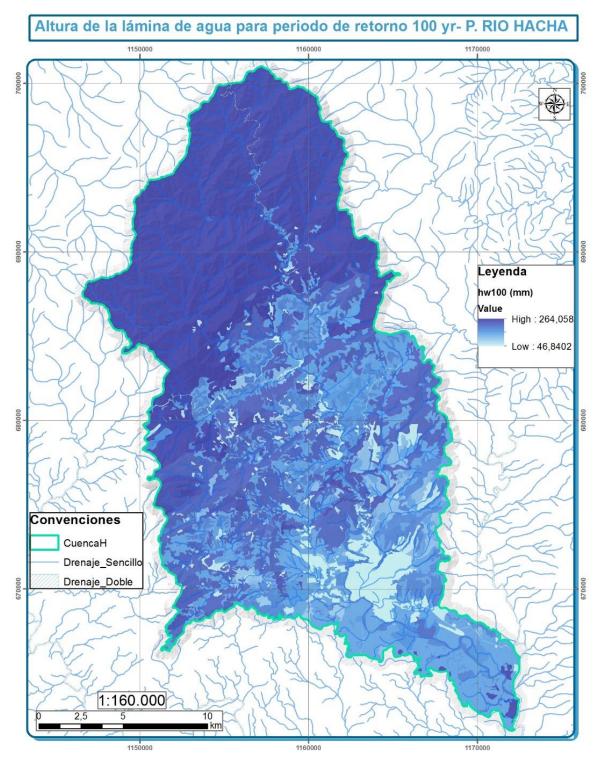








Figura 43. Altura de la lámina de agua para periodo de retorno de precipitaciones de 100 años







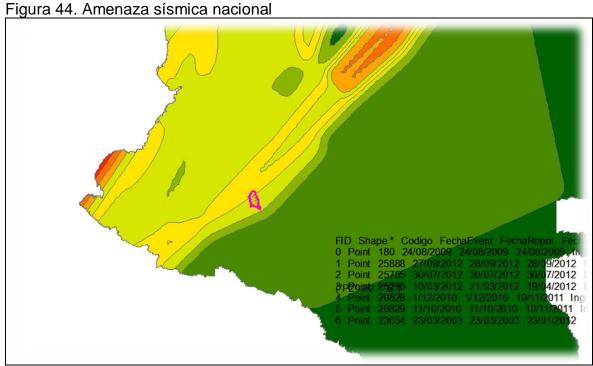




7.7.6.2 Aceleración Sísmica. La aceleración sísmica se estimó partiendo de los valores regionales de amenaza según el estudio de Amenaza Sísmica Nacional (SGC, 2017) y posteriormente estimando la aceleración horizontal pico efectiva en superficie considerando la respuesta local o el efecto de sitio. Finalmente se aplicó a partir de la geometría y morfometría de la cuenca el efecto topográfico de amplificación y deamplificación de la aceleración sísmica empleando los principios de Jibson (1987), Faccioli (1991) y la AFPS (1995) logrando diferenciar el coeficiente en las partes cóncavas y convexas de la superficie del terreno.

Fuente: SGC.Formato: Vector.

La sismicidad dentro la cuenca depende de mecanismos locales y regionales, los primeros más influyentes en el fracturamiento y diaclasamiento de los materiales rígidos de la cuenca mientras que la sismicidad proveniente de los grandes sistemas geotectónicos del país (ver Figura 44) como el sistema de fallas Cauca Romeral, sistema de fallas de piedemonte llanero (sistema de fallas frontal de la cordillera oriental) y la influencia sísmica de la subducción de la Placa de Nazca en la Placa Suramericana inciden de una manera significativamente mayor en la ocurrencia de deslizamientos.



Fuente: Ecointegral. Contrato N°0390 de 2016, con información de SGC, 2017









Los materiales en la cuenca (neises, migmatitas, shales y lodolitas) se ven superficialmente afectados por la influencia de fallas locales que hacen parte de los grandes sistemas tectónicos del país, con intensidades y desplazamientos relativos significativamente bajos. Por otro lado, la posibilidad de sismos regionales puede conjugarse con las condiciones de saturación del suelo y detonar movimientos en masa.

El coeficiente de aceleración sísmica para la ciudad de Florencia como capital de departamento y lugares aledaños esta entre 0.15 y 0.20, lo que ubica a la cuenca hidrográfica del río Hacha en una zona de baja a media amenaza sísmica. Para este ejercicio, en lugar de emplear un valor único de amenaza sísmica, se estimó para cada celda la aceleración pico efectiva en superficie de roca a partir del mapa de amenaza y se realizó el cálculo de efectos de sitio y topográfico al valor de la aceleración sísmica de cada píxel para generar contrastes de amplificación y de amplificación del coeficiente de aceleración sísmica en la zona de estudio en función de la geometría del terreno y espesores de suelos (ver Figura 45).

Si se revisa la sismicidad local en el municipio de Florencia y en el Departamento del Caquetá, se encuentran registros históricos de sismos débiles (ver Tabla 17 y Tabla 18) que sugieren que la actividad de las fallas locales se ve opacada por la sismicidad regional, de manera que la presencia de fallas y lineamientos en la cuenca representarían más una degradación de los parámetros de resistencia de los materiales que una situación detonante por sí misma.

Tabla 17. Sismicidad local en Caquetá

AAAA/MM/DD	HH:MM:SS	ML	LONGITUD (°)	LATITUD (°)	MUNICIPIO
29/10/2002	00:03:12	4.1	-76.199	.892	Curillo
11/06/2010	15:54:06	3.9	-74.969	1.996	Puerto Rico
22/06/1998	07:59:46	3.7	-75.252	1.139	Milan
18/07/2000	22:30:50	3.6	-74.966	2.156	San Vicente Del Caguán
28/01/2001	15:48:38	3.6	-75.734	1.351	Valparaiso
25/05/2000	00:20:10	3.4	-74.413	2.622	San Vicente Del Caguán
27/06/2003	21:03:00	3.4	-74.36	2.486	San Vicente Del Caguán
27/10/1994	23:50:09	3.3	-76.17	1.29	San José Del Fragua
17/09/1998	20:11:05	3.3	-74.262	1.521	Cartagena Del Chaira
16/09/2000	13:23:18	3.3	-75.767	1.416	Morelia
21/01/2001	06:09:03	3.3	-76.062	1.271	San Jose Del Fragua
14/11/2001	11:56:02	3.2	-74.728	1.953	San Vicente Del Caguan
21/04/2003	03:53:35	3.2	-74.476	1.286	Cartagena Del Chaira
28/12/2012	04:40:30	3.2	-74.727	1.454	Cartagena Del Chaira

Fuente: Red Nacional Sismológica Colombiana, 2017









Figura 45. Coeficiente de aceleración sísmica

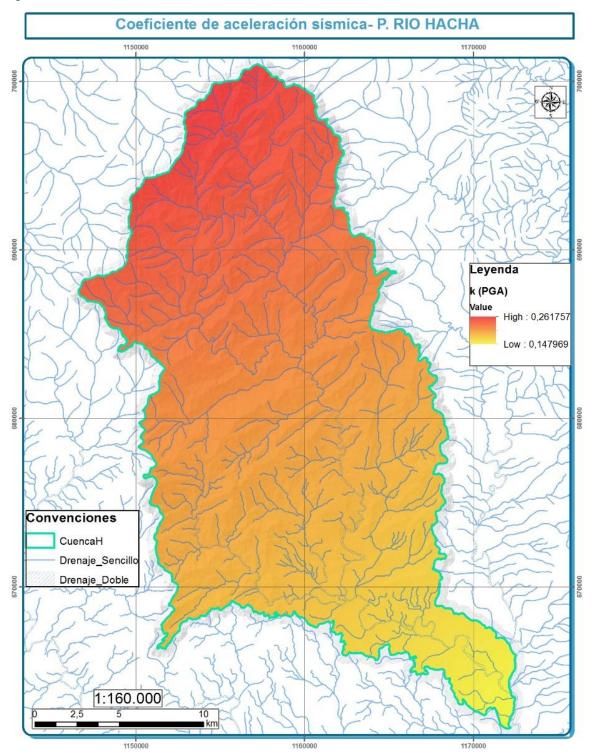










Tabla 18. Sismicidad local en Florencia

AAAA/MM/DD	HH:MM:SS	ML	LONGITUD (°)	LATITUD (°)	PROFUNDIDAD (Km)
18/08/1993	08:56:11	2	-75.729	1.683	11.8
7/07/1995	04:52:05	2.4	-75.704	1.724	71
20/04/1998	02:18:08	2.4	-75.659	1.583	4
22/08/2000	04:36:00	2.5	-75.5	1.849	12.1
8/05/2001	21:50:39	2.8	-75.625	1.613	4
22/07/2001	02:27:53	2.8	-75.77	1.674	135.3
26/11/2001	07:48:09	2.1	-75.547	1.889	76
24/05/2002	04:31:51	2.2	-75.542	1.648	62
23/09/2005	07:36:05	2.7	-75.496	1.818	2
20/11/2005	06:06:26	2.4	-75.485	1.706	0
14/10/2007	01:59:23	2.8	-75.726	1.765	36
7/02/2014	21:54:50	1.9	-75.505	1.638	103.6
14/04/2014	13:50:01	1.9	-75.739	1.719	34.6
10/01/2015	23:15:34	1.9	-75.483	1.7	10
29/05/2016	08:22:34	1.6	-75.691	1.706	4

Fuente: Red Nacional Sismológica Colombiana, 2017

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

Como se indicó anteriormente, los parámetros de resistencia se asignaron considerando los resultados de laboratorio del componente de geología y los parámetros que dan cuenta del comportamiento geomecánico en otros estudios precedentes ya indicados en los apartes de información antecedente. Los parámetros de densidad y resistencia al corte para un modelo de falla drenada basada en el criterio de Mohr-Coulomb bajo un mecanismo de falla traslacional se muestra en la Tabla 19.

Adicional, de la Figura 46 a la Figura 49 se presenta la distribución espacial de las zonas geotécnicas usadas dentro del modelo geológico geotécnico y de cada parámetro geomecánico requerido dentro de la evaluación por movimientos en masa.









Tabla 19. Parámetros geomecánicos

	Tabla 19. Parámetros geomecánicos						
ZONA GEOTÉCNICA	DESCRIPCIÓN	ESPESOR (m)	Yt (kN/m³) < <gamma>></gamma>	ø' (grados) < <phi>>></phi>	c' (kPa) < <c>></c>		
Rborad	Roca blanda de la Formación Orteguaza en ambiente denudacional con espesores de suelo residual producto de la meteorización	7,5	16,9	22,3	76,3		
Rmbcaae	Roca moderadamente blanda de la Formación Caballos en ambiente estructural con espesores de suelo residual producto de la meteorización	8,1	17,8	24	31,1		
Rmbmflae	Roca moderadamente blanda de las Migmatitas de Florencia en ambiente estructural con espesores de suelo residual producto de la meteorización	11,2	18,4	23,7	24,3		
Rmbpeaa	Roca moderadamente blanda de la Formación Pepinos en ambiente antrópico con espesores de suelo residual producto de la meteorización y rellenos antrópicos	9,2	17,2	27	19,9		
Rmbpead	Roca moderadamente blanda de la Formación Pepinos en ambiente denudacional con espesores de suelo residual producto de la meteorización	10,5	17,3	26,3	20,7		
Rmbpeae	Roca moderadamente blanda de la Formación Pepinos en ambiente estructural con espesores de suelo residual	8,6	18,1	24,6	23,1		
Rmbsalae	Roca moderadamente blanda de la Formación Saldana en ambiente estructural con espesores de suelo residual	6,8	20,4	27,2	24,8		
Rmbviae	Roca moderadamente Blanda de la Formación Villeta en ambiente estructural con espesores de suelo residual	11	18	26	25		
Rmdngmae	Neis de Guapotón Moncagua	9	19	26,2	21		
Stf1	Suelo aluvial de lecho fluvial	12	18,65	28,2	17,3		
Stf2	Suelo aluvial de planicies de inundación	16	17,93	29,4	13,84		
Stf3	Suelo de terrazas aluviales	13	17,38	28	14,56		
Stfaa	Suelo transportado aluvial en ambiente antrópico	14	16	27	18		
Strc1	Suelos de depósitos coluviales	10,3	17,4	24,8	19,2		
Strc1cb	Depósitos coluviales en la Formación Caballos	11,3	17,9	27,5	17,5		
Strc1fl	Depósitos coluviales en las Migmatitas de Florencia	9,89	16,3	23,3	18,6		
Strc1gm	Depósitos coluviales en los Neis de Guapotón Moncagua	13,5	18,1	22,1	15,7		
Strc1pe	Depósitos coluviales en la Formación Pepinos	11,7	15,7	21,2	18,3		
Strc1vi	Depósitos coluviales en la Formación Villeta	10,5	16,4	19,2	19,9		
Strc4	Depósitos coluviales en flujos de tierra, lodo y detritos	9,2	18,2	21,3	20		









Figura 46. Zonas geotécnicas

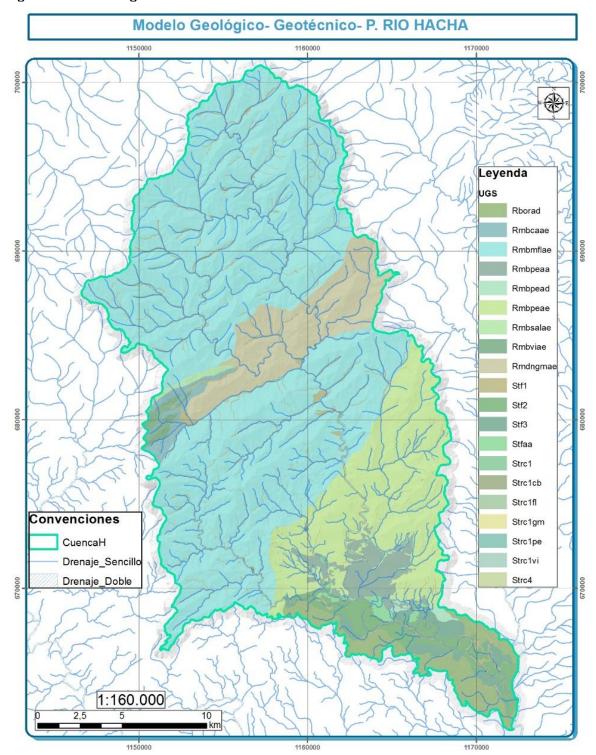










Figura 47. Parámetro geomecánico de cohesión de suelos

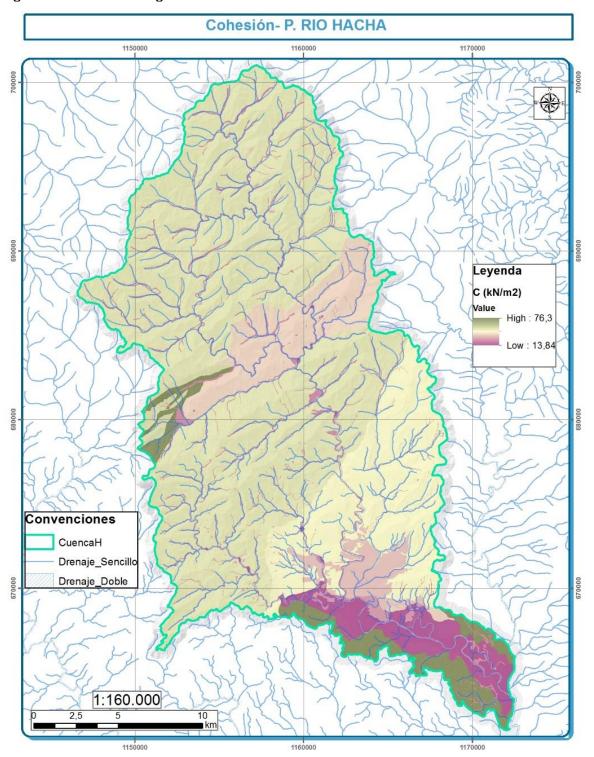










Figura 48. Parámetro geomecánico de ángulo de fricción de suelos

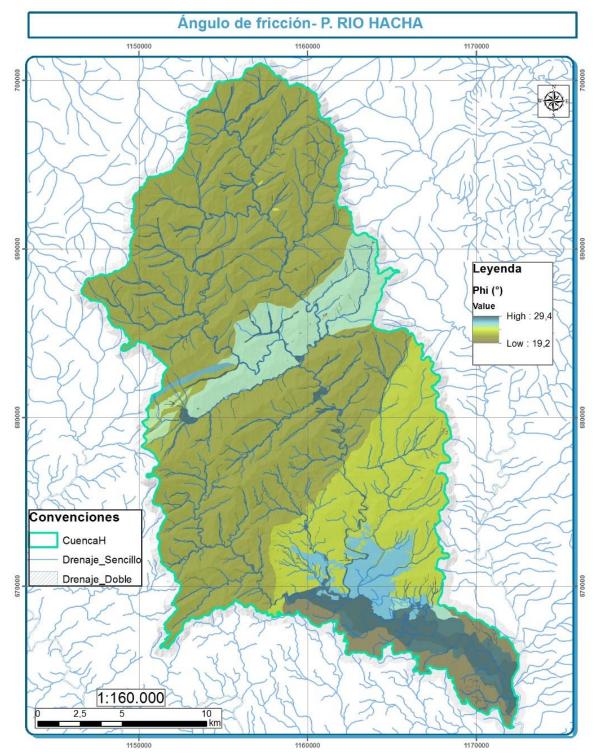


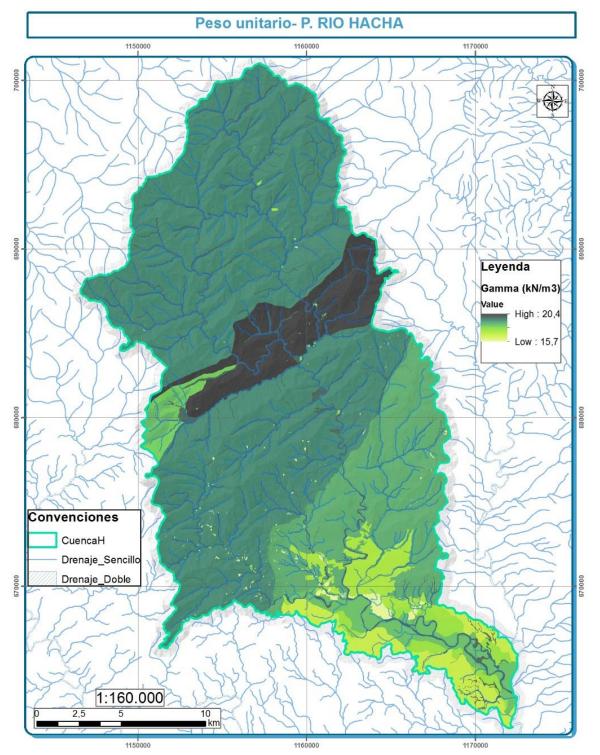








Figura 49. Parámetro de peso unitario de suelos











7.7.7 Zonificación de la amenaza por movimientos en masa

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

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

En la parte norte se presentan pendientes relativamente mayores y niveles moderados de espesor de láminas de agua para los diferentes periodos de retorno. Así mismo, se observan valores geomecánicos menores que dan mayor propensividad a la inestabilidad de taludes de las unidades geológicas superficiales. En sectores del oeste de la cuenca se presentan rangos de amenaza alta, que se logran contrastar en algunos sectores por el resultado del coeficiente de aceleración sísmica de la cuenca. Por otra parte, en la cuenca baja existe una variación relativamente baja de pendientes y unidades litológicas recientes de origen fluvial y metamórfico que se reflejan en parámetros de roca y suelo que favorecen la estabilidad de los taludes en este sector.

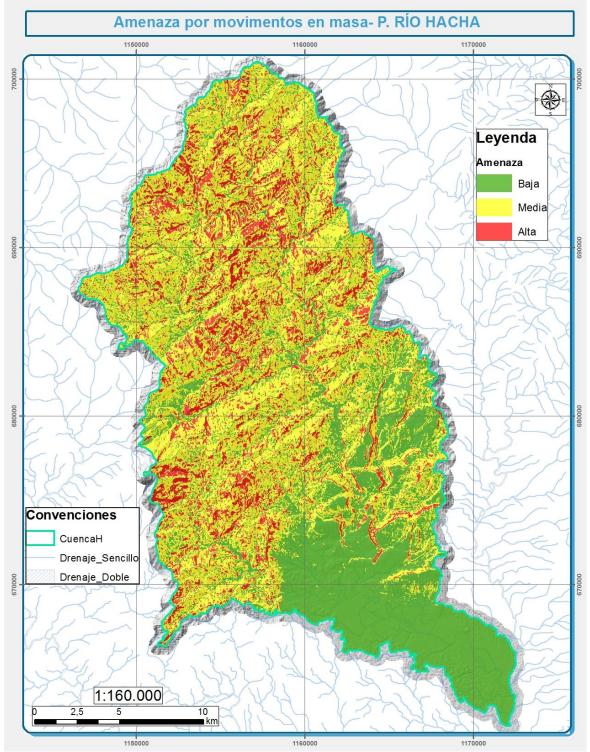








Figura 50. Amenaza por movimientos en masa







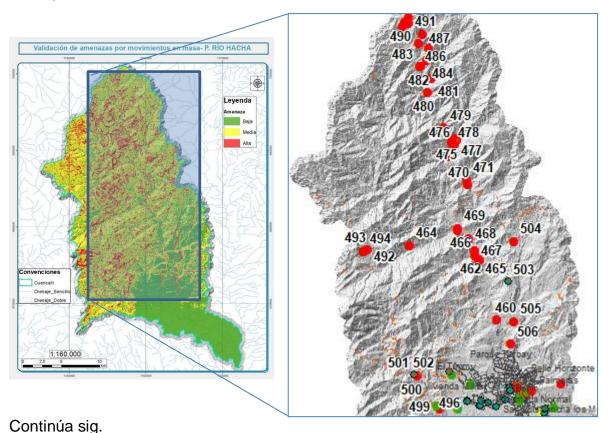




7.7.8 Validación en campo de la condición de amenaza por movimientos en masa

Una vez obtenida la zonificación de amenaza se realizó un trabajo de campo para la validación de los resultados buscando verificar las tres zonas de amenaza: alta, media y baja. Se verificaron 59 puntos en tierra distribuidos en la cuenca (ver Anexo 7.14 Campo de validación) y tres vuelos con drone sobre el río Hacha y la quebrada la Perdiz con los cuales se encontró un buen resultado del ejercicio de zonificación. 13 de los 59 puntos evaluados no coincidieron en los cuales la amenaza calculada arrojó calificación baja cuando en campo se veía representada al menos una condición media, los demás puntos identificados coincidieron en la existencia o ausencia de amenaza. En la Figura 51 se ilustra la verificación de las condiciones de amenaza encontradas en el territorio en contraste con la zonificación calculada.

Figura 51. Validación en campo de la condición de amenaza por movimientos en masa para la cuenca del río Hacha

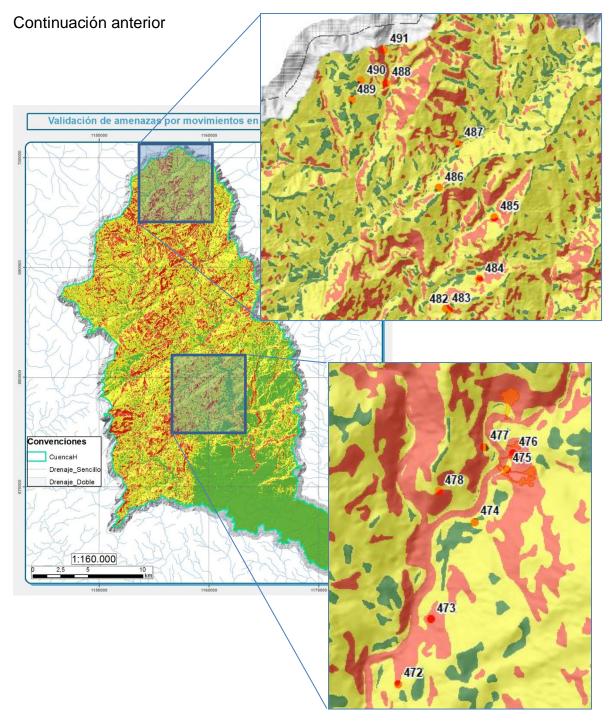












Continúa sig.

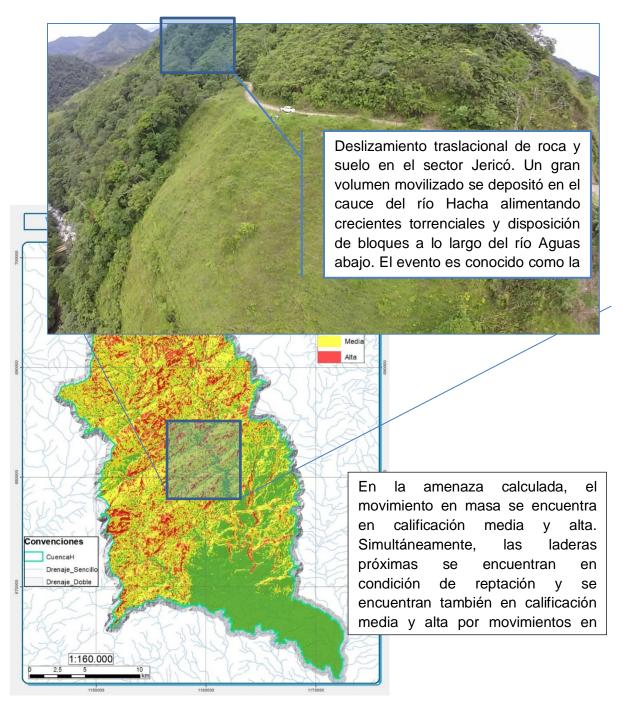








Continuación anterior



Continúa sig.

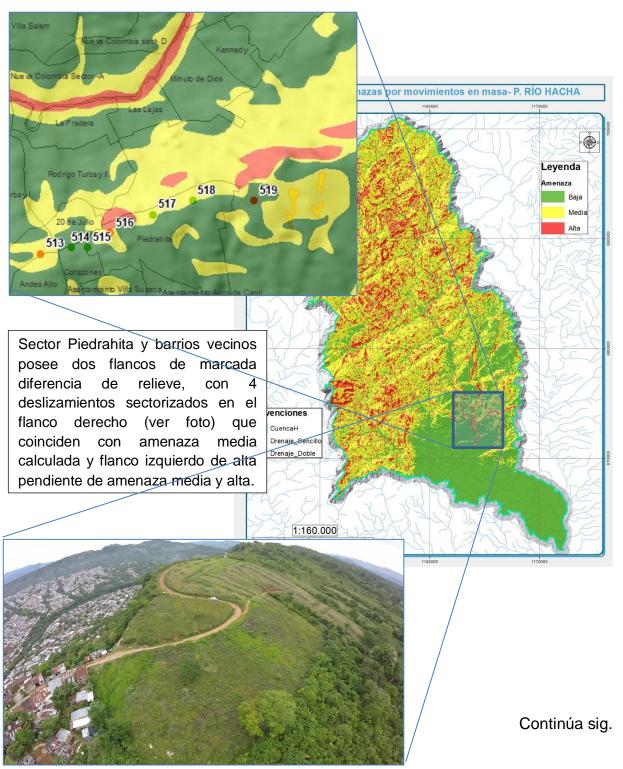








Continuación anterior



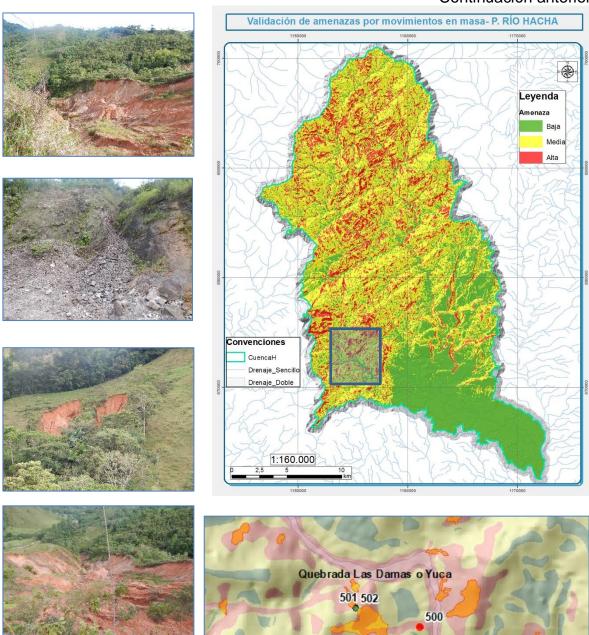








Continuación anterior



Deslizamientos de importantes proporciones presentan calificación de amenaza alta. En las fotografías se muestran los que habrían aportado material térreo a las avenidas torrenciales ocurridas en la quebrada La Yuca. Se observa movimiento en masa en la vía en cruce con zona de falla geológica.









Los resultados de amenaza por movimientos en masa indican que este tipo de fenómeno es en extensión el que más afectaría la cuenca. No obstante, hay que recordar que estos no se generan simultáneamente en toda su extensión, por lo cual se considera como recurrente pero de bajo impacto. La mayoría de la zona de ladera se califica con amenaza al menos media, esto es prácticamente todo el centro y norte de la cuenca. Una tercera parte (31,6 %) del territorio, especialmente concentrado en el sur se encuentra en amenaza baja (15819,6 ha), aproximadamente la mitad (52,4 %) del área se encuentra en amenaza media (26215,2 ha), y cerca de un 16% de la cuenca (7995,4 ha) se encuentra en amenaza alta en donde las condiciones geológicas y el comportamiento geomecánico de materiales no presente la suficiente resistencia para garantizar la estabilidad de las laderas fuertemente inclinadas en condiciones extremas de sismo y lluvia.

7.8 IDENTIFICACIÓN, CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FENÓMENOS AMENAZANTES Y EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR INUNDACIONES

El análisis de inundaciones para la cuenca hidrográfica del río Hacha se realizó con base en los datos obtenidos a partir de información secundaria y de campo. Se empleó la metodología sugerida por el Protocolo mencionado con anterioridad 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.

7.8.1 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 desplaye de las aguas de un río, estas fueron categorizadas según la relación con la actividad fluvial (antigua, efímera o activa).

7.8.2 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 Hacha fueron la localización de inundaciones (LIN) y los factores condicionantes (Subunidades Geomorfológicas y Unidades de Terreno) como se ilustra en la Figura 52.

Figura 52. Variables que determinan a la zonificación de la susceptibilidad a la amenaza por inundaciones



Fuente: Ecointegral. Contrato N°0390 de 2016

7.8.2.1 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 (INUNHIST) 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 Hacha, la mayor incidencia por inundaciones está estrechamente relacionada a las principales corrientes hídricas como lo son el río Hacha, y las quebradas el Dedo, la Yuca y la Perdiz.









7.8.2.2 Factores condicionantes. Dentro de ellos se encuentran los siguientes:

• Subunidades geomorfológicas (UG). 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 inundarse según la temporalidad de 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 53 y Tabla 20).

Tabla 20. Susceptibilidad por subunidades geomorfológicas a inundaciones

ID_UN_GEOM	OBSERV	CALIF
Ar	Planos y campos de llenos antrópicos	Media
Dft	Cono o lóbulo de flujo indiferenciado	Baja
Dldi	Lomeríos disectados	Baja
Fbc	Barra compuesta	Media
Fbl	Barras longitudinales	Media
Fbp	Barras Puntuales	Media
Fca	Cauce aluvial	Alta
Fma	Meandro abandonado	Media
Fpi	Plano o llanura de inundación	Alta
Fta	Terraza de acumulación	Media
Sefcml	Espolón faceteado moderado de longitud larga	Baja
Sesml	Espolón moderado de longitud larga	Baja
Sft	Faceta triangular	Baja
Sgf	Gancho de flexión	Baja
SI	Lomos	Baja
Slcp	Ladera contrapendiente	Baja
Sle	Ladera Estructural	Baja
Ss	Sierra	Baja
Sshlc	Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal	Baja
Sshle	Ladera estructural de sierra homoclinal	Baja

Fuente: Ecointegral. Contrato N°0390 de 2016

Las subunidades geomorfológicas presentes en el área de la cuenca ligadas en su desarrollo a los sistemas fluviales que pueden estar sometidos a procesos de inundación en zonas de bajo relieve que durante la época de lluvias pueden estar asociadas al desborde temporal del río Hacha sobre terrazas o planos de inundación; estas unidades al pertenecer a la dinámica de las corrientes hídricas y estar constituidas por materiales finos arcillosos aumentan su cota de nivel durante



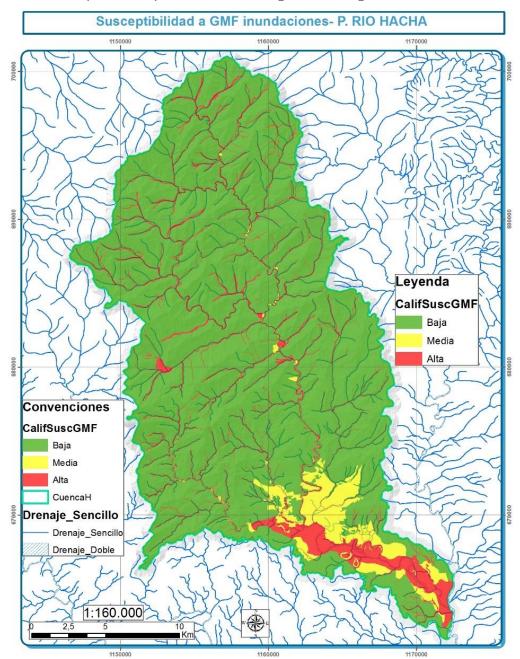






las temporadas de lluvias y afectan planos anegadizos constituyéndolos cómo depósitos fluvio-lacustres (limosos y arcillosos) de encharcamiento temporal, que de manera general bordean las cuencas de decantación generados por el desbordamiento y dinámica natural del río generalmente son susceptibles a inundarse.

Figura 53. Susceptibilidad por subunidades geomorfológicas a inundaciones











• 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 54 y Tabla 21).

Tabla 21. Susceptibilidad por unidades de terreno a inundaciones

ID_UN_GEOM	SUSCEPTIBILIDAD	ID_UN_GEOM	SUSCEPTIBILIDAD	
VIAD	Alta	MFIL	Baja	
VIAM	Alta	MCSR	Baja	
VIAO	Alta	MUSR	Baja	
MEAV	Alta	LLSC	Baja	
MVAV	Alta	ZU	Media	
PVAV	Alta	PAAA	Media	
VIAV	Alta	PAAB	Media	
MCSE	Baja	PAAC	Media	
MFIE	Baja	MEAT	Media	
MUSE	Baja	VT1AP	Media	
MCSF	Baja	VT2AP	Media	
MUSF	Baja	LVAV	Media	

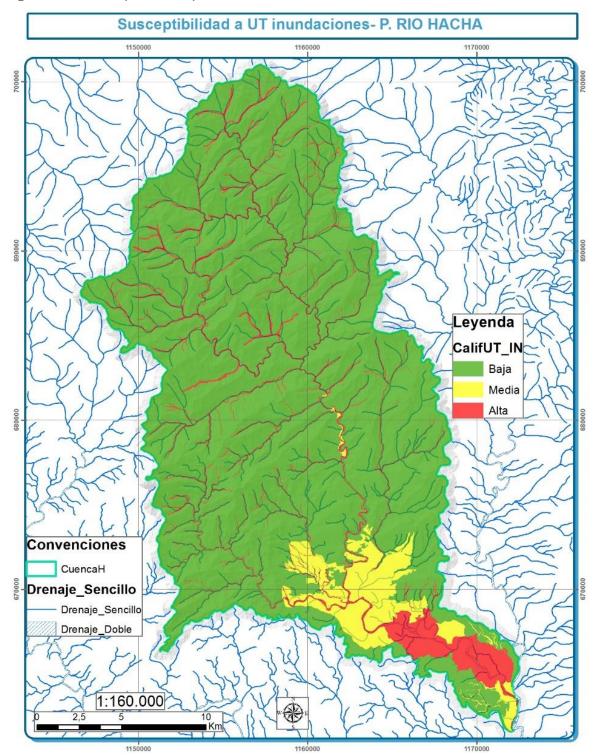








Figura 54. Susceptibilidad por unidades de terreno a inundaciones











7.8.3 Análisis de la zonificación de la susceptibilidad a inundaciones

Para el análisis de la caracterización de las áreas susceptibles a inundación en la cuenca hidrográfica del río Hacha 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 esta cuenca hidrográfica se caracteriza por presentar las mayores elevaciones hacia el noroeste y este de la cuenca que tienden a disminuir hacia la parte central y sur, alcanzando sus menores valores en el valle aluvial y desembocadura del río Hacha en cercanías a la ciudad de Florencia que coincide con el tramo final de sus principales afluentes. Los ambientes fluvio-aluvial y lacustrino predominantes en la zona 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 55); en donde aproximadamente 3.529,01 hectáreas (es decir el 7,05% del área total) se catalogan con una susceptibilidad alta a inundaciones. Dentro de estas áreas se encuentran formas del terreno del paisaje morfogenético de planicie aluvial desarrolladas sobre depósitos aluviales finos, que cuentan con actividad hídrica reciente, de igual forma la proximidad y estrecha relación de los albordones y orillares con la dinámica de las corrientes hídricas las caracteriza como unidades con una alta susceptibilidad a fenómenos de inundación. En el caso puntual de los reportes de la población en donde el valle del río Hacha recibe de sus tributarios durante la temporada de lluvias aportes fluviales y de sedimentos hacen que ciertas zonas (incluyendo algunos barrios subnormales) estén expuestas a fenómenos de inundación y es así como la parte más distal del plano o llanura de inundación (Fpi) de los cuerpos de agua que afectan zonas aledañas a este sector se categoricen con una alta susceptibilidad a inundaciones.

Por otro lado, aproximadamente 4.191,20 hectáreas (es decir el 8,38% del área total) se catalogan con una susceptibilidad media a inundaciones asociados a vegas 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.

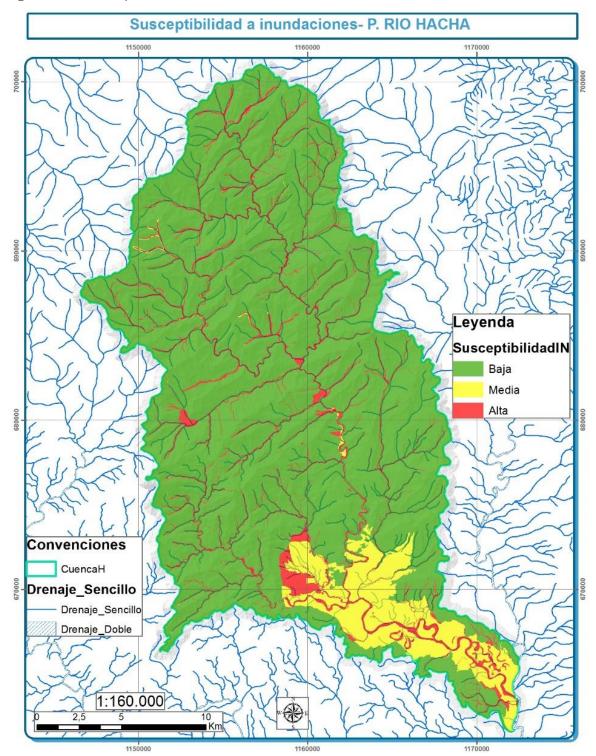








Figura 55. Susceptibilidad a inundaciones











7.8.4 Descripción metodológica para obtener amenaza por inundaciones

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 (Ecointegral, 2017).
- Modelación hidráulica de la quebrada la Sardina (CORPOAMAZONIA -HYLEA LTDA, 2009)
- Modelación hidráulica del río Hacha para la delimitación de la ronda hídrica (CORPOAMAZONIA - Universidad Nacional de Colombia, 2018).
- Zonificación de amenaza por inundación (Alcaldia municipal de Florencia -Corporación Ozono, 2017)
- Efecto morfométrico de confinamiento de cauce en zona de ladera y desconfinamiento en parte baja de la cuenca (Ecointegral, 2017).
- Confluencia de caudales de los cuerpos de agua La Yuca, El Dedo, Hacha y La Perdiz en los barrios La Gloria, La Floresta, Guamal, Juan XXIII Bajo, Puente López e Idema (Ecointegral, 2017).
- Susceptibilidad a inundación del río Orteguaza (Ecointegral, 2017).
- Interpretación de paleoinundaciones del río Hacha y quebrada La Yuca (Ecointegral, 2017).

Los resultados de los estudios mencionados como antecedentes de zonificación de amenaza por inundaciones aportan información complementaria sobre las posibles manchas de inundación de algunos de los principales cuerpos de agua presentes en la cuenca.

Entre los estudios consultados se encuentra la quebrada La Sardina (ver Figura 56) en el que se realizó un análisis hidráulico del cauce en un tramo de la quebrada para definir áreas de exposición y riesgo. Este se empleó para realizar análisis comparativo de calibración de extensión de áreas de amenaza para la quebrada dentro de la evaluación de la amenaza por inundación presentada para el POMCA. A pesar que es una quebrada que tiene pocas zonas de llanura de inundación y terrazas altas, se observa en el estudio áreas de amenaza no descartable a escala









1:25.000 en un cauce que tiene un confinamiento moderado con capacidad de sostener niveles de agua importantes para periodos de retorno de 5, 25 y 100 años.

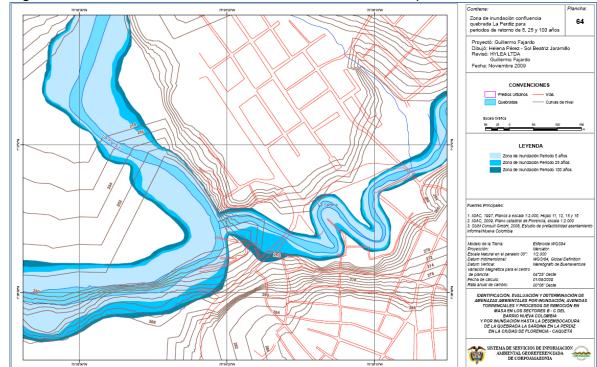


Figura 56. Zonificación antecedente de inundación en la quebrada La Sardina

Fuente: (CORPOAMAZONIA - HYLEA LTDA, 2009)

Posterior al estudio anterior, La Corporación Ozono⁶ realizó la zonificación de amenazas por inundación en el río Hacha y sus afluentes principales urbanos (La Quebrada La Yuca, Quebrada La Sardina y Quebrada El Dedo) obteniendo los resultados mostrados en la Figura 57. Los análisis hidráulicos mostrados tienen algunas limitaciones pero permiten también reconocer las áreas más propensas a inundación en comparación con las demás del territorio, representando un referente de utilidad para la zonificación de amenaza por inundación dentro del proceso de actualización del POMCA del rio Hacha.

Recientemente, Corpoamazonia y la Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia firmaron el convenio interadministrativo 588 del 21 de diciembre de 2016

-

⁶ Informe Técnico Final Estudios Básicos de la Gestión Integral del Riesgo del municipio de Florencia, Caquetá. Presentado por la Corporación Ozono en el marco de la ejecución del Contrato de Consultoría No. 20160002 del 23 de junio de 2016 celebrado con la Alcaldía Municipal de Florencia. Documento en proceso de revisión.









en el marco del cual se realizó el estudio de acotamiento de la Ronda Hídrica del río Hacha en su zona urbana y suburbana, el que a través de modelamiento hidráulico se calcularon las manchas de inundación para distintos periodos de retorno y se definieron zonas de amenaza por inundación en función de la velocidad y profundidad del flujo (Figura 58), lo cual representó un aporte importante para la zonificación de amenaza por inundación presentada para la cuenca, específicamente del cauce principal del río Hacha.

ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN DEL SUELO URBANO - CIUDAD CAPITAL ozono **LEYENDA** Red_Vial Drenaje Sencillo Manzanas Leyenda Temática Zonificación por inundación rectificado TIPO Amenaza Baja Escala: 1:50.000 Amenaza Media Amenaza Alta

Figura 57. Zonificación antecedente de inundación en ríos del área urbana

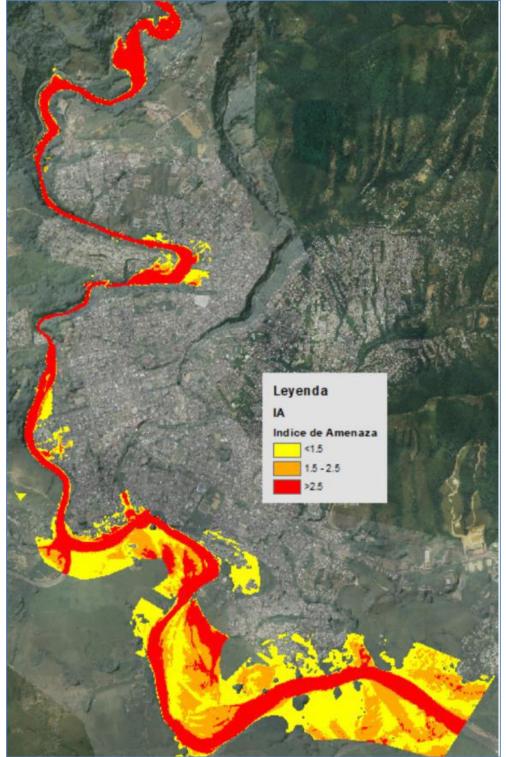
Fuente: (Alcaldia municipal de Florencia - Corporación Ozono, 2017)







Figura 58. Zonificación de inundación antecedente del río Hacha



Fuente: (CORPOAMAZONIA - Universidad Nacional de Colombia, 2018).









7.8.1 Descripción de las variables para obtener amenaza por inundaciones

Las variables que se tuvieron en cuenta para definir la amenaza por 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 59).

Figura 59. Variables para la modelación de la amenaza por inundaciones



Fuente: Ecointegral. Contrato N°0390 de 2016

7.8.1.1 Inundaciones históricas (INUNHIST). 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 parámetro fue analizado con ayuda de la base de datos de eventos que fue estructurada a partir de las diferentes fuentes. 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 22.

Tabla 22. 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: MADS, 2014. Anexo B. Guía para la elaboración de POMCAS, 2015

7.8.1.2 Zonas de susceptibilidad a inundaciones. Provienen 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.





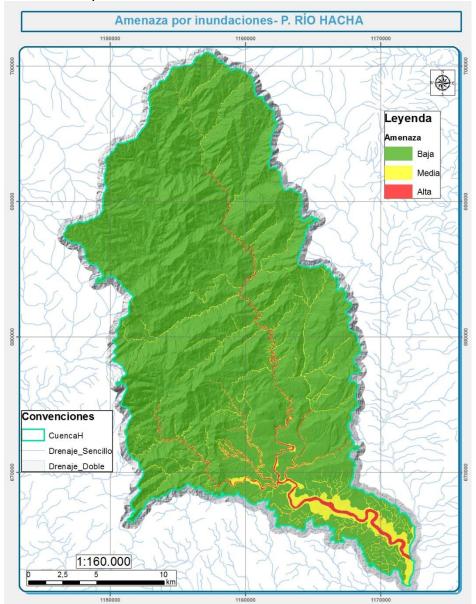




7.8.2 Zonificación de la amenaza a inundaciones

En virtud de la temporalidad de los eventos reportados y georreferenciados por inundaciones e incluyendo la modelación semicuantitativa realizada para evaluar las posibles áreas afectadas por un evento de inundación en algunos tramos del río Hacha se obtiene el mapa de amenaza a inundaciones para la cuenca hidrográfica (ver Figura 60).

Figura 60. Amenaza por inundaciones

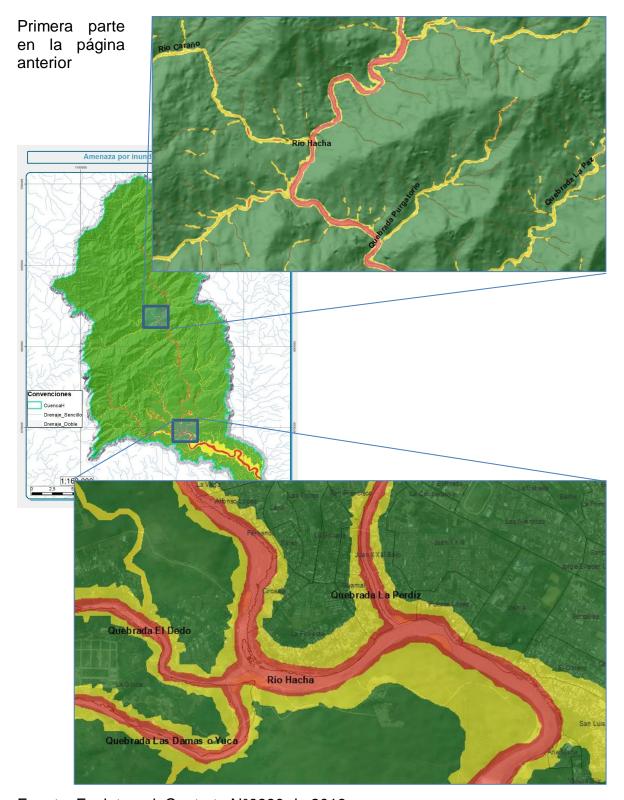


Segunda parte en la siguiente página

















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

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

En la misma Figura 60 se puede observar con mayor detenimiento, así como en el mapa anexo de amenaza por inundación el efecto de los estudios antecedentes descritos y aplicar criterios adicionales a los requeridos por el alcance del POMCA. La zonificación resultante permite identificar en escala regional las áreas de posible afectación por inundaciones en el caso de crecientes en temporadas de altas precipitaciones.

En términos generales de proporciones, el 92,3% de la extensión de la cuenca (correspondiente a 46.170,8 ha) presenta amenaza baja por inundaciones. No obstante, las áreas de amenaza media (6,1% o 3062,1 ha) y alta (1,6% o 797,4 ha), aun cuando no son proporcionalmente altas, deberá notarse que se encuentran en áreas urbanas pobladas y la parte baja de la cuenca, lo que representaría algunas condiciones de riesgo que se consideran más adelante.

7.9 IDENTIFICACIÓN, CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FENÓMENOS AMENAZANTES Y EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES

7.9.1 Descripción metodológica para obtener susceptibilidad a avenidas torrenciales

La zonificación de la susceptibilidad se realizó a través del análisis de las características morfométricas e hidrológicas de cada subcuenca y/o microcuenca hidrográfica, identificada y caracterizada dentro de la cuenca hidrográfica del río Hacha. Para las microcuencas que conforman la subzona hidrográfica se calculó el Índice de Melton, con el propósito de clasificar la torrencialidad de cada una de ellas. Se empleó la siguiente ecuación y los cálculos hacen parte del mapa de microcuencas:









Índice de Melton =
$$(H_{max} - H_{min}) \times S^{-0.5}$$

Donde Hmax y Hmin son la cota de altura máxima y mínima de la microcuenca y S, es el área de la microcuenca. De tal forma que una microcuenca presenta torrencialidad cuando el índice de Melton presenta valores superiores a 0,35.

Otra variable a evaluar fue el Índice de Variabilidad a Eventos Torrenciales (IVET), el cual se calculó en este caso para las microcuencas abastecedoras 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
- 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 IDEAM, para la metodología ERA que se ilustran en la Tabla 23. La correlación de estas tres categorías define el índice morfométrico como se muestra en la Tabla 24.

Tabla 23. Relaciones para categorizar índices morfométricos

Índice morfométrico	Área de la		Categorías				
indice monometrico	ESCAIA	cuenca km2	1	2	3	4	5
Densidad de	1:100.000	> 50	<1.00	1,01 - 1,50	1,51 - 2,00	2,01 - 2,50	>2,51
drenaje (km/km2)			Baja	Moderada	Moderada Alta	Alta	Muy Alta
Pendiente media de	1:100.000	> 50	<15	16 - 30	31 - 45	46 - 65	> 65
la cuenca (%)			Accidentado	Fuerte	Muy Fuerte	Escarpado	Muy Escarpado
			>1.51	1,376 - 1,500	1,251 - 1,375	1,126 - 1,250	1,00 - 1,125
Coeficiente de compacidad			Oval - oblonga a rectangular - oblonga	Oval - redond oblonga	a a oval -	Casi redonda	a oval - redonda

Fuente: IDEAM, 2013









Tabla 24. Relaciones entre variables para el índice morfométrico

	Pendiente media de la cuenca							
		1	2	3	4	5		
		111	121	131	141	151	1	
		112	122	132	142	152	2	
	1	113	123	133	143	153	3	
		114	124	134	144	154	4	
		115	125	135	145	155	5	
		211	221	231	241	251	1	
		212	222	232	242	252	2	
	2	213	223	233	243	253	3	
Φ		214	224	234	244	254	4	Ф
drenaje		215	225	235	245	255	5	de forma
<u>e</u>		311	321	331	341	351	1	9
0		312	322	332	342	352	2	qe
de	3	313	323	333	343	353	3	te
lac		314	324	334	344	354	4	ien
Densidad		315	325	335	345	355	5	Coeficiente
e e		411	421	431	441	451	1	oe O
		412	422	432	442	452	2	O
	4	413	423	433	443	453	3	
		414	424	434	444	454	4	
		415	425	435	445	455	5	
		511	521	531	541	551	1	
		512	522	532	542	552	2	
	5	513	523	533	543	553	3	
		514	524	534	544	554	4	
		515	525	535	545	555	5	
			Muv Δlta		Raja		Musz	Raia

Muy Alta Baja Moderada Muy Baja

Fuente: Rivas y Soto, 2009; en IDEAM, 2013

Una vez categorizado tanto el índice morfométrico como el índice de variabilidad (IV), es posible definir (mediante su relación) el Índice de Variabilidad a Eventos Torrenciales (IVET), como se observa en la Tabla 25.

Tabla 25. Clasificación del Índice de Vulnerabilidad Frente a Eventos Torrenciales-IVET

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

Fuente: IDEAM, 2013







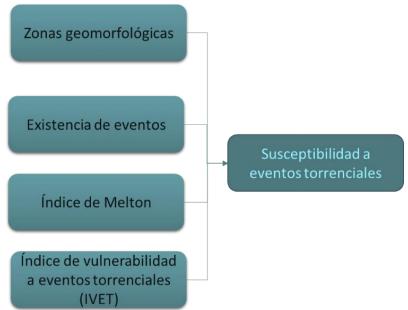


Finalmente, para zonificar la susceptibilidad se utilizan pruebas lógicas de tipo OR en dónde se seleccionan microcuencas con Índice de Melton mayores a 0.3 y zonas que presenten calificaciones de IVET medias, altas y muy altas.

7.9.2 Descripción de las variables para obtener susceptibilidad a avenidas torrenciales

Las variables que se tienen en cuenta para determinar las zonas en las cuales el caudal y la forma puedan generar eventos torrenciales son el Índice de Melton y el Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET), como se ilustra en la Figura 61.

Figura 61. Variables que determinan a la zonificación de la susceptibilidad por avenidas torrenciales



Fuente: Ecointegral. Contrato N°0390 de 2016

7.9.2.1 Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET). Hace referencia al grado de susceptibilidad de una cuenca, o en este caso microcuencas y subcuencas, a presentar eventos torrenciales. Este índice depende de dos variables, el índice de variabilidad (IV) y el índice morfométrico, por medio de los cuales se estima la influencia de la morfometría y de los caudales en la existencia de un evento torrencial (Figura 62).

Formato: vector.

Fuente: componentes morfometría, hidrología e hidrografía.







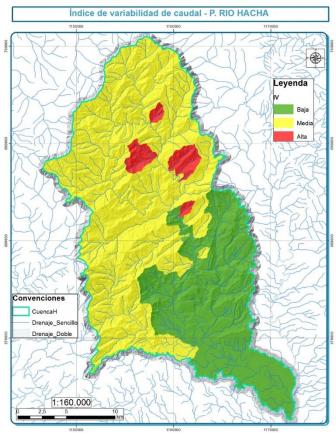


Figura 62. Índices implícitos en el cálculo del Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales - IVET



• **Índice de variabilidad**. Tras evaluar cada una de las microcuencas no se encontraron cambios muy bruscos en el caudal medido durante un intervalo de tiempo, por lo que el índice de variabilidad es moderado. A partir de estos valores, se asignan características de baja variabilidad a las subzonas hidrográficas, como se observa en la Figura 63.

Figura 63. Índice de variabilidad de caudal





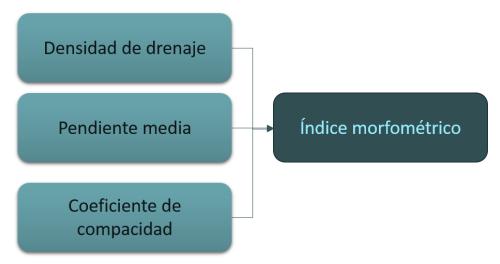






• Índice Morfométrico. Se estima teniendo en cuenta tres categorías fundamentales (densidad de drenaje, pendiente media y coeficiente de compacidad) como se ilustra en la Figura 64. Las microcuencas presentan alta densidad de drenaje, moderada densidad de disección y, según Horton, respuesta hidrológica rápida con grandes contrastes topográficos entre ellas. Las pendientes medias se caracterizan por ser leves pues tiene valores que oscilan entre 5% y 15%. En conjunto la alta densidad de drenaje, las pendientes bajas y la baja tendencia a concentrar fuertes volúmenes de agua dotan a las microcuencas con medianos a muy bajos índices morfométricos (ver Figura 65).

Figura 64. Categorías necesarias para calcular el índice morfométrico



Fuente: Ecointegral. Contrato N°0390 de 2016

• Análisis del índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET). Teniendo en cuenta que el índice morfométrico presenta valores moderados a muy bajos y que el índice de variabilidad es predominantemente medio y alto, la mayoría de microcuencas que integran la cuenca del rio Hacha tienen en general una alta susceptibilidad a presentar eventos torrenciales, como se observa en la Figura 66.









Figura 65. Índice de morfométrico

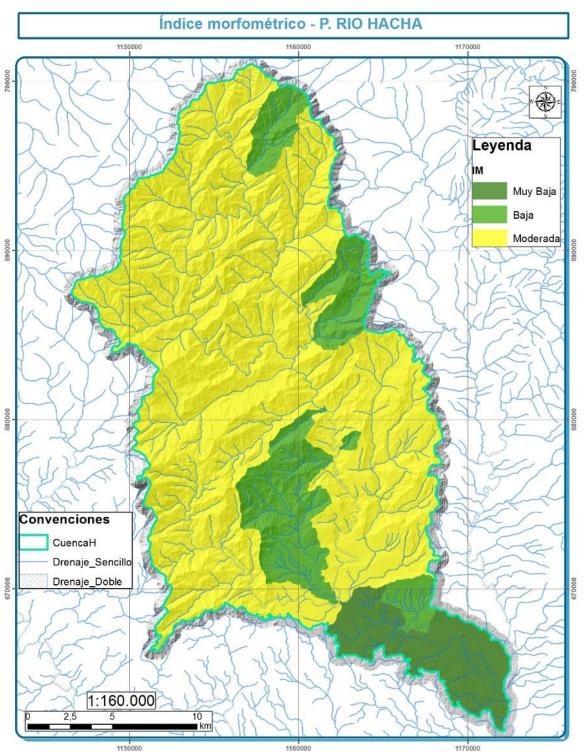


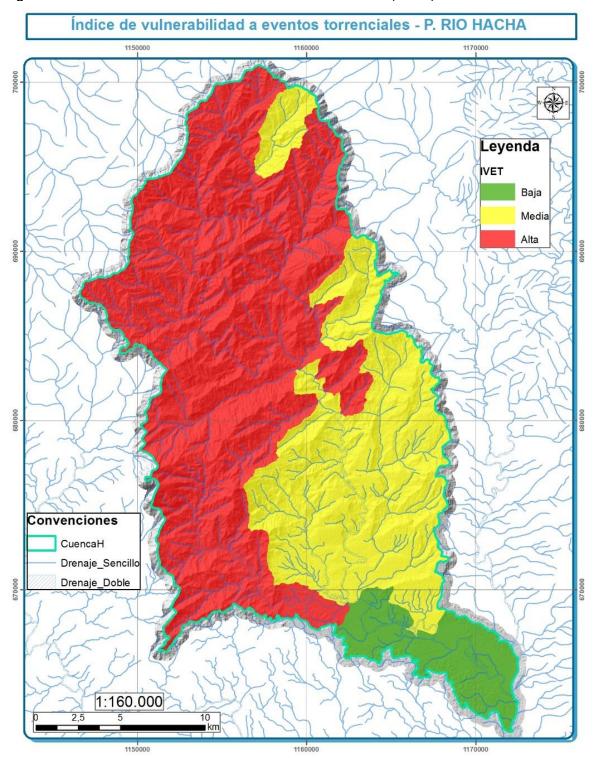








Figura 66. Índice vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET)







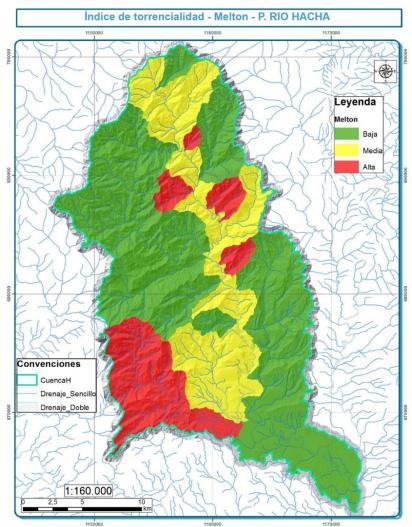




7.9.2.2 Índice de Melton (IMELTON). Hace referencia al grado de susceptibilidad de una cuenca a presentar eventos torrenciales y permite comprender la influencia de la morfometría en la posible existencia de un evento torrencial. En general, los valores del índice de Melton obtenidos para las microcuencas que constituyen la cuenca hidrográfica del río Hacha son medios o lo suficientemente relevantes para considerar evaluar la parte norte de la cuenca por eventos torrenciales, asumiendo valores entre 0,01 y 0,90 referencia al grado de susceptibilidad de una cuenca a presentar eventos torrenciales (calculado en este caso de cada una de las microcuencas) (Figura 67). Su importancia radica en que permite estimar la influencia de la morfometría en la posible existencia de un evento torrencial.

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

Figura 67. Índice de torrencialidad de Melton











7.9.2.3 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 (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, definidas, por el Consultor, para el área de la cuenca hidrográfica del río Hacha, y unidades de terreno según Zinck aunque de estas últimas no se encontraron geoformas asociadas a este tipo de procesos.

• 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 (SGC, 2012); siendo esta última característica la que permite determinar las áreas susceptibles a presentar un evento torrencial según la temporalidad del proceso (activos, intermitentes o antiguos). Este parámetro fue analizado con base en las unidades geomorfológicas según Carvajal (ver Tabla 26 y Figura 68). La información se maneja en formato vector tipo polígono.

Tabla 26. Susceptibilidad de subunidades geomorfológicas a eventos torrenciales

ID_UN_GEOM	SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA	Cal_AT
Ar	Planos y campos de llenos antrópicos	Baja
Dft	Cono o lóbulo de flujo indiferenciado	Media
Dldi	Lomeríos disectados	Baja
Fbc	Barra compuesta	Media
Fbl	Barras longitudinales	Media
Fbp	Barras Puntuales	Baja
Fca	Cauce aluvial	Alta
Fma	Meandro abandonado	Baja
Fpi	Plano o llanura de inundacion	Media
Fta	Terraza de acumulación	Alta
Sefcml	Espolón faceteado moderado de longitud larga	Baja
SesmI	Espolón moderado de longitud larga	Media
Sft	Faceta triangular	Media
Sgf	Gancho de flexión	Alta
SI	Lomos	Baja
Slcp	Ladera contrapendiente	Baja
Sle	Ladera Estructural	Baja
Ss	Sierra	Baja
Sshlc	Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal	Baja
Sshle	Ladera estructural de sierra homoclinal	Baja

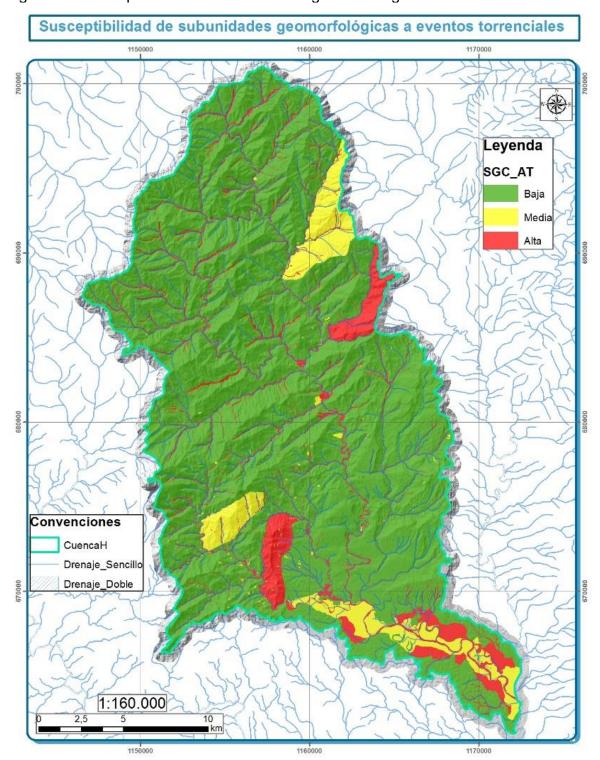








Figura 68. Susceptibilidad de subunidades geomorfológicas a eventos torrenciales











Las subunidades geomorfológicas presentes que generalmente son susceptibles a presentar un evento 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 del río Hacha 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 cómo 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 del río.

Unidades del 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 esta amenaza. Este parámetro fue analizado con base en las unidades de terreno según Zinck (1989), definidas para el área de la cuenca hidrográfica del río Hacha (Tabla 27y Figura 69).

Tabla 27. Susceptibilidad de unidades del terreno a eventos torrenciales

ID_UN_GEOM	Cal_AT	ID_UN_GEOM	Cal_AT
LLSC	Baja	MVAV	Alta
LVAV	Media	PAAA	Baja
MCSE	Alta	PAAB	Baja
MCSF	Media	PAAC	Baja
MCSR	Baja	PVAV	Media
MEAT	Baja	VIAD	Baja
MEAV	Media	VIAM	Baja
MFIE	Baja	VIAO	Baja
MFIL	Baja	VIAV	Media
MUSE	Alta	VT1AP	Baja
MUSF	Baja	VT2AP	Baja
MUSR	Baja	ZU	Baja

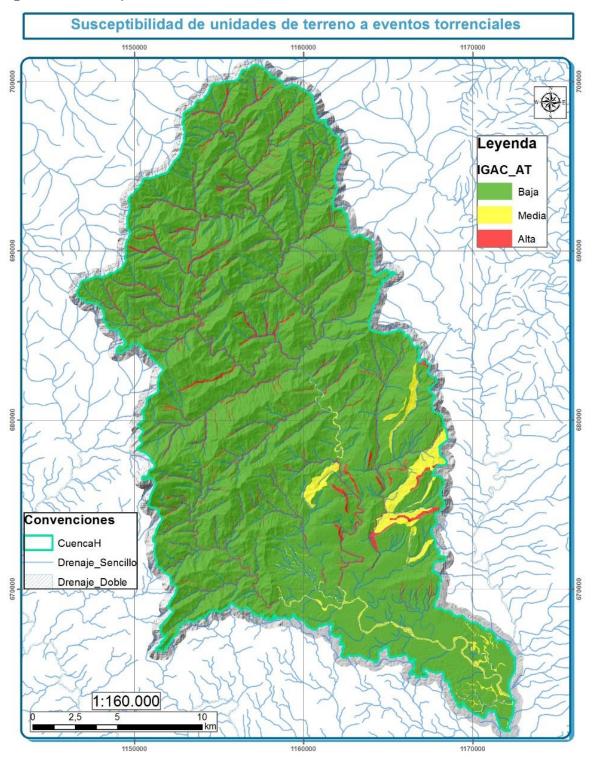








Figura 69. Susceptibilidad de unidades del terreno a eventos torrenciales











7.9.2.4 Eventos (LOC_AT). 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 realizo 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 de eventos estructurada en el proceso de actualziación del POMCA del rio Hacha. 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.

7.9.3 Zonificación de la susceptibilidad a avenidas torrenciales

Con base en los valores del Índice de Melton, 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 microcuencas que componen la cuenca hidrográfica del río Hacha con susceptibilidad baja, media y alta por avenidas torrenciales, como se espacializa en la Figura 70.

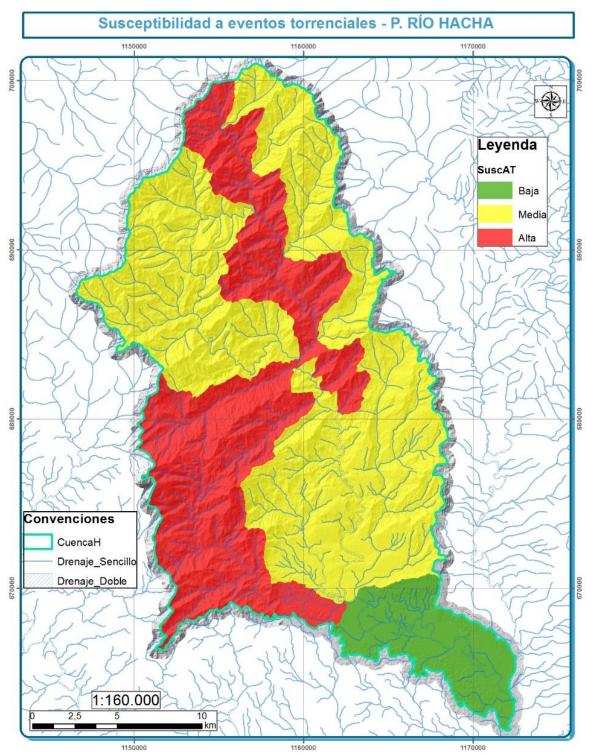








Figura 70. Susceptibilidad a eventos torrenciales











7.9.4 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 microcuencas 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.

7.9.5 Descripción de las variables para obtener susceptibilidad a avenidas torrenciales

Las variables que se tuvieron en cuenta para definir la amenaza a avenidas torrenciales en la cuenca hidrográfica del río Hacha 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 71).









Figura 71. Variables para la modelación de la amenaza por avenidas torrenciales



7.9.5.1 Localización de Avenidas Torrenciales (LAT). 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 Hacha. Estos registros son fundamentales pues a partir de ellos se castiga y valida la zonificación de amenaza.

Las avenidas torrenciales históricas (AVTORHIST) 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. 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 29.

Tabla 29. 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.









- 7.9.5.2 Zonas de susceptibilidad a avenidas torrenciales. Provienen 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.
- 7.9.5.3 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.

7.9.6 Análisis de la zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales

Una vez identificada la susceptibilidad a avenidas torrenciales, las microcuencas 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 la microcuenca 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 microcuenca, 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 relacione con zonas de amenaza media o alta por movimientos en masa, se califican con amenaza media o alta por avenidas torrenciales y baja si tienen alguna susceptibilidad pero se relacionan con amenaza baja por movimientos en masa (Figura 72).

La amenaza por avenidas torrenciales es específica en la cuenca pues la mayoría del área realmente está expuesta a amenaza baja (94,2% correspondiente a 47131,0 ha). Particularmente, la condición de amenaza se centra en cuerpos de agua de comportamiento torrencial y que en su área de influencia se encuentran materiales de 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 de la quebrada La Yuca, El Dedo, La Perdiz, rio Orteguaza y el mismo río Hacha, entre otros. La condición de amenaza alta se extiende a casi 1.000 ha (1,9%) y media a casi 2.000 ha (3,9%).

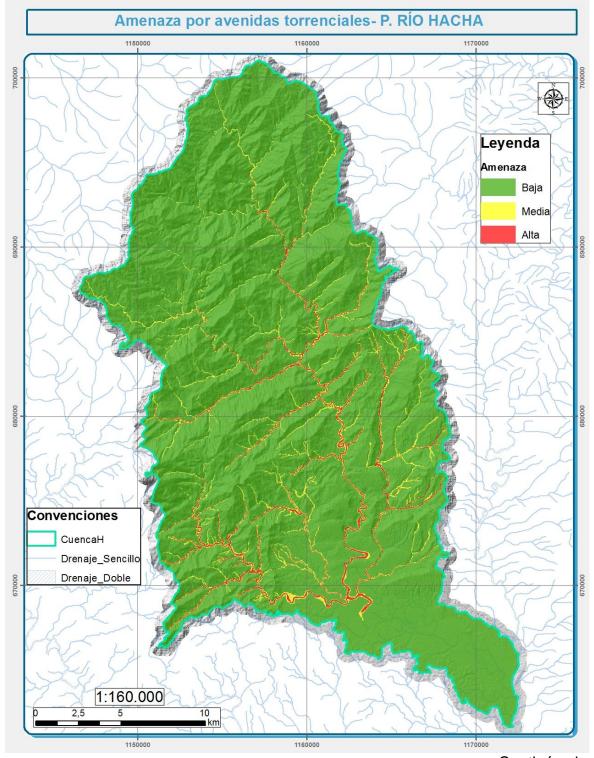








Figura 72. Amenaza por avenidas torrenciales



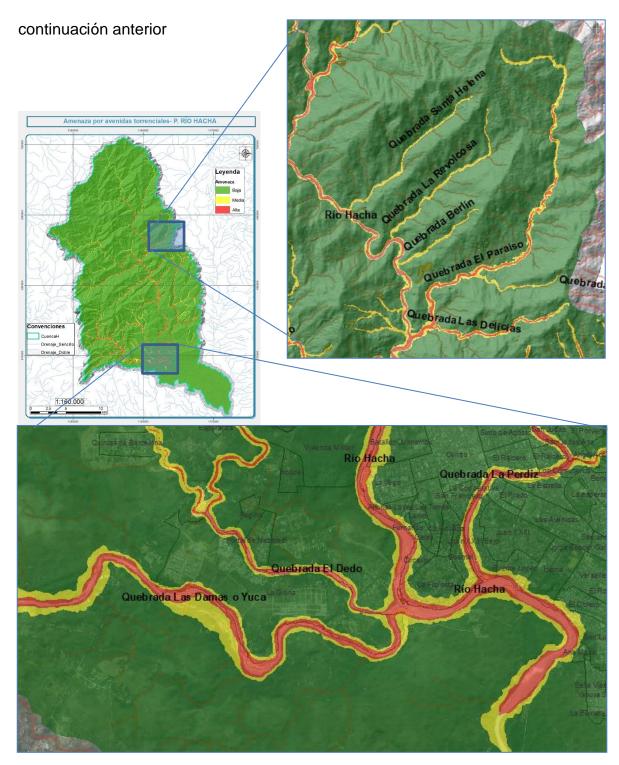
Continúa sig.



















7.10 IDENTIFICACIÓN, CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FENÓMENOS AMENAZANTES Y EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR INCENDIOS FORESTALES

Los incendios forestales constituyen uno de los más importantes eventos que afectan el medio ambiente, la economía y la seguridad de las comunidades, razón por la cual es indispensable la identificación de zonas de susceptibilidad y amenaza, así como las medidas de prevención, mitigación y concientización con la comunidad sobre la prevención y alternativas a malas prácticas agrícolas.

Según información del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial cada año en Colombia se ven afectadas en promedio 42.000 hectáreas por causa de incendios forestales (MAVDT, 2010).

Los incendios de coberturas vegetales son eventos que impactan en ocasiones de manera irreversible las condiciones de las cuencas hidrográficas, en general están asociados a descuidos y malos hábitos de las personas, pero su propagación se hace casi incontenible cuando se presentan condiciones biofísicas particulares. Constituyen sucesos que afectan la ecología, la economía, los medios de vida y la seguridad de las comunidades, por lo cual su consideración es indispensable, de manera que se establezcan medidas de prevención, mitigación y concientización sobre los efectos y requerimientos de mejores prácticas en el manejo de las coberturas vegetales nativas y/o exóticas. En el departamento de Caquetá, la afectación por incendios es poco recurrente aunque sus valores sean en número y afectación muy diferente a lo largo de las diferentes vigencias.

7.10.1 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 Hacha 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 (IDEAM, 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 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 estas variables para facilitar el proceso de la implementación de la función de pesos para dicho modelo.

7.10.2 Descripción de las variables para el cálculo de susceptibilidad a incendios forestales

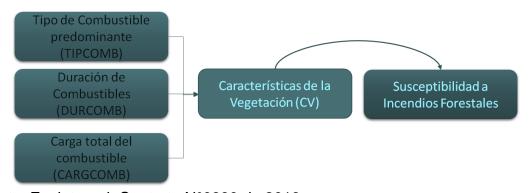
La susceptibilidad de la cobertura vegetal, se analiza mediante la identificación y valoración de la condición pirogénica de la vegetación, según lo propuesto en el modelo de combustibles desarrollado para Colombia por Páramo, 2007.

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. (IDEAM, 2011).

El modelo de combustibles implementado se estructuró mediante una clasificación jerárquica, conformada por los siguientes factores (ver Figura 73):

- Tipo de combustible vegetal predominante por bioma y ecosistema: Tipo de cobertura t vegetal y biotipo dominante.
- Duración del tipo de combustible dominante: duración en horas de cada tipo de t 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 73. Variables que determinan a la zonificación de la susceptibilidad de la cobertura vegetal a sufrir incendios forestales











Características de la Vegetación (CV)

 Tipo de Combustible (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.

Este parámetro fue analizado con base en la interpretación de la cobertura vegetal definidas por el consultor para el área de la cuenca hidrográfica del río Hacha (Ver Tabla 30).

Tabla 30. Calificación de tipo de combustible para la cobertura vegetal existente en la cuenca del río Hacha

CÓDIGO COBERTURA	TIPO DE COMBUSTIBLE	CALIFICACIÓN TDC	CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD
111	Áreas urbanas	1	Muy baja
112	Áreas urbanas	1	Muy baja
113	Áreas urbanas	1	Muy baja
1221	No combustibles	1	Muy baja
1241	No combustibles	1	Muy baja
13151	No combustibles	1	Muy baja
1412	Pastos	5	Muy alta
2311	Pastos	5	Muy alta
2312	Pastos	5	Muy alta
2312	Pastos	5	Muy alta
2313	Pastos	5	Muy alta
232	Pastos	5	Muy alta
233	Pastos	5	Muy alta
2412	Hierbas	4	Alta
2421	Pastos/hierbas	5	Muy alta
2422	Pastos/hierbas	5	Muy alta
2423	Pastos/hierbas	5	Muy alta
2431	Pastos/hierbas	5	Muy alta
2432	Pastos/hierbas	5	Muy alta
2433	Pastos/hierbas	5	Muy alta
2434	Pastos/hierbas	5	Muy alta
2441	Pastos/hierbas	5	Muy alta
2442	Pastos/hierbas	5	Muy alta









Tabla 30 (Continuación). Calificación de tipo de combustible para la cobertura

vegetal existente en la cuenca del río Hacha

CÓDIGO	n la cuenca del río Hac	CALIFICACIÓN	CATEGORÍA DE
COBERTURA	COMBUSTIBLE	TDC	SUSCEPTIBILIDAD
2443	Pastos/hierbas	5	Muy alta
2453	Pastos/hierbas	5	Muy alta
311111	Arboles	2	Baja
311112	Arboles	2	Baja
311113	Arboles	2	Baja
311121	Arboles	2	Baja
311122	Arboles	2	Baja
311123	Arboles	2	Baja
311211	Arboles	2	Baja
311212	Arboles	2	Baja
312111	Arboles	2	Baja
312112	Arboles	2	Baja
312113	Arboles	2	Baja
31310	Arboles	2	Baja
313111	Arboles	2	Baja
313112	Arboles	2	Baja
313121	Arboles	2	Baja
31321	Arboles	2	Baja
31322	Arboles	2	Baja
3141	Arboles	2	Baja
3142	Arboles	2	Baja
32311	Arboles/arbustos	3	Moderada
32312	Arboles/arbustos	3	Moderada
32313	Arboles/arbustos	3	Moderada
32321	Arboles/arbustos	3	Moderada
32322	Arboles/arbustos	3	Moderada
331	No combustibles	1	Muy baja
333	No combustibles	1	Muy baja
334	No combustibles	1	Muy baja
336	No combustibles	1	Muy baja
411	No combustibles	1	Muy baja
413	No combustibles	1	Muy baja
511	No combustibles	1	Muy baja
512	No combustibles	1	Muy baja
5142	No combustibles	1	Muy baja

Fuente: Ecointegral. Contrato N°0390 de 2016

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



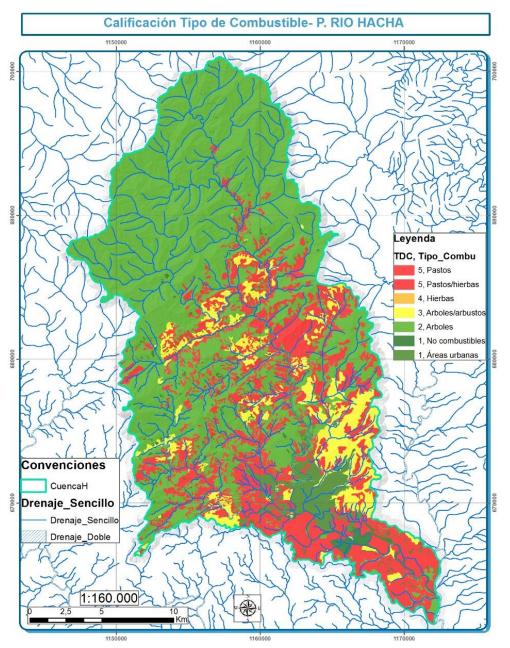






momento de comenzar un proceso de ignición (ver Tabla 30). Se han desarrollado como resultado de condiciones de terreno que influye directamente en el tipo de vegetación presente en la cuenca hidrográfica del río Hacha. Como se observa en la Figura 74 la parte media y baja de la cuenca presenta vegetación altamente combustible y por ende susceptible a procesos de combustión, exceptuando el casco urbano de la ciudad de Florencia.

Figura 74. Tipo de combustible para la cobertura vegetal presente en la cuenca











- Ouración 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 Hacha interpretada y suministrada por el equipo consultor (ver Tabla 31 y Figura 75).

Tabla 31. Calificación de duración de combustible para la cobertura vegetal existente en la cuenca del río Hacha

CÓDIGO DE COBERTURA	DURACIÓN DEL COMBUSTIBLE	CALIFICACIÓN DDC	CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD
111	Áreas urbanas	1	Muy baja
112	Áreas urbanas	1	Muy baja
113	Áreas urbanas	1	Muy baja
1221	No combustibles	1	Muy baja
1241	No combustibles	1	Muy baja
13151	No combustibles	1	Muy baja
1412	1 hora	4	Alta
2311	1 hora	4	Alta
2312	2 hora	4	Alta
2312	3 hora	4	Alta
2313	4 hora	4	Alta
232	1 hora	4	Alta
233	1 hora	4	Alta
2412	10 horas	3	Moderada
2421	1 hora	4	Alta
2422	1 hora	4	Alta
2423	1 hora	4	Alta
2431	1 hora	4	Alta
2432	1 hora	4	Alta
2433	1 hora	4	Alta
2434	1 hora	4	Alta









Tabla 31 (Continuación). Calificación de duración de combustible para la cobertura vegetal existente en la cuenca del río Hacha

CÓDIGO DE COBERTURA	DURACIÓN DEL COMBUSTIBLE	CALIFICACIÓN DDC	CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD
2441	1 hora	4	Alta
2442	1 hora	4	Alta
2443	1 hora	4	Alta
2453	1 hora	4	Alta
311111	100 horas	2	Baja
311112	100 horas	2	Baja
311113	100 horas	2	Baja
311121	100 horas	2	Baja
311122	100 horas	2	Baja
311123	100 horas	2	Baja
311211	100 horas	2	Baja
311212	100 horas	2	Baja
312111	100 horas	2	Baja
312112	100 horas	2	Baja
312113	100 horas	2	Baja
31310	100 horas	2	Baja
313111	100 horas	2	Baja
313112	100 horas	2	Baja
313121	100 horas	2	Baja
31321	100 horas	2	Baja
31322	100 horas	2	Baja
3141	100 horas	2	Baja
3142	100 horas	2	Baja
32311	10 horas	3	Moderada
32312	10 horas	3	Moderada
32313	10 horas	3	Moderada
32321	10 horas	3	Moderada
32322	10 horas	3	Moderada
331	No combustibles	1	Muy baja
333	No combustibles	1	Muy baja
334	No combustibles	1	Muy baja
336	No combustibles	1	Muy baja
411	No combustibles	1	Muy baja
413	No combustibles	1	Muy baja
511	No combustibles	1	Muy baja
E10	No combustibles	1	Muy baja
512	NO COMBUSTIBLES		way baja

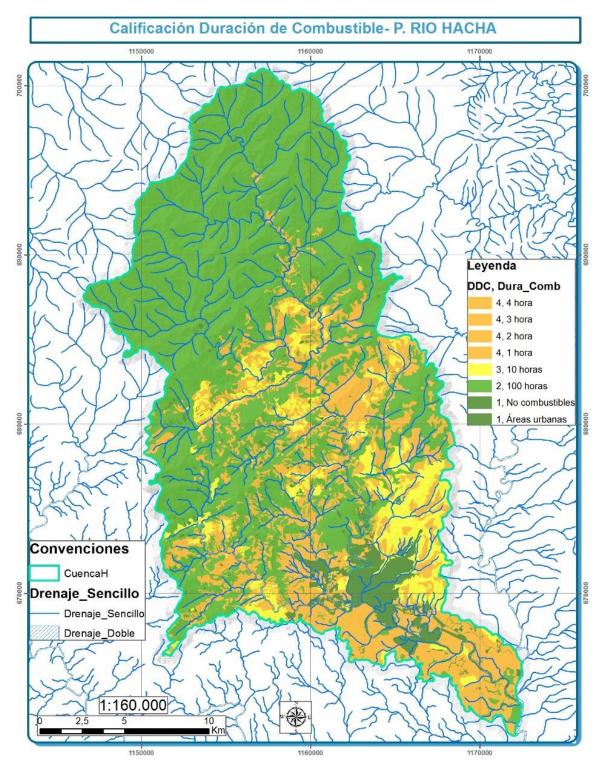








Figura 75. Duración de combustible para la cobertura vegetal











En donde los pastos y los mosaicos de cultivos (Tabla 31) en general presentan el menor tiempo de ignición haciéndolos más susceptibles a propagar un incendio forestal. Se observa la enorme incidencia real que tienen las coberturas que presentan una alta calificación en la cuenca baja con respecto al tiempo de ignición del material.

- Carga total de 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.

Este parámetro fue analizado con base en el tipo de cobertura definida para el área de la cuenca hidrográfica del río Hacha interpretada y suministrada por el equipo consultor (ver Tabla 32).

Tabla 32. Calificación de carga total de combustible para la cobertura vegetal existente en la cuenca del río Hacha

CÓDIGO DE COBERTURA	CARGA TOTAL DE COMBUSTIBLE (TONELADAS/ HECTÁREA)	CALIFICACIÓN CTC	CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD
111	Áreas urbanas (menos de 1 t/ha)	2	Baja
112	Áreas urbanas (menos de 1 t/ha)	2	Baja
113	Áreas urbanas (menos de 1 t/ha)	2	Baja
1221	No combustibles	1	Muy baja
1241	No combustibles	1	Muy baja
13151	No combustibles	1	Muy baja
1412	Baja (1-50 t/ha)	3	Moderada
2311	Baja (1-50 t/ha)	3	Moderada
2312	Baja (1-50 t/ha)	3	Moderada
2312	Baja (1-50 t/ha)	3	Moderada
2313	Baja (1-50 t/ha)	3	Moderada
232	Baja (1-50 t/ha)	3	Moderada
233	Baja (1-50 t/ha)	3	Moderada
2412	Baja (1-50 t/ha)	3	Moderada
2421	Moderada (50-100 t/ha)	4	Alta
2422	Moderada (50-100 t/ha)	4	Alta
2423	Moderada (50-100 t/ha)	4	Alta
2431	Moderada (50-100 t/ha)	4	Alta
2432	Moderada (50-100 t/ha)	4	Alta









Tabla 32 (Continuación). Calificación de carga total de combustible para la cobertura

vegetal existente en la cuenca del río Hacha.

vegetal existente en la cuenca del río Hacha.				
CÓDIGO DE COBERTURA	CARGA TOTAL DE COMBUSTIBLE (TONELADAS/ HECTÁREA)	CALIFICACIÓN CTC	CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD	
2433	Moderada (50-100 t/ha)	4	Alta	
2434	Moderada (50-100 t/ha)	4	Alta	
2441	Moderada (50-100 t/ha)	4	Alta	
2442	Moderada (50-100 t/ha)	4	Alta	
2443	Moderada (50-100 t/ha)	4	Alta	
2453	Moderada (50-100 t/ha)	4	Alta	
311111	Muy alta (más de 100 t/ha)	5	Muy alta	
311112	Muy alta (más de 100 t/ha)	5	Muy alta	
311113	Muy alta (más de 100 t/ha)	5	Muy alta	
311121	Muy alta (más de 100 t/ha)	5	Muy alta	
311122	Muy alta (más de 100 t/ha)	5	Muy alta	
311123	Muy alta (más de 100 t/ha)	5	Muy alta	
311211	Muy alta (más de 100 t/ha)	5	Muy alta	
311212	Muy alta (más de 100 t/ha)	5	Muy alta	
312111	Muy alta (más de 100 t/ha)	5	Muy alta	
312112	Muy alta (más de 100 t/ha)	5	Muy alta	
312113	Muy alta (más de 100 t/ha)	5	Muy alta	
31310	Muy alta (más de 100 t/ha)	5	Muy alta	
313111	Muy alta (más de 100 t/ha)	5	Muy alta	
313112	Muy alta (más de 100 t/ha)	5	Muy alta	
313121	Muy alta (más de 100 t/ha)	5	Muy alta	
31321	Muy alta (más de 100 t/ha)	5	Muy alta	
31322	Muy alta (más de 100 t/ha)	5	Muy alta	
3141	Muy alta (más de 100 t/ha)	5	Muy alta	
3142	Muy alta (más de 100 t/ha)	5	Muy alta	
32311	Moderada (50-100 t/ha)	4	Alta	
32312	Moderada (50-100 t/ha)	4	Alta	
32313	Moderada (50-100 t/ha)	4	Alta	
32321	Moderada (50-100 t/ha)	4	Alta	
32322	Moderada (50-100 t/ha)	4	Alta	
331	No combustibles	1	Muy baja	
333	No combustibles	1	Muy baja	
334	No combustibles	1	Muy baja	
336	No combustibles	1	Muy baja	
411	No combustibles	1	Muy baja	
413	No combustibles	1	Muy baja	
511	No combustibles	1	Muy baja	
512	No combustibles	1	Muy baja	
5142	No combustibles	1	Muy baja	



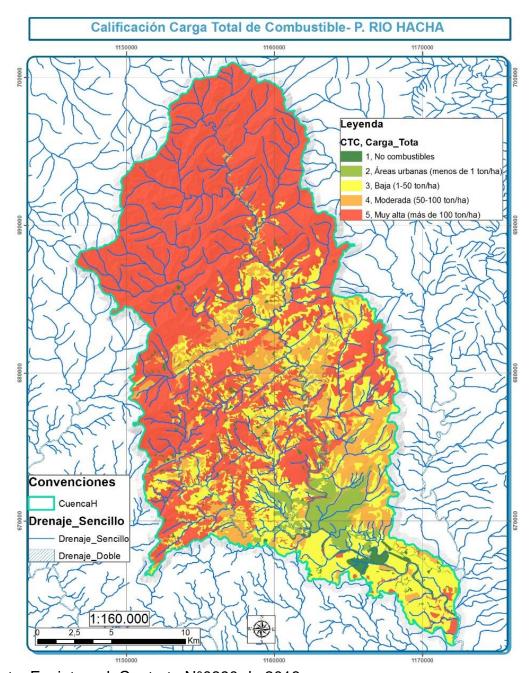






Los bosques, las plantaciones forestales y los cultivos permanentes arbustivos identificados en la cuenca del río Hacha presentan los mayores rangos de carga de combustible como se observa en la Tabla 32 que a su vez cuentan con una alta distribución espacial a lo largo de la cuenca alta (ver Figura 76).

Figura 76. Carga total de combustible para la cobertura vegetal











7.10.3 Análisis de la zonificación de la susceptibilidad a incendios forestales

Para el análisis de la caracterización de las coberturas vegetales susceptibles a incendios forestales en la cuenca hidrográfica del río Hacha, 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 Hacha presenta 11.454,59 hectáreas en susceptibilidad alta (26% aproximado), 34.234,62 hectáreas en susceptibilidad media (68%) y 2.839,07 hectáreas en susceptibilidad baja (6%) por incendios forestales (ver Figura 77).

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 bosques, pastos y vegetación secundaria categorizados como la vegetación que aportan los aumentos más altos en los valores de la susceptibilidad, se encuentran localizados primordialmente en las zonas bajas, sin muchas variaciones topográficas y cercanas a los caudales principales, coincidiendo con la zona de mayor susceptibilidad a incendios forestales por condiciones climáticas (precipitación y clima), exceptuando el casco urbano de la ciudad de Florencia.

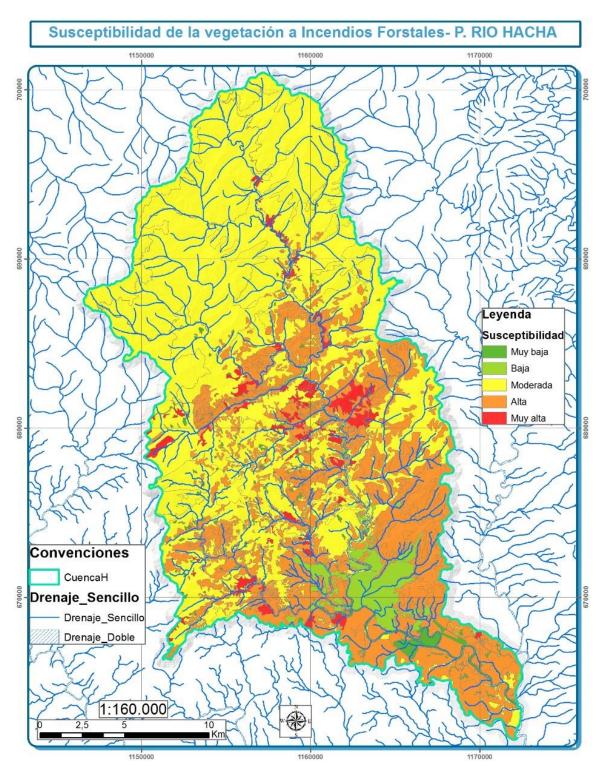








Figura 77. Susceptibilidad de la vegetación a incencios forestales











7.10.4 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 (IDEAM, 2011).

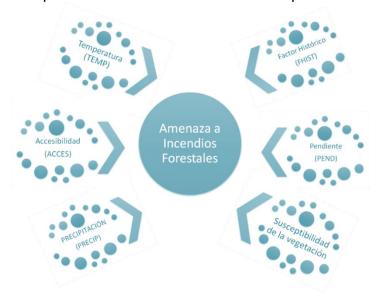
AMENAZA_IF = (SUSCEPTIBILIDAD * 0.25) + (TEMPERATURA * 0.15) + (PRECIPITACIÓN * 0.15) + (ACCESIBILIDAD * 0.14) + (PENDIENTES* 0.16) + (FACTOR HISTÓRICO * 0.15)

Finamente, se procede a realizar el análisis de la zonificación de la amenaza por incendios forestales para la cuenca del río Hacha.

7.10.5 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 Hacha son aquellos factores que contribuyen y detonan un evento por este tipo de amenaza (ver Figura 78).

Figura 78. Variables para la modelación de la amenaza por incendios forestales





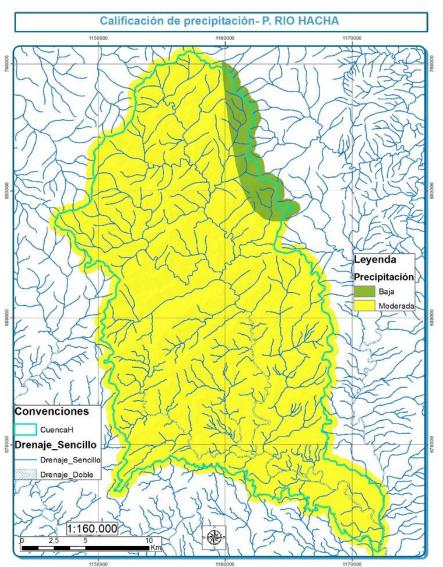






7.10.5.1 Precipitación (PRECIP). Como fue descrita en la susceptibilidad, las bajas precipitaciones presentan una importante relación con la ocurrencia de incendios (Moreno Rodriguez, Rodriguez-Urbieta, Zabala Espiñeira, & Martín, 2015), e incluida dentro de la amenaza por participar como un factor detonante. La precipitación corresponde a una característica cuantitativa que mide la cantidad de lluvia en milímetros acumulada r, esta variable tiene una alta importancia dentro de la susceptibilidad para incendios forestales ya que en la medida en que un territorio tenga épocas secas prolongadas presenta un aumento en la tasa de incendios forestales registrados (Figura 79).

Figura 79. Calificación de la precipitación en función a la amenaza a incendios forestales











Uno de los factores más relevantes a tener en cuenta en la evaluación de amenazas de incendios de la capa vegetal es la precipitación. La humedad permite que una capa vegetal sea más o menos resistente a la generación de procesos de ignición, lo que implica una mayor disponibilidad de material combustible. La cuenca hidrográfica del río Hacha presenta en general calificaciones de precipitación moderadas a lo largo del territorio, factor condicionante al momento de presentarse un incendio de la vegetación

7.10.5.2 Temperatura (TEMP). Como fue descrita en la susceptibilidad, las altas temperaturas presentan una importante relación con la ocurrencia de incendios (Moreno Rodriguez, Rodriguez-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.). Esta variable se trabaja sobre la temperatura media anual de acuerdo con la disponibilidad de información (ver Figura 80 y Tabla 33).

Figura 80. Características del clima (Temperatura) en función a la amenaza a incendios forestales



Fuente: Ecointegral. Contrato N°0390 de 2016

Tabla 33. Indicador temperatura

TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)	CATEGORIA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
Extremadamente frio (<1.5 – 6)	Muy baja	1
Muy frio (6 – 12)	Baja	2
Frio (12 – 18)	Moderada	3
Templado (18 – 24)	Alta	4
Cálido (> 24)	Muy alta	5

Fuente: IDEAM, 2011



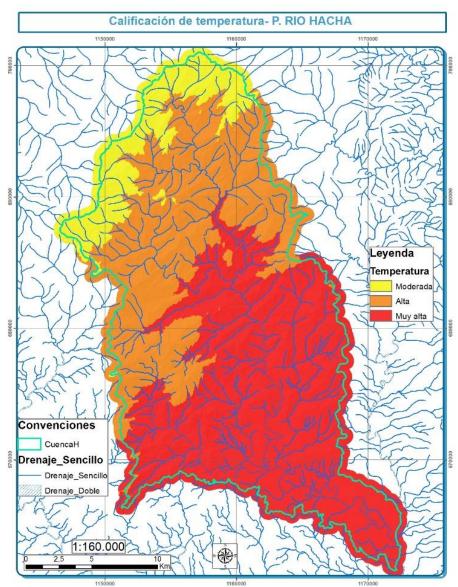






Junto a la precipitación, la temperatura según la metodología del IDEAM es uno de los factores más relevantes a tener en cuenta en la evaluación de amenazas de incendios de la capa vegetal, ya que adicionalmente a ser responsable de generar el fenómeno luminoso capaz de iniciar fenómenos de ignición esta interviene directamente sobre la humedad del sector y la cantidad de combustible disponible para iniciar una ignición. La cuenca hidrográfica del río Hacha se caracteriza por tener un clima cálido a templado, con valores promedios de temperatura cerca a los 25°C (Figura 81).

Figura 81. Calificación de la temperatura en función a la amenaza a incendios forestales











7.10.5.3 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) (ver Figura 82 y Tabla 33).

Figura 82. Características topográficas (PENDIENTE) en función a la amenaza a incendios forestales



Fuente: Ecointegral. Contrato N°0390 de 2016

Tabla 34. Indicador tasa de dispersión

PENDIENTE MEDIA (%)	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
0 – 7	Muy baja	1
7– 12	Baja	2
12 – 25	Moderada	3
25 – 75	Alta	4
>75	Muy alta	5

Fuente: IDEAM, 2011

La cuenca hidrográfica del rio Hacha presenta contrastes de relieves muy escarpados en gran parte de la misma y suaves y moderados hacia el este y sur de la misma en donde predominan los cuerpos de agua mayores del área de estudio y se encuentra la cabecera municipal de la ciudad de Florencia. En proporción predominan los relieves moderados y altos con pendientes entre el 13 y 38% (Figura 83).

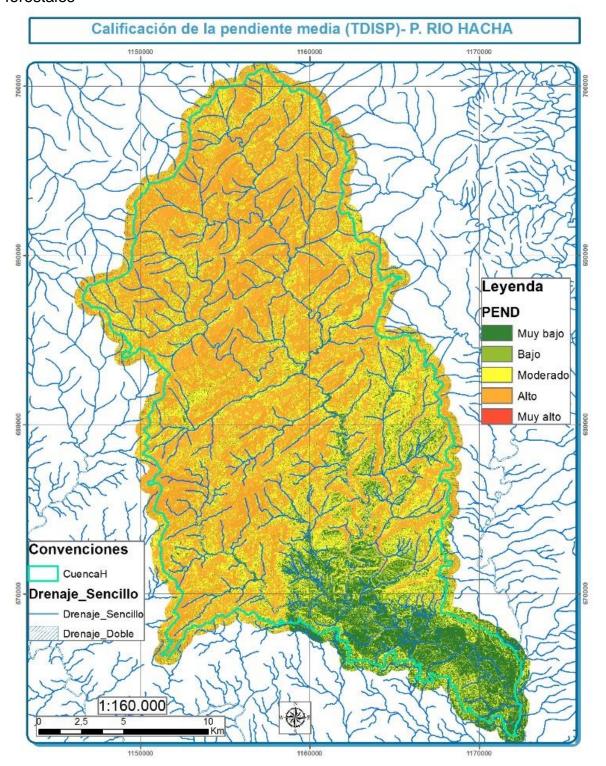








Figura 83. Calificación de la pendiente media en función a la amenaza a incendios forestales











7.10.5.4 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 cinco (5) a las de más alta categoría y disminuyendo una unidad por cada tipo (ver Figura 84 y Tabla 35). 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 (Figura 85).

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

Figura 84. Características de proximidad (ACCES) en función a la amenaza a incendios forestales.



Fuente: Ecointegral. Contrato N°0390 de 2016

Tabla 35. Indicador distancia a vías

DISTANCIA A LA VÍA		CATEGORIA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN		
Primaria	Secundaria	Terciaria	CATEGORIA DE AMENAZA	CALIFICACION	
0-100	0 - 200	0 - 300	Muy Alta	5	
100 - 200	200 – 400	300-600	Alta	4	
200-300	400 - 600	600 - 900	Moderada	3	
300 - 400	600 - 800	900 - 1200	Baja	2	
400- 500	800 -1000	1200 -1500	Muy Baja	1	
Más de 500	Más de 1000	Más de 1500	Nula	0	

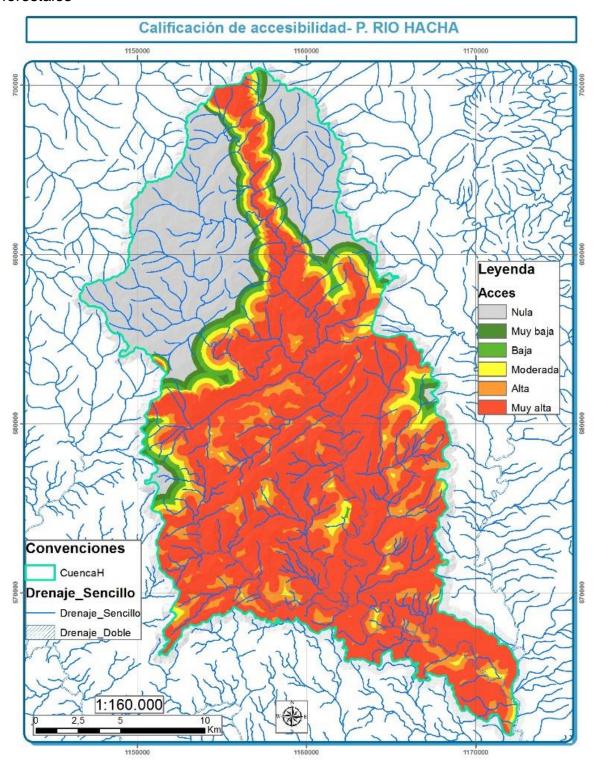








Figura 85. Calificación de la accesibilidad en función a la amenaza a incendios forestales











7.10.5.5 Factor Histórico (FHIST). 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, en las que se describe su ubicación por asociación a proximidad de puntos o zonas de referencia (Figura 86). 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.

Figura 86. Factor Histórico en Función a La Amenaza a Incendios Forestales



Fuente: Ecointegral. Contrato N°0390 de 2016

La frecuencia de incendios en la cuenca del río Hacha está orientada a la evaluación de aquellos eventos reportados por diferentes fuentes en la ciudad de Florencia por lo que se califica esta variable como moderada ya que no existe otro referente espacial para normalizar y calificar esta variable (ver Tabla 36 y Figura 87).

Tabla 36. Reporte deincendios forestales

AÑO	1994	2011	2012	2014	2015	2016	Frecuencia IF	FHIST
Incendios reportados	1	1	7	5	1	9	4	3

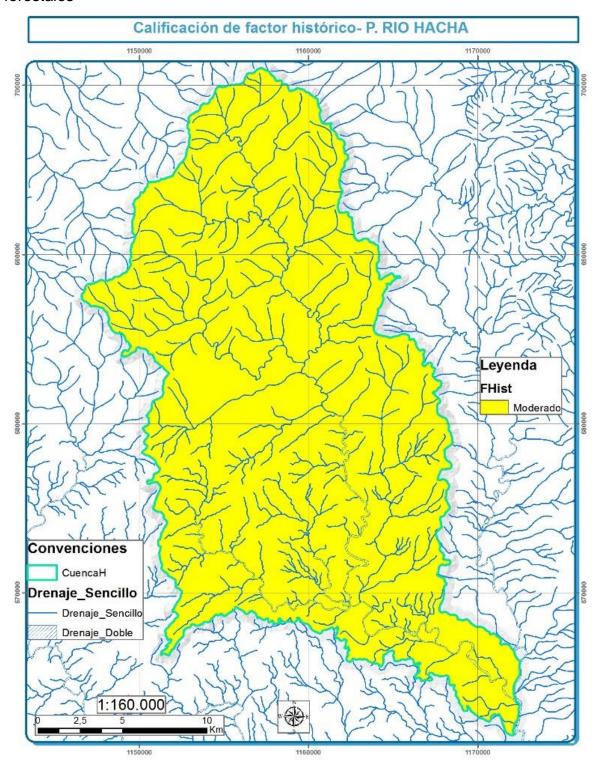








Figura 87. Calificación del factor histórico en función a la amenaza a incendios forestales











7.10.6 Análisis de la zonificación de la amenaza a incendios forestales

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 Hacha, la amenaza alta a incendios de la cobertura vegetal se concentra en la cuenca media, en el resto de la cuenca media y en algunos sectores como el centro poblado de la ciudad de Florencia y cuerpos de agua es baja (ver Figura 88).

Amenaza a incendios de la cobertura vegetal- P. RIO HACHA Leyenda AmenazalF Baja Media Alta Convenciones CuencaH Drenaje_Sencillo Drenaje_Sencille 1:160.000

Figura 88. Amenaza a incendios forestales para la cuenca del río Hacha









El 47% del total de la cuenca (23.526 ha) se encuentra en amenaza media a incendios forestales. Finalmente, la amenaza baja, corresponde a áreas localizadas en la cuenca baja y el límite de la cuenca alta que coinciden con el curso del río Hacha y con el casco urbano de la ciudad de Florencia.

Los factores que más contribuyen a zonificación de amenaza en la cuenca son en orden de incidencia: la temperatura (Mayor a los 24 grados centígrados en el sector sur y entre 18 y 24 grados en el resto de la cuenca), precipitación (moderada en casi toda la cuenca y alta en el sector más sur de la misma), susceptibilidad de la vegetación, (alta, muy alta y moderada en menor proporción), accesibilidad (moderada, alta y muy alta), pendiente (moderada y alta) y factor histórico contante y predominantemente moderado.

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

7.11 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:

Riesgo = Amenaza x Vulnerabilidad









Donde la vulnerabilidad a su vez se define como:

Vulnerabilidad = [Exposición x fragilidad x falta de resiliencia]

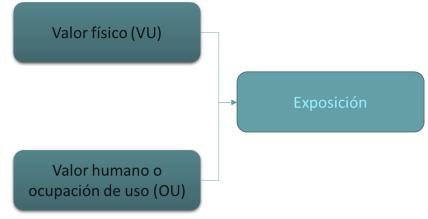
Luego de calificar y normalizar las variables, se asocian los factores en pares con el fin de asignar por medio de una proporción numérica estándar, la importancia que tiene cada uno en relación con el objetivo a evaluar en comparación con el resto de factores incluidos (donde 1 es igualmente importante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

7.11.1 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 89.

Figura 89. Variables que incluyen la exposición de función a la vulnerabilidad





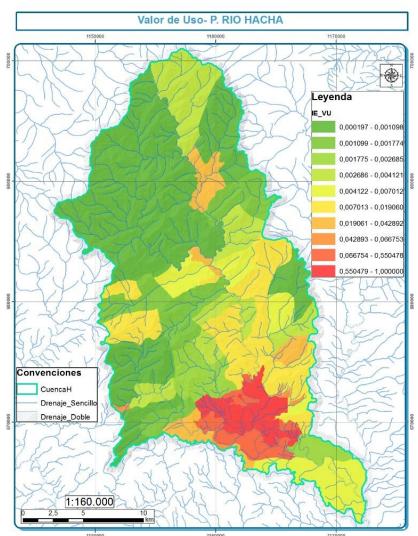






- 7.11.1.1 Valor físico o costo de reposición (vu). Corresponde al valor normalizado por hectárea de la zona de estudio (orientado como valor de reposición), en donde 0 son aquellos suelos que tienen un bajo costo y 1 zonas con altos costos, establecido por zonas cuya configuración está directamente 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 de 1998) (ver Figura 90).
 - Formato: Vector, tipo polígono.
 - Fuente: IGAC, planeación y Formulación POMCA río Hacha 2017.

Figura 90. Valor de uso









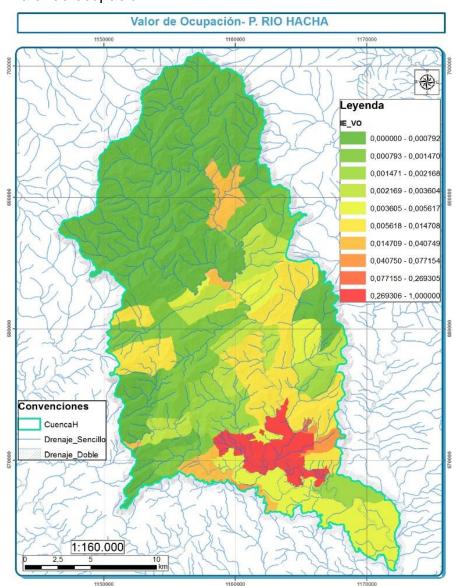


7.11.1.2 Valor humano u ocupación uso (OU). Corresponde a la cantidad normalizada de habitantes expuestos, que al igual que el valor físico, su zonificación depende de la disposición de la información de acuerdo con el área de evaluación y las características de su configuración espacial con valores de densidad de población por hectáreas estandarizados en valores entre 1-0 (ver Figura 91).

- Formato: Vector tipo polígono.

- Fuente: DANE.

Figura 91. Valor de ocupación











Para la evaluación del índice de exposición se recurrió al análisis de procesos jerárquicos, realizando la matriz de importancia de comparación entre pares (Tabla 37), 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 37. Matriz de comparación por pares para variables de exposición

MATRIZ INICIAL	USO	C	CUPACIÓN
Uso	1,00		0,33
Ocupación	3,00		1,00

Fuente: Ecointegral. Contrato N°0390 de 2016

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 la variables dentro del modelo (ver Tabla 38).

Tabla 38. Pesos asignados para variables de exposición (vector de valores propios)

P	
VARIABLES	PESOS (%)
Uso	0.35
Ocupación	0.65

Fuente: Ecointegral. Contrato N°0390 de 2016

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 de la cuenca baja hacia el casco urbano de la ciudad de Florencia donde los índices de exposición tienden a ser medios y altos (Figura 92).

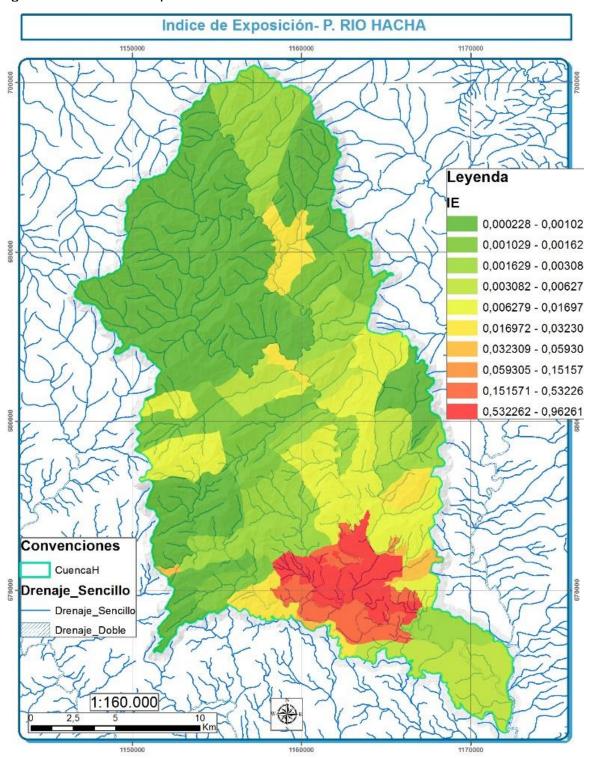








Figura 92. Índice de exposición











7.11.2 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 93.

Figura 93. Variable que incluyen la fragilidad de función a la vulnerabilidad



Fuente: Ecointegral. Contrato N°0390 de 2016

7.11.2.1 Fragilidad física (FF). Inicialmente se estima la fragilidad física por el método planteado por el alcance técnico dependiendo explícitamente de la exposición a las amenazas, de tal forma que coberturas o áreas expuestas a amenazas se plantean más frágiles físicamente así: áreas expuestas a amenazas altas son completamente frágiles (valor 1); áreas expuestas a amenazas medias son moderadamente frágiles (valor 0,5); y áreas expuestas a amenazas bajas presentan fragilidad nula (valor 0).

Bajo dichos supuestos, se presenta fragilidad física en función expresa y exclusiva de cada amenaza (Ver Figura 94 a Figura 96), la cual influye en la estimación de las vulnerabilidades presentadas más adelante para cada fenómeno amenazante específico a saber: movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales.









Figura 94. Posible fragilidad física por movimientos en masa

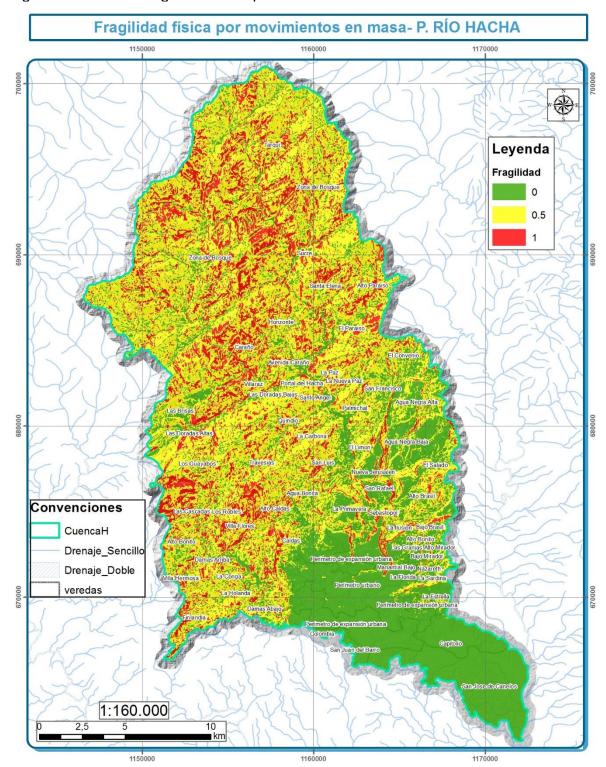










Figura 95. Posible fragilidad física por inundaciones

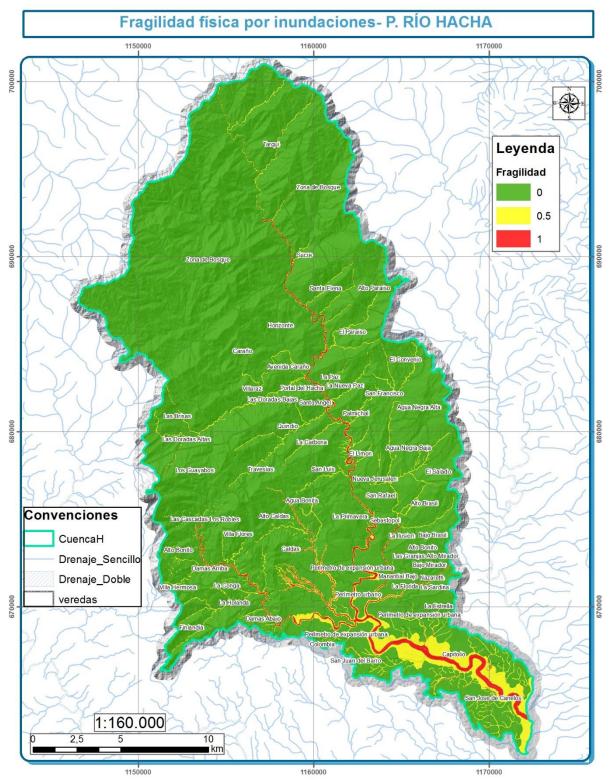


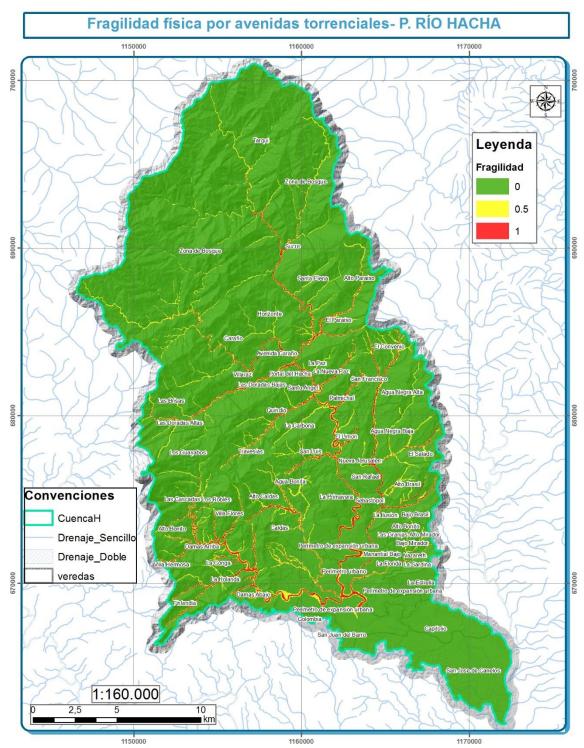








Figura 96. Posible fragilidad física por avenidas torrenciales











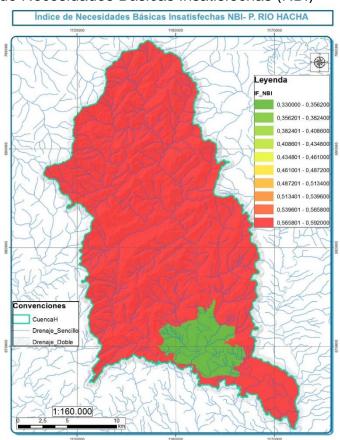
Luego de lo anterior y considerando que la fragilidad física depende fundamentalmente de las características físicas intrínsecas de los elementos expuestos y no de la calificación de amenaza calculada para POMCAs, sumado a que no se pide la estimación de una fragilidad socioeconómica, se enfoca este ítem más a esta última que a la primera incorporando las variables sociales, económicas y culturales de las cuales sí se tiene mejor información a partir de la información pública existente y levantada por el proyecto en el territorio.

Un indicador es el NBI (Índice de Necesidades Básicas Insatisfechas) como referencia para la fragilidad socioeconómica ya que permite identificar carencias materiales de una población y caracterizar la riqueza económica (ver Figura 97). Dentro de los indicadores simples que conforman el NBI se incluye la caracterización de condiciones de las viviendas, pues evalúan: viviendas inadecuadas para habitación humana en razón de los materiales de construcción utilizados, viviendas con hacinamiento crítico y viviendas sin acueducto (DANE).

Formato: Vector tipo polígono.

- Fuente: DANE.

Figura 97. Índice de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI)





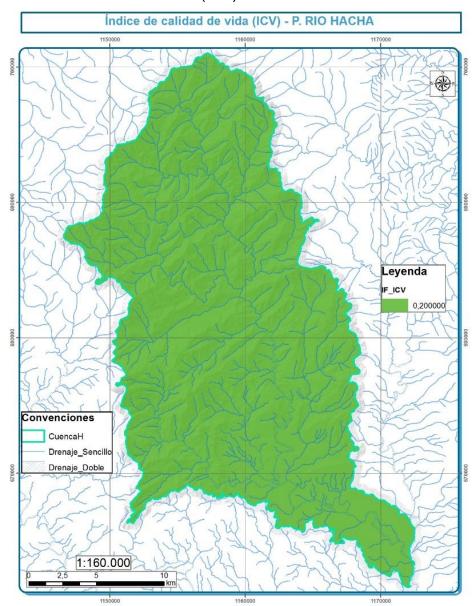






Otro indicador empleado es el Índice de Calidad de Vida (ICV), a partir de información recopilada en el marco de la actualización del POMCA. Categorizada entre 0-1. En términos de condiciones de vida, los valores para los diferentes territorios son similares en tanto la región ha consolidado una red de servicios públicos y sociales, al que acceden de manera fácil en general los habitantes de la totalidad de la cuenca, en consideración a la oferta de comunicaciones y el acercamiento que se deriva de los proyectos viales de carácter nacional (Ver Figura 98).

Figura 98. Índice de calidad de vida (ICV)









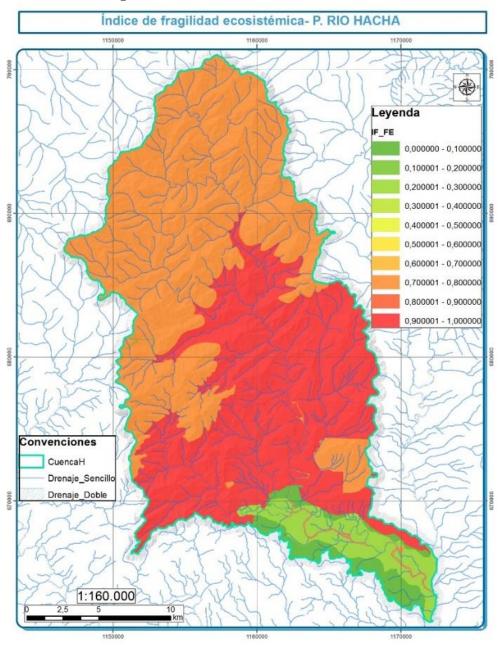


7.11.2.2 Fragilidad Ecosistémica. Corresponde a las zonas en las que se encuentran expuestos elementos que conforman áreas protegidas, que prestan servicios ambientales o satisfacen necesidades básicas (ver Figura 99).

Formato: Vector tipo polígono.

- Fuente: SINAP.

Figura 99. Índice de fragilidad ecosistémica











• Índice de fragilidad de ecosistemas estratégicos (IF_E_EE): Información recopilada en el marco de la Actualización del POMCA, donde se evalúan áreas de ecosistemas estratégicos para cada zona identificada, dependiendo de la importancia que tenga se le asignaron rango de valores entre 0-1 (ver Tabla 39).

Tabla 39. Normalización de categorías ecosistémicas en función al índice de

fragilidad

VALOR	ÁREAS Y ECOSISTEMA ESTRATÉGICO	
1	Satisfacción de necesidades básicas y equilibrio natural	
0,75	Productividad y equilibrio natural	
0,3	Productividad	
0	No constituye un área o ecosistema estratégico en la cuenca	

Fuente: Ecointegral. Contrato N°0390 de 2016

Corresponde al valor normalizado para las áreas de Patrimonio Nacional Cultural de la zona de estudio (orientado como valor de reposición), establecido por zonas cuya configuración está directamente relacionada con la disposición de la información sobre la valoración económica de los elementos expuestos. Áreas de patrimonio natural y cultural considerando valores de 0-1 para el grado de importancia.

- Formato: Vector tipo polígono.

Para la evaluación del índice de fragilidad se recurrió al análisis de procesos jerárquicos, realizando la matriz de importancia de comparación entre pares (Tabla 40) 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 40. Matriz de comparación por pares para variables de fragilidad

MATRIZ INICIAL	ICV	NBI	EE
ICV	2,00	0,33	1,00
NBI	3,00	1,00	2,00
EE	1,00	0,50	1,00

Fuente: Ecointegral. Contrato N°0390 de 2016

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 1.9% 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 la variables dentro del modelo (ver Tabla 41).







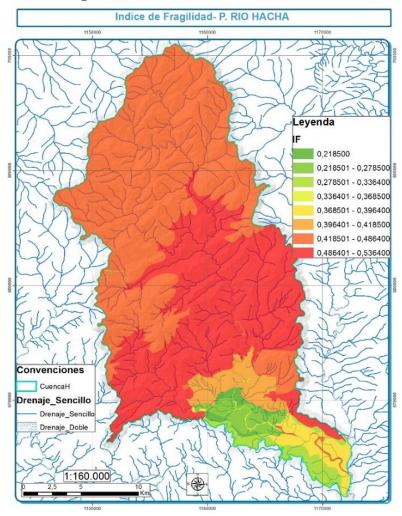


Tabla 41. Pesos asignados para variables de fragilidad (vector de valores propios)

VARIABLES	PESOS (%)		
ICV	35		
NBI	45		
EE	20		

Finalmente, al realizar relaciones de importancia y pertinencia de variables por procesos analíticos jerárquicos se obtiene el índice de fragilidad (ver Figura 100) en donde predominan valores altos con excepción de algunos sectores de la cuenca baja hacia el casco urbano de la ciudad de Florencia donde los índices de exposición tienden a ser medios y bajos.

Figura 100. Índice de fragilidad











7.11.3 Falta de resiliencia

Hace referencia a la falta de capacidad que tiene un sistema para recuperar su estado inicial cuando ha cesado la perturbación a la que había estado sometido, por lo tanto es un factor que se basa en la caracterización de las limitaciones que presenta la gestión institucional con respecto a la capacidad de respuesta y de recuperación ante una emergencia y por lo tanto se evalúa a través de las variables de planeación, operaciones y recuperación (ver Figura 101).

Planeación (PR)

Operaciones
(OPERACIONES)

Recuperación (Rec)

Figura 101. Variables implícitas en el cálculo de falta de resiliencia

Fuente: Ecointegral. Contrato N°0390 de 2016

Para tener conocimiento y realizar una evaluación cualitativa y cuantitativa de la capacidad de respuesta, planeación y recuperación ante la pérdida ocurrida por algún desastre, se aplicaron una serie de preguntas (Tabla 42) dirigidas a identificar la resiliencia que tienen los territorios que hacen parte de la cuenca a partir de la valoración que se hace de la existencia, contenidos y aplicación de los planes locales de gestión del riesgo- formulados e implementados en el marco de lo establecido en la Ley 1523 de 2012 o en su defecto planes de emergencias y contingencias, derivados de la aplicación del Decreto 919 de 1989, y así evaluar los diferentes componentes que conforman la valoración de la susceptibilidad por falta de resiliencia (Ver Anexo 7.12).









Tabla 42. Ficha de revisión de instrumento de gestión de riesgos local para el cálculo de la resiliencia

de la resilien OBJETO:	DEFINIR LA RESILIENCIA NIVEL MUNICIPAL						
APLICADO A:	Plan Municipal de Gestión de Riesgos/ Plan Local de Emergencias y Contingencias						
MUNICIPIO: FLORENCIA							
ASPECTOS A EVALUAR EN LA			001010501010150	CALIFICACIÓN			
	OR RESILIENCIA	PREGUNTA	CONSIDERACIONES	BAJA	MEDIA	ALTA	
Percepción		Conoce las diferentes causas o factores					
sobre los procesos amenazantes	Conocimiento y concientización de riesgos.	naturales y sociales que inducen a la					
		generación de desastres?	Baja: Concociac cadoac				
		2. ¿Conoce y aplica las acciones	Alta: Desconoce las acciones				
		de prevención y Atención de	Media: Conoce algunas acciones				
Actitud frente a	Actitud previsora ante la ocurrencia	desastres?	Baja: Conoce las acciones				
los desastres	de un desastre.	3. La comunidad ldentifica los	1				
	lugares que son	Media: Conoce algunos lugares propensos					
		ocurra un evento amenazante?					
		4. ¿Han recibido información o tiene					
		conocimiento de que hacer antes, durante y después	Media: Ha recibido alguna información				
	Conocimiento	de ocurrir un desastre?	información				
Capacidad de	1	5. ¿Conocen los sitios más seguros	información				
respuesta ante un desastre	durante y después de un evento	de su barrio para resguardarse en	Modia. Ha Hodibiao				
	amenazante.	caso de ocurrir un evento?	Baja: Los conoce				
		6. ¿Cómo reaccionarían al	desespera				
		verse afectado por un evento					
		amenazante?	Baja: Reacciona y enfrenta el evento				
Capacidad de	Conocimiento acerca de que hacer antes,	7. ¿Identifican las vías seguras del municipio para la	ninguna vía de				
respuesta ante un desastre	respuesta ante un desastre durante y después de un	evacuación en caso de ocurrir un	Media: Identifica algunas vías de evacuación				
	evento amenazante.	evento amenazante?	Baja: Identifica todas las vías de evacuación				









Tabla 42 (Continuación). Ficha de revisión de instrumento de gestión de riesgos local para el cálculo de la resiliencia

OBJETO:	DEFINIR LA RESILIENCIA NIVEL MUNICIPAL						
APLICADO A:	Plan Municipal de Gestión de Riesgos/ Plan Local de Emergencias y Contingencias						
MUNICIPIO:	FLORENCIA			-			
ASPECTOS A	EVALUAR EN LA	PREGUNTA	CONSIDERACIONES	CALIFICACIÓN			
FRAGILIDAD P	OR RESILIENCIA	TREGUITA	CONSIDERACIONES	BAJA	MEDIA	ALTA	
	Organismos de socorro e institucionalidad	8. ¿Saben a qué organismos de socorro acudir en caso de ser afectado por un desastre?	Media: Identifica algunos				
Capacidad de recuperación post-evento	Capacidad económica	9. ¿Cuentan con recursos propios para sobreponerse económicamente a una emergencia?	Alta: No cuenta con recursos propios Media: Cuenta con recursos propios moderados Baja: Cuenta con recursos propios suficientes				
	Reposición económica	10. ¿En qué tiempo cree que pueden recuperarse económicamente si es afectado por un desastre?	Media: Se recuperaría en uno a cinco años				

Una vez aplicado el cuestionario, la cuantificación se realizó según la Tabla 43.

Tabla 43. Calificación de la categoría para cada respuesta realizada

CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
Baja	0
Media	0.5
Alta	1

Fuente: Ecointegral. Contrato N°0390 de 2016

Luego de la calificación de estos análisis se obtiene un promedio de las diez (10) preguntas orientadoras sobre los instrumentos sectoriales de gestión de riesgos a nivel municipal.









- 7.11.3.1 Planeación (PR). Continuando con la evaluación de los instrumentos sectoriales con los que cuenta las entidades de la zona, especialmente respecto a la recuperación en casos de emergencia, esta variable se evalúa de acuerdo con la existencia los planes ante emergencias para la zona y el nivel de efectividad que se haya podido evidenciar de los mismos (ver Tabla 44 y Tabla 45).
 - Formato: Vector tipo polígono.
 - Fuente: Planes de desarrollo y emergencia, e informes de rendición de cuentas.

 $Planeaci\'on = \frac{Planes\ de\ emergencia + Nivel\ de\ efectividad\ de\ entes\ ante\ eventos}{2}$

Tabla 44. Calificación de la categoría.

VALOR	PLANES DE EMERGENCIA (CON COMPONENTE ORIENTADO A LA RECUPERACIÓN)
1	Inexistente o sin ningún tipo de publicación
0,8	En formulación
0,6	Por Aprobación
0,8	Aprobado
0,2	Aprobado y publicado
0	Publicado y ejecutado

Fuente: Protocolo para la incorporación de la gestión de riesgo en POMCAS, 2015

Tabla 45. Nivel de efectividad de resiliencia

VALOR	NIVEL DE EFECTIVIDAD DE ENTES ANTE EVENTOS DE ACUERDO CON EL PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN
1	Nulo
0,5	Medio
0	Alto

Fuente: Protocolo para la incorporación de la gestión de riesgo en POMCAS, 2015

7.11.3.2 Operaciones (O). Corresponde a la capacidad institucional con que cuenta la cuenca, según la disponibilidad de información se tuvo en cuenta la presencia de centros de salud, escuelas y lugares de acopio y personal de búsqueda, rescate y orden público, en relación con las posibles distancias de cobertura (y por lo tanto se maneja en vector tipo polígono de acuerdo con la zona de influencia de cada uno) evaluadas de la Tabla 46.









Tabla 46. Categoría calificación operaciones

VALOR	DISTANCIA	CATEGORÍA
1	(15 a 35 km)	Lejano
0,5	(5 a 15 km)	Medio
0	(0 a 5 km)	Cercano

Fuente: Ecointegral. Contrato N°0390 de 2016

Para los casos en los que es inexistente se asigna 1 en la distancia pues es la mayor clasificación de falta de resiliencia para el caso. Finalmente, el factor de operaciones se obtiene:

Operaciones = (Dist. CS Reclasificada *Nivel de centro de salud)/2, (Dist. B Reclasificada * Centros de acopio)/2, (Dist. PBRO Reclasificada * Personal de búsqueda, rescate y orden público)

• Centros de salud. Referente a las instituciones de salud para la atención de necesidades médicas o quirúrgicas, se clasifican por niveles de acuerdo con su dotación y capacidad para atender a sus pacientes, todos los hospitales se dividen en tres niveles diferentes (Ver Tabla 47).

Tabla 47. Estandarización y calificación de la falta de resiliencia medida en disponibilidad de un centro de salud cercano.

VALOR	NIVEL DE CENTRO DE SALUD	DESCRIPCIÓN
1	Inexistente	
0,8	Nivel 1	Corresponde a puestos de salud donde se brida atención básica.
0,4	Nivel 2	Corresponde a hospitales algunos especialistas, cuidados especiales y laboratorios médicos básicos.
0	Nivel 3	Corresponde a hospitales con mayor complejidad que incluyen cuidados intensivos, amplia gama de especialidades e incluso desarrollo de investigaciones.

Fuente: Protocolo para la incorporación de la gestión de riesgo en POMCAS, 2015

• Personal de búsqueda, rescate y orden público. Corresponde a la(s) institución(es) que apoyan el desarrollo de estas actividades, en cabeza de la fuerza púbica teniendo en cuenta la ubicación a nivel de puestos de policía, y solo se evalúa la existencia en la zona, por la forma articulada de despliegue que tiene esta institución a nivel nacional (ver Tabla 48).









Formato: Vector tipo polígono.

- Fuente: Planes de ordenamiento territorial.

Tabla 48. Evaluación personal de búsqueda y rescate público

VALOR	EVALUACIÓN DE PBROP
1	Inexistente
0	Existente

Fuente: Ecointegral. Contrato N°0390 de 2016

- 7.11.3.3 Recuperación (Rec). Relacionado con los niveles de desarrollo, económico y social que reflejan la capacidad que presenta una comunidad para recuperarse ante un evento, y por lo tanto se tienen en cuenta las siguientes variables para su evaluación:
- IPC (Índice Per Cápita). Corresponde a la representación de la economía de una región que puede determinar la posible disposición económica orientada a la recuperación ante un evento por parte de la población afectada. Esta variable establece de acuerdo con la disposición de la información y teniendo en cuenta que su relación con respecto a la vulnerabilidad es inversa, este se estandariza: 1-(IPC).

- Formato: Vector tipo polígono.

- Fuente: Anuario estadístico.

- Nivel educativo. Corresponde a la cobertura de educación identificado en la población evaluada, teniendo en cuenta que a través de las instituciones educativas se ha incluido la participación sobre la prevención y recuperación a eventos amenazantes (ver Tabla 49).
 - Formato: Vector tipo polígono.
 - Fuente: Planes de desarrollo e informes de rendición de cuentas.

Tabla 49. Calificación nivel educativo

VALOR	NIVEL EDUCATIVO	
1	Inexistencia o muy baja calidad	
0,5	Calidad media	
0	Alta calidad	

Fuente: Ecointegral. Contrato N°0390 de 2016

Para la evaluación del índice de falta de resiliencia se recurrió al análisis de procesos jerárquicos, realizando la matriz de importancia de comparación entre









pares (Tabla 50) 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 50. Matriz de comparación por pares para variables de falta de resiliencia

MATRIZ INICIAL	OPERACIONES	RECUPERACIÓN	SOCIAL
Operaciones	1,00	0,33	0,50
Recuperación	3,00	1,00	3,00
Social	2,00	0,33	1,00

Fuente: Ecointegral. Contrato N°0390 de 2016

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 2.6% 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 la variables dentro del modelo (ver Tabla 51).

Tabla 51. Pesos asignados para variables de falta de resiliencia (vector de valores propios)

	VARIABLES	PESOS (%)
Operaciones		0.26
Recuperación		0.48
Social		0.16

Fuente: Ecointegral. Contrato N°0390 de 2016

Finalmente, al realizar relaciones de importancia y pertinencia de variables por procesos analíticos jerárquicos se obtiene el índice de falta de resiliencia (ver Figura 102) en predominan valores moderados y altos, con excepción de algunos sectores de la cuenca baja hacia el casco urbano de la ciudad de Florencia donde los índices tienden a ser bajos.

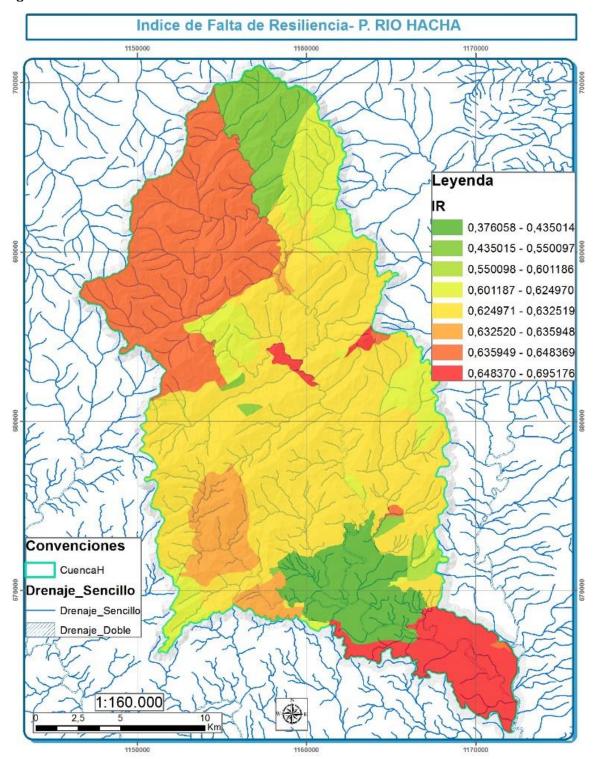








Figura 102. Índice de falta de resiliencia











7.11.4 Vulnerabilidad final

Al combinar todos los factores relacionados con vulnerabilidad incluyendo las fragilidades físicas estimadas por cada fenómeno amenazante se puede obtener una calificación de vulnerabilidad para movimientos en masa (ver Figura 103), inundaciones (ver Figura 104) y avenidas torrenciales (ver Figura 105).

Figura 103. Posible vulnerabilidad a movimientos en masa

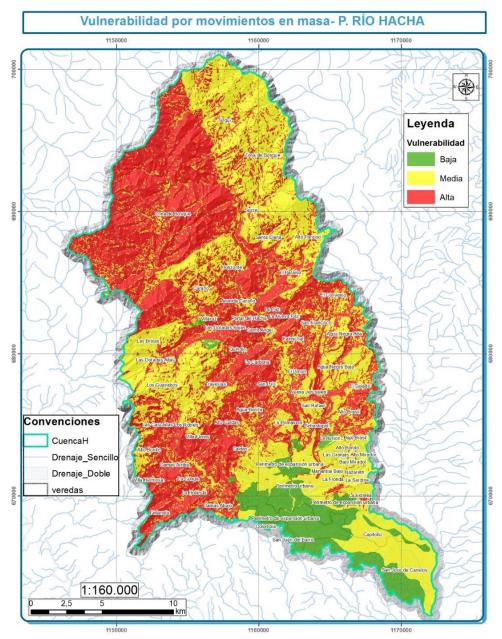










Figura 104. Posible vulnerabilidad a inundaciones

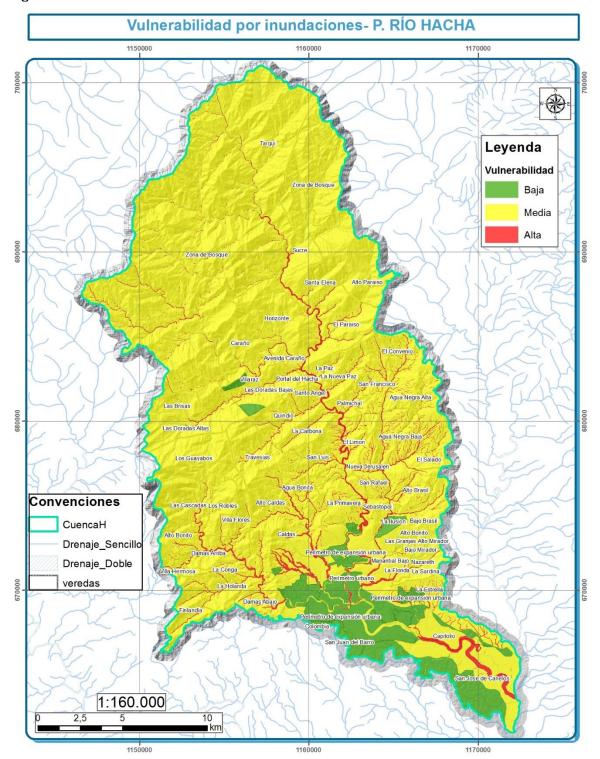


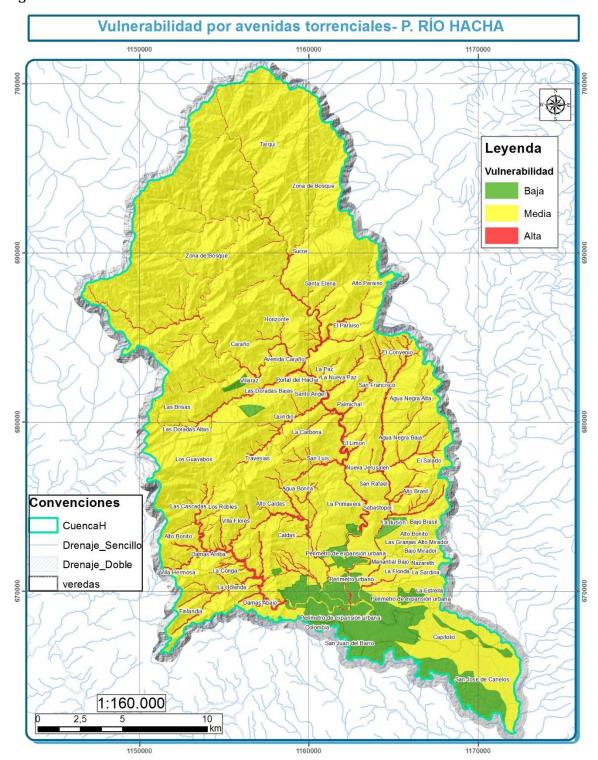








Figura 105. Posible vulnerabilidad a avenidas torrenciales





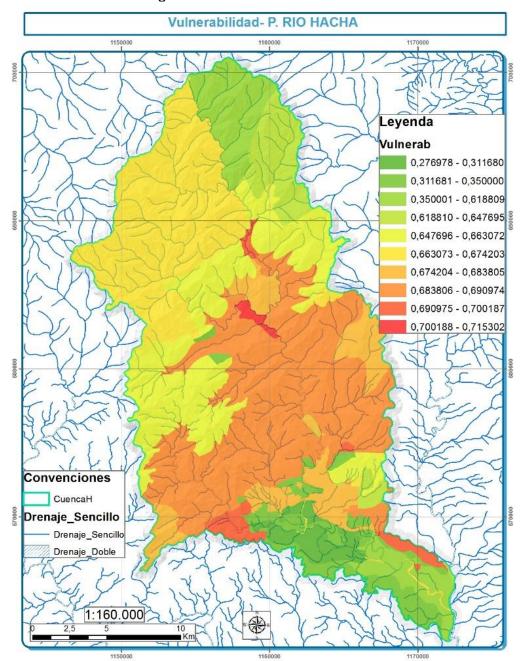






Luego de generar los indicadores intrínsecos de vulnerabilidad para la cuenca se obtiene el mapa de vulnerabilidad general para el territorio, en donde predomina la vulnerabilidad media y alta, a excepción de sectores del casco urbano de la ciudad de Florencia que presentan calificaciones bajas (Figura 106).

Figura 106. Vulnerabilidad general











7.12 ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE RIESGO

El análisis de riesgo se entiende como la combinación de las variables de amenaza y la vulnerabilidad de los elementos que se encuentren expuestos. Las amenazas evaluadas incluyen movimientos en masa tipo deslizamiento en zonas de ladera, avenidas torrenciales en cauces confinados y semiconfinados, inundaciones lentas y rápidas en cauces con cualquier tipo de confinamiento morfométrico, incendios de coberturas vegetales. Por su parte, las condiciones de vulnerabilidad fueron planteadas por la condición intrínseca integral de los elementos potencialmente expuestos, considerando variables sociales, económicas e institucionales en cuanto a infraestructura y capacidad de respuesta.

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 52). Dentro del análisis realizado por el equipo consultor se decide priorizar aquellas zonas en donde el nivel de riesgo sea alto, para la cuenca hidrográfica se priorizan como escenarios de riesgo principalmente las zonas de cuerpos aluviales de la zona sur asociados al margen del río Hacha y las quebradas la Perdiz, la Yuca y el Dedo que presentan una condición de riesgo alto por inundaciones. Las zonas elevadas de la cuenca alta que presentan niveles de riesgo alto a movimientos en masa, en la cuenca baja con un riesgo alto a incendios forestales y como principal riesgo el asociado a avenidas torrenciales distribuido aguas arriba de los cauces principales de la cuenca.









Tabla 52. Matriz propuesta para la categorización de niveles de riesgo

NIVELES DE AMENAZA	NIVELES DE VULNERABILIDAD (IV)		
	NIVEL 1: alta (75% a	NIVEL 1: media (30%	NIVEL 1: baja (<30%)
	100%)	a 75%)	
Alta	Alta	Alta	Media
Media	Alto	Media	Baja
Baja	Media	Media	Baja

Fuente: Protocolo para la incorporación de la gestión de riesgo en POMCAS, 2015

Al realizar la calificación de riesgo resalta con solo observación de la Figura 107 a la Figura 110, 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 denudacionales 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 108 y Figura 109 aparentan ser menos críticas y muestran el riesgo de las coberturas a inundaciones y avenidas torrenciales. Sin embargo, si se considera que las áreas de riesgo alto por inundaciones y avenidas torrenciales se correlacionan con áreas urbanizadas y pobladas se resalta a estas dos amenazas dentro de las principales.

Ciertamente el territorio del municipio de Florencia está condicionado a la situación de amenazas en la mayoría de su extensión. Las zonas de ladera presentan en algún grado todas las amenazas analizadas y las áreas bajas de planicie acentúan la de inundación por desbordamiento del río Hacha.









Figura 107. Riesgo por movimientos en masa

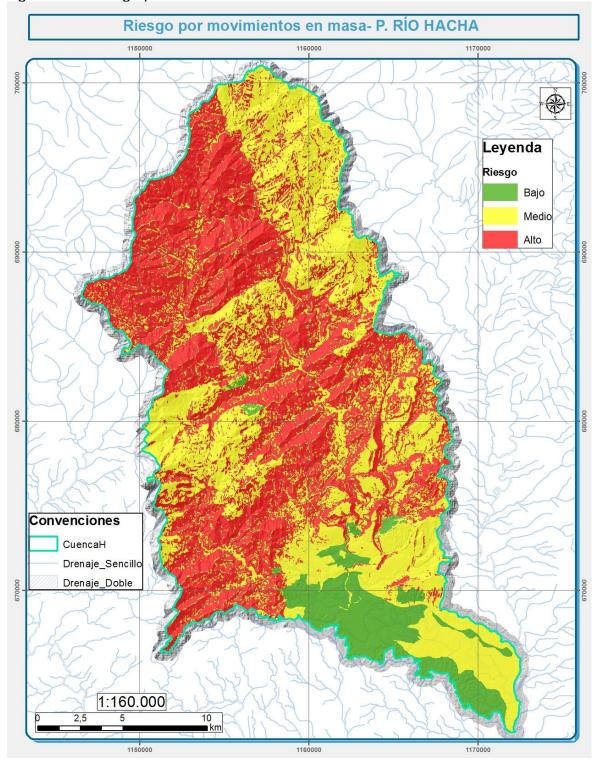










Figura 108. Riesgo por inundaciones

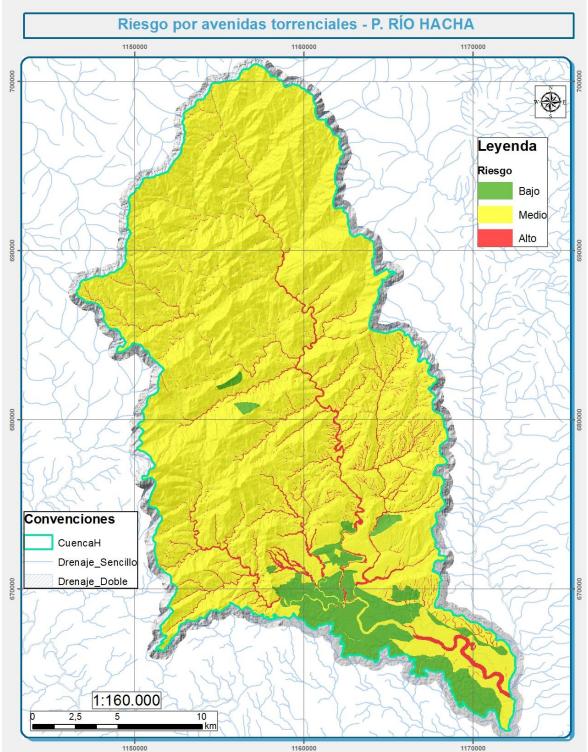










Figura 109. Riesgo por avenidas torrenciales

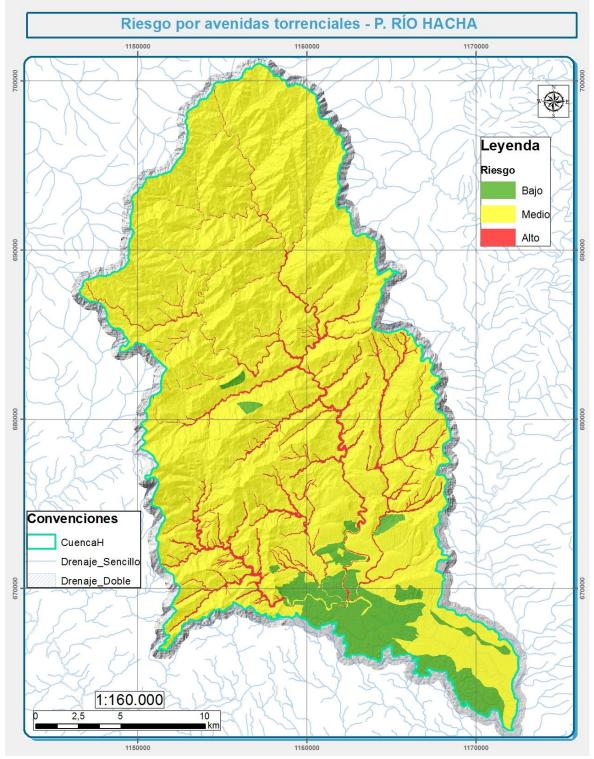


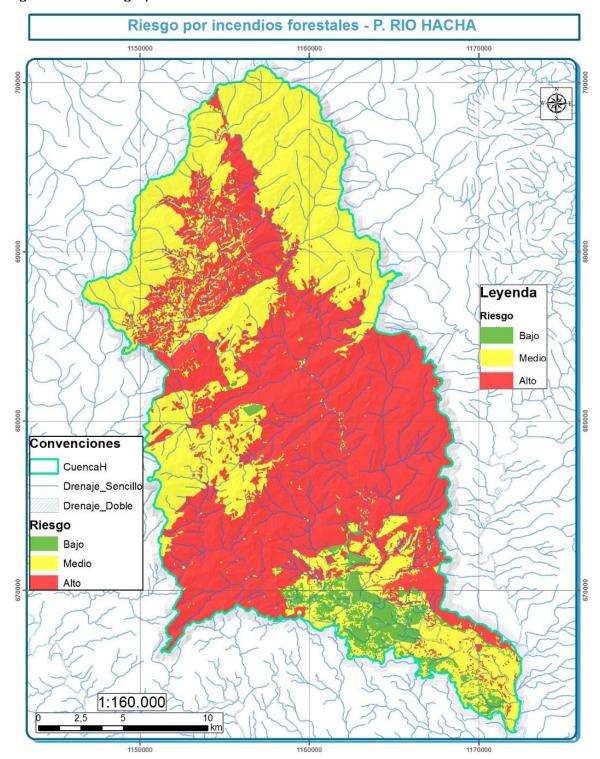








Figura 110. Riesgo por incendios forestales











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 Hacha y sus afluentes, principalmente (e incluso con mayor relevancia) la quebrada La Yuca, seguido de la quebrada la Perdiz y quebrada El Dedo, 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 quebradas La Avispa, La Sardina, Las Águilas, La Novia, el Caraño y Sucre.

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:

- 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 (Perico & Ávila, 2015).
- 6. El riesgo se calcula como la interacción entre la amenaza y la vulnerabilidad. El modelo más sencillo es R=AxV, 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=AxV (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=AxV 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.

Sin duda, en términos generales, la condición de vulnerabilidad en las cuencas del país realmente se está calculando general y no específica para cada amenaza y lo que se presenta como "vulnerabilidad específica" es realmente una aproximación implícita al riesgo con el cual después se estima este último. No obstante, con objeto de presentar resultados comparables, se presentaron en el documento los resultados del índice de fragilidad planteado por los alcances técnicos y las vulnerabilidades resultantes para cada fenómeno amenazante.









7.13 ANÁLISIS DE ELEMENTOS EXPUESTOS

Como se indicó en la zonificación de riesgo, las amenazas se presentan en algún grado en casi toda la extensión de la cuenca, de manera que las condiciones reales de riesgo se someten a la exposición de elementos de infraestructura o de las coberturas a los diferentes tipos de amenazas.

De los elementos expuestos consignados en la cartografía base, se destaca la exposición de alguna infraestructura estratégica (indispensable y de atención a la comunidad en caso de emergencia) y demás construcciones entre las que se encuentran 3 cementerios, 27 sitios de interés cultural, 60 establecimientos de seguridad, 21 instituciones educativas, 543 tramos viales y cerca de 5 mil construcciones de otro tipo en zonas de amenaza alta (ver Figura 111).

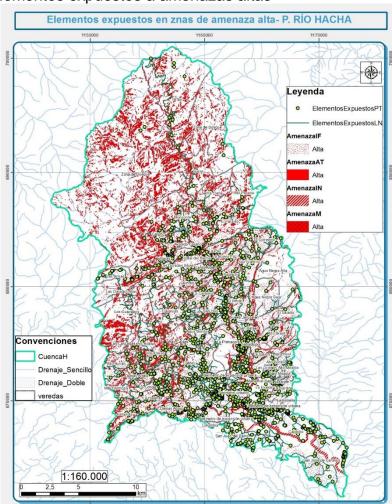


Figura 111. Elementos expuestos a amenazas altas









7.13.1 Indicadores de niveles de amenaza

Como parte de las formas de presentación de resultados se agregan los porcentajes de niveles de amenaza que harán parte de los análisis prospectivos posteriores al presente diagnóstico. Se requerirá el indicador "porcentaje de niveles de amenaza" representando el área expuesta por niveles y tipos de amenaza presentes en la cuenca (ver Tabla 53 a Tabla 56). El indicador se calcula con la siguiente expresión:

$$(PPi/Pu) * 100 = PH\beta$$

Donde:

PHβ = Porcentaje de área en nivel de amenaza

PPi = Área en nivel de amenaza

Pu = Área de la cuenca

Tabla 53. Porcentajes de amenaza por movimientos en masa

AMENAZA	ÁREA (Ha)	PROPORCIÓN (%)	Alk
Baja	15819,6	31,6	Alta 16% Baja 32%
Media	26215,2	52,4	
Alta	7995,4	16,0	Media
Total	50030,3	100,0	52%

Fuente: Ecointegral. Contrato N°0390 de 2016

Tabla 54. Porcentajes de amenaza por inundación

AMENAZA	ÁREA (Ha)	PROPORCIÓN (%)		
Baja	46170,8	92,3	Media 6%	Alta 2%
Media	3062,1	6,1		
Alta	797,4	1,6	Baja 92%	
Total	50030,3	100,0	/-	









Tabla 55. Porcentaies de amenaza por avenidas torrenciales

AMENAZA	ÁREA (Ha)	PROPORCIÓN (%)	20
Baja	47131,0	94,2	Media Alta 2%
Media	1936,2	3,9	
Alta	963,1	1,9	Baja 94%
Total	50030,3	100,0	

Tabla 56. Porcentajes de amenaza por incendios de coberturas vegetales

AMENAZA	ÁREA (Ha)	PROPORCIÓN (%)	Baja
Baja	9550,4	19,1	Alta 19%
Media	23526,9	47,0	
Alta	16952,9	33,9	Media
Total	50030,1	100,0	47%

Fuente: Ecointegral. Contrato N°0390 de 2016

7.14 CONSIDERACIONES ADICIONALES SOBRE AMENAZA Y RIESGO EN FLORENCIA

En abril de 2017 en el municipio de Mocoa se presentaron eventos de precipitaciones intensas que lograron detonar deslizamientos y flujos canalizados hacia los ríos Mocoa, Mulato y Sancoyaco, los cuales siendo de cauce confinado y torrencial, reunieron las condiciones propicias para la generación de avenidas torrenciales de gran magnitud. Las consecuencias son conocidas, reviven el caso del municipio de Salgar en 2015 y se registra como una de las emergencias urbanas más relevantes de la historia de Colombia. El municipio de Florencia, a 244 km de Mocoa, conserva cierta similitud con la capital vecina, incluso su quebrada La Yuca ya ha dado muestras de la real posibilidad de ocurrencia de este tipo de eventos, razón por la cual no se hace esperar el avance en el conocimiento de las condiciones de amenaza y riesgo como punto de partida para una efectiva gestión integral del riesgo.

Sin duda, siendo uno de los centros urbanos más poblados de la región, Florencia merece ser objeto de análisis de amenazas y riesgos en una escala mayor que la









desarrollada en el presente estudio. No obstante, los resultados presentados a lo largo de este documento logran esbozar desde un alcance regional la zonificación de la amenaza por movimientos en masa, inundación por desbordamiento de cauces, avenidas torrenciales e incendios de las coberturas vegetales como punto de partida para la generación de programas efectivos y proyectos para la gestión del riesgo en toda la extensión de su río principal, el Hacha.

Tras haber realizado algunos estudios sectorizados como primeros acercamientos a evaluar las condiciones de amenaza y riesgo, recientemente la Alcaldía municipal contrató el "Estudio para la incorporación de la gestión integral del riesgo en el ordenamiento territorial del municipio de Florencia, Caquetá", el cual fue ejecutado por la Corporación Ozono en el año 2017. Este estudio, en adelante "Estudio POT", buscó zonificar en escala urbana y rural (1:2k a 1:5k en urbano y 1:25k en rural según la normativa vigente) la amenaza por movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundaciones y espacializar las condiciones de riesgo basadas en valores de exposición bajo un concepto de "riesgo implícito". Posteriormente, CORPOAMAZONIA fortalece los avances del conocimiento con la actual ejecución del presente POMCA y simultáneamente convino con la Universidad Nacional de Colombia la ejecución del estudio para acotamiento de la ronda hídrica del río Hacha.

Tras la ejecución de los tres estudios mencionados, considerando el POMCA en su fase de diagnóstico que arroja como resultado el presente documento, se pueden estimar las siguientes conclusiones relacionadas con las condiciones de amenaza y riesgo evaluadas y las necesidades de gestión de riesgo que se desprenden:

7.14.1 Escala real de análisis rural de amenaza en los estudios vigentes

La filosofía del Decreto 1807 de 2012, compilado por el Decreto 1077 de 2015, recoge la limitación de muchos municipios en materia de cantidad y calidad de información necesaria y útil para la evaluación de amenazas y riesgos. Por ejemplo, el uso de métodos heurísticos para evaluación de amenaza por movimientos en masa puede ser una buena alternativa cuando no se tiene la información suficiente para desarrollar un método más complejo que requiera además del mismo criterio experto, el desarrollo de variables y procesos matemáticos y espaciales rigurosos.

El Estudio POT logra generar información insumo de buena calidad pero se limita metodológicamente derivándose en resultados que deben ser implementados en escalas incluso más regionales que las logradas en el POMCA. A pesar que sean metodologías distintas, los resultados pueden ser comparables para tomar como punto de partida el detalle logrado por todos los estudios y considerar la escala real de cada uno (ver Figura 112).

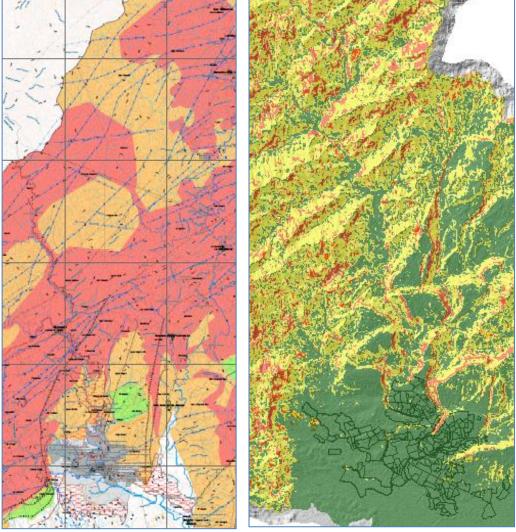








Figura 112. Comparativa de amenaza por movimientos en masa en área rural



Estudio POT rural 1:25k

Estudio POMCA rural 1:25k

Fuente: Alcaldia municipal de Florencia - Corporación Ozono, 2017 y Ecointegral, Contrato N°0390 de 2016

Con esa tendencia se observa lo siguiente:

- La zonificación de amenaza por inundación en el área rural en el Estudio POT logra una zonificación adecuada en los ríos principales pero descarta la gran mayoría de ríos y quebradas afluentes de los mismos y que presentan amenaza por inundación como se encontró en el estudio POMCA.
- La zonificación de amenaza por avenidas torrenciales está basada solamente en









la geomorfología con criterios morfogenéticos, siendo este el primero de los cinco criterios principales tenidos en cuenta por el POMCA para escala 1:25k.

 La zonificación de amenaza por movimientos en masa en el Estudio POT emplea análisis heurístico y resulta en polígonos demasiado generales para la escala manifiesta.

7.14.1 Escala real de análisis urbano de amenaza de los estudios vigentes

Debe considerarse que el alcance del POMCA no incluye análisis urbano en escala mayor a 1:25k; sin embargo, el detalle logrado en la escala del POMCA presenta resolución similar al planteado por el Estudio POT en escala 1:5000 o incluso 1:2000 (según lo sostiene dicho estudio). Considerando la información existente en las distintas escalas, es sano manifestar que ambos estudios llegan realmente hasta la escala 1:25k en el mapa de amenaza por movimientos en masa y en el de amenaza por inundación, siendo necesario adelantar estudios de mayor detalle enfocados en un análisis de amenaza mucho más detallada para la cabecera municipal y áreas pobladas.

En ese mismo sentido, se observa lo siguiente:

- El Estudio POT emplea una aceleración sísmica en superficie única para toda la extensión, plantea un efecto local de respuesta sísmica y supone niveles freáticos en fracciones de profundidad, mientras el POMCA considera aceleraciones distintas para cada unidad de análisis, aplica amplificación y deamplificación por efecto topográfico, aplica el mismo efecto local de respuesta dinámica y estima variaciones en el nivel freático a partir de las infiltraciones esperadas de precipitaciones por periodos de retorno. Se debe considerar que al asumir las magnitudes de las variables detonantes y condicionantes como lo hace el Estudio POT, se está convirtiendo la evaluación a un método heurístico (aun cuando la metodología sea aplicable como determinística), lo cual no se ajusta a los requerimientos del Decreto 1077 de 2015.
- La amenaza por avenidas torrenciales en el Estudio POT responde a un análisis geomorfológico, el cual es solo una de las etapas de la evaluación realizada en el POMCA, por lo que se debe concluir que la amenaza desarrollada en el POMCA es más detallada que la generada en el Estudio POT, siendo la escala máxima de ambos estudios 1:25k. Se puede considerar que la zonificación por avenidas torrenciales en entornos urbanos debe ser 1:5k o mayor para acercarse a los requerimientos normativos.
- El estudio de acotamiento de la ronda hídrica emplea insumos en escalas regionales y los transforma a escalas de incluso 1:2k, de manera que si se limitara la resolución de la información a un esquema de escalas, sus resultados









pueden considerarse en el rango de 1:25k a 1:2k, siendo más detallado que el Estudio POT y que el Estudio POMCA para el tramo del río Hacha estudiado.

El municipio de Florencia ha logrado avances en el conocimiento de las amenazas y riesgos en su territorio; sin embargo, si se tienen en cuenta los estándares cartográficos, metodológicos y normativos, hasta el momento su área urbana y rural han sido zonificadas a una escala máxima de 1:25.000 y solo un tramo del río Hacha logra mayor resolución de amenaza por inundación a partir del estudio de acotamiento de la ronda hídrica. Por lo anterior, es necesario proyectar en la fase de formulación los estudios con el detalle necesario para el ordenamiento territorial urbano.

7.14.2 Riesgo sísmico relegado

La sismicidad en la cuenca del río Hacha (que se puede corresponder en división política con el municipio de Florencia) puede presentar valores de aceleración importantes, sitúan a la cabecera municipal en amenaza intermedia según el estudio reciente de amenaza sísmica (SGC, 2017) y a la parte alta de la cuenca en amenaza alta según el mismo estudio.

A pesar que los valores de aceleración sean considerados intermedios, la existencia de depósitos aluviales limosos y con espesores hasta el basamento rocoso que fácilmente superan los 20 metros (ver Fotografía 8), representa condiciones de respuesta dinámica particulares capaces de amplificar la señal sísmica y provocar daños a estructuras y viviendas según su vulnerabilidad física dada por su configuración constructiva específica (ver Fotografía 9). Un sismo fuerte, aunque sea de baja recurrencia, significa un evento de gran magnitud con capacidad de generar afectaciones a la población, pérdidas de vidas humanas y económicas comparables con la conjugación de las amenazas evaluadas en el POMCA.

Fotografía 8. Área urbana sobre depósitos aluviales















Existe entonces la necesidad de incluir el riesgo sísmico dentro de los aspectos relevantes en la gestión integral del riesgo, partiendo del estudio de la respuesta dinámica de los suelos en el área urbana y avanzando en la caracterización de las condiciones de vulnerabilidad de las construcciones. Estos avances son necesarios para el planteamiento de panoramas de riesgo sísmico que permitan enfocar las medidas adecuadas para reducir el riesgo existente y evitar la configuración de nuevos riesgos.

7.15 RECOMENDACIONES E IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES DE INFORMACIÓN E INVESTIGACIÓN

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:

- Una base de datos catastral para el casco urbano de Florencia, y de ser posible, en todos los centros poblados de la cuenca incluyendo como mínimo características constructivas, número de pisos, uso, y antigüedad para diferenciar condiciones de fragilidad física para distintos eventos amenazantes y definir panoramas de riesgo físico y total para escenarios sísmicos por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales.
- Información primaria geológica, geomorfológica, de coberturas vegetales, topográfica, batimétrica, exploración y zonificación geotécnica para procesos de análisis determinísticos en el marco de los instrumentos de ordenamiento territorial requeridos para Florencia según lo reglamentado por la Ley 388 de 1997, los Decretos 4300 de 2007, 1469 de 2010, 1807 de 2014, 1077 de 2015 y 1203 de 2017 y demás normativa relacionada con el ordenamiento territorial.
- 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 áreas rurales en amenaza media y alta deben ser sometidas a análisis más rigurosos en función de las decisiones que se deban tomar sobre su uso. Si se desea realizar un aprovechamiento del suelo que represente la ejecución de









proyectos de infraestructura vital tales como programas de mejoramiento integral de vivienda rural, vías, embalses, colectores, plantas de tratamiento de agua, líneas de alta tensión, conducción de agua potable, ductos, poliductos y demás redes de transporte de servicios públicos y privados y en general para toda obra civil lineal o puntual que implique la exposición permanente o flotante de vidas humanas se hace necesario el trazo de un área de influencia a la cual se le debe realizar estudios detallados que contemplen:

- Estudios de viabilidad predial técnica y financiera considerando la zonificación regional de amenaza y riesgo generada en este estudio en donde el trazado de alternativas busque dar preferencia a aquellas áreas que se encuentren en amenaza baja o media por inundaciones, avenidas torrenciales y movimientos en masa.
- Información primaria geológica, geomorfológica, de coberturas vegetales, topográfica, batimétrica, exploración y zonificación geotécnica para procesos de análisis determinísticos en el marco de la definición de medidas de mitigación de amenaza, reducción de riesgo y protección de infraestructura pública y privada según lo ordenado en la Ley 1523 de 2012, ley 400 de 1997 (modificada por la ley 1229 de 2008), Decreto 926 de 2010, especificaciones técnicas INVIAS para puentes y vías y demás normativa relacionada con construcción de infraestructura.
- Estudios locales de zonificación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo así como el diseño de alternativas para mitigación y reducción del riesgo en el corto, mediano y largo plazo que incluyan análisis de estabilidad de taludes, modelación hidrodinámica y de capacidad hidráulica de cuerpos de agua, 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, diseño de aliviaderos, saneamiento predial y otras medidas prospectivas estructurales y no estructurales.
- Las áreas que estén proyectadas por necesidad o conveniencia para uso de suelo de protección por criterios distintos a la condición de amenaza, sin importar la calificación de esta última, pueden llevarse a categoría de protección sin necesidad de realizar estudios más detallados de amenaza o riesgo pues primaría sobre cualquier restricción o condicionamiento en función de la amenaza natural que es propia del territorio e intrínseca de los materiales del subsuelo y su morfometría de manera que la presencia de movimientos en masa, inundaciones o avenidas torrenciales se convierte en parte del proceso natural necesario para la conservación de los ecosistemas.

Existen áreas urbano-rurales que deben ser objeto de análisis con mayor detalle pues por no encontrarse dentro de los alcances del proyecto no están cartografiados









ni caracterizados en la escala de análisis propio de riesgos que requiere técnicamente, razón por la cual no están evidentes en los resultados de la zonificación de riesgo. Trascendiendo a la restricción mencionada se plantea que algunos de estos deben ser considerados con tratamiento especial y prioritario para que se controlen los riesgos actuales y la generación de nuevos riesgos que posiblemente se estén derivando en el corto, mediano y largo plazo.

Las fronteras urbano-rurales corresponden con las áreas de crecimiento urbano informal en la periferia de la cabecera municipal 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:

7.15.1 Zonas de amenaza por movimientos en masa

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









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

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

7.15.2 Zonas de amenaza por inundaciones

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

También es importante contar con una red de propia de instrumentación hidrometeorológica con al menos una estación pluviográfica por cada subcuenca y sensores de nivel a lo largo del cauce principal del río Hacha 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 a establecer en cada sector de la cuenca. Las inundaciones pueden generan afectación en términos de gran extensión, pero la recuperación post evento para este tipo de amenaza es la más práctica con consecuencias controlables si se llevan a cabo los mecanismos de adaptación adecuados en lugar de establecer restricciones directas de uso.

7.15.3 Zonas de amenaza por avenidas torrenciales

A pesar que se lograron buenos resultados de zonificación de amenaza por avenidas torrenciales y se hicieron análisis adicionales a los métodos exigidos en los alcances técnicos, estos tienen un enfoque de identificación de los cuerpos de agua que pueden presentar este tipo de fenómenos físicos y su posible afectación en caso de ocurrencia. De manera que se deben adelantar estudios locales y puntuales que incluyan topografía y batimetría de detalle y todos los insumos necesarios para modelaciones hidrodinámicas y de capacidad hidráulica de la red de drenaje en cada subcuenca orientados a delimitar con mayor precisión el área de influencia de este tipo de fenómenos.

Dentro de las zonas en las que por estudios en escala de detalle se confirme la condición de amenaza alta se deberán ejecutar programas de reasentamiento, recuperación ambiental y renaturalización de áreas expuestas por este tipo de amenaza. Se reitera la importancia de 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 del río Hacha y sus principales afluentes, lo que permitirá complementar la 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 e implementación de obras de obras orientadas a mitigar las condiciones de amenaza en algunos sectores para condicionar su uso y aprovechamiento.









7.15.4 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. Para esta amenaza específica 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.

- Es necesario y oportuno ejecutar estudios de precio de la tierra teniendo en cuenta que 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 consular información básica (daños, afectaciones, magnitud) de los eventos amenazantes que afecten la cuenca del río Hacha, 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 Hacha presenta escenarios de alta amenaza para inundaciones, movimientos en masa e incendios forestales dentro de la misma,









si bien el resultado de la aplicación de cada una de las metodologías muestra una condición regional de la cuenca es importante que dentro de las sugerencias y recomendaciones orientadas a la gestión del riesgo se tenga en cuenta la formulación y revisión de estudios detallados orientados al control y mitigación de aquellas zonas que han sido zonificadas en condición de amenaza.

- Es necesario mayor detalle en cuanto a la información para la identificación y caracterización de los centros poblados en aquellas zonas que localmente evidenciaron condiciones de susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo para cada una de las amenazas evaluadas dentro de la cuenca.
- Luego de realizar un análisis completo asociado a las condiciones de riesgo implícitas dentro de la cuenca se observa una necesidad de conocimiento y divulgación en la comunidad y hacia los actores específicos del riesgo sobre la percepción y mitigación del mismo y esto sólo se logra a través de espacios sociales efectivos que alimenten el conocimiento de las amenazas en cada sector de la cuenca.
- Espacios liderados por el consejo de cuenca son esenciales dentro del aprendizaje y comprensión de la gestión del riesgo, de forma similar es importante formular espacios que brinden conocimiento del riesgo a la comunidad incluso desde la formación académica básica buscando mantener una cultura en el largo plazo sobre la prevención y respuesta a desastres socio-naturales.
- 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 socio-natural.
- 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 el municipio de Florencia. 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 reciente caso de Mocoa (Putumayo) en marzo de 2017 que aportan comprensión de las condiciones de riesgo en Colombia y las metodologías adecuadas para su análisis, siempre combinando el criterio cualitativo y heurístico a partir de análisis geológico y geomorfológico, la modelación hidráulica de la torrencialidad de los cauces, la modelación geotécnica de la estabilidad de las laderas y la modelación del flujo de materiales sólidos y líquidos para que la zonificación no quede reducida a solo un aspecto y se logre integrar efectivamente todo el análisis mínimo que requiere un fenómeno de esta naturaleza (geológico, geomorfológico, hidrológico, geotécnico, hidráulico y físico en general).
- Establecer esquemas de monitoreo observacional e instrumental en combinación con capacitación comunitaria e institucional en el marco de la iniciación a Sistemas de Alerta Temprana (SATs) para evitar exposición directa de vidas humanas en los instantes de ocurrencia de los fenómenos de avenidas torrenciales, inundaciones y movimientos en masa.









7.16 BIBLIOGRAFIA

ALCALDIA MUNICIPAL DE FLORENCIA - CORPORACIÓN OZONO. (2017). Estudios Básicos de la Gestión Integral del Riesgo del municipio de Florencia, Caquetá. Florencia, Caqueta: Documento en revisión.

ÁVILA, G. E., CUBILLOS, C. E., GRANA, A. E., MEDINA, E., RODRÍGUEZ, É. A., RODRÍGUEZ, C. E., & RUIZ, G. L. (2016). *Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos En Masa.* Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.

BAEZA, C. (1994). Evaluación de las condiciones de rotura y la movilidad de los deslizamientos superficiales mediante el uso de técnicas de análisis multivariante. Tesis doctoral. Departamento de Ingeniería del Terreno y Cartográfica ETSECCPB-UPC. Catalunya: Universitat Politècnica de Catalunya.

BAEZA,C. & COROMINAS, J. (1996). Assessment of shallow landslide susceptibility by means of statistical techniques. K. Senneset.

BOULANDIER, J. J., ESPARZA, F., GARAYOA, J., ORTA, C., & ANITUA, P. (2001). *Manual Extinción de Incendios.* Bomberos de Navarra Nafarroako Suhiltzaileak. Pamplona: Bomberos de Navarra.

BUTLER, B., ANDERSON, W., & CATCHPO, E. (2007). *Influence of Slope on Fire Spread Rate.* US: Forest Service Proceedings.

CAPITÁN, A. M. (2004). Guía de Recursos y Técnicas para diagnósticos participativos con enfoque de equidad de género. *Investigación aplicada al Desarrollo y Formación sobre: Visiones de desarrollo y Educación para una Ciudadanía Crítica y transformadora*. Cordoba, España.

CARRARA A, C. M. (Agosto de 1991). GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. *Earth Surface Processes and Landforms*, *16*(5), 427–445. Obtenido de onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/esp.3290160505

COLOMBIA. CONGRESO DE COLOMBIA. (24 de Abril de 2012). LEY 1523 DE 2012. Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de esastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones, 58. Bogotá: Diario Oficial 48411 de abril 24 de 2012.









COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. (24 de Julio de 1997). LEY 388 DE 1997. Por la cual se modifica la Ley 9ª de 1989, y la Ley 3ª de 1991 y se dictan otras disposiciones., 49. Bogotá: Diario Oficial No. 43.091, de 24 de julio de 1997.

COLOMBIA. PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA. (Julio de 24 de 1998). Decreto 1420 de 1998. Por el cual se reglamentan parcialmente el art 37 de la Ley 9 de 1989, el art 27 del Decreto-ley 2150 de 1995, los art 56, 61, 62, 67, 75-77, 80, 82, 84 y 87 de la Ley 388 de 1997 y, el art. 11 del Decreto-ley 151 de 1998, que hacen referencia a avaluos. Bogotá.

COMITÉ NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO DEL RIESGO. (2017). Terminología sobre Gestión del Riesgo de Desastres y Fenómenos Amenazantes. Bogotá: Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres.

COROMINAS, J. (2015). *Tipos de rotura en laderas y taludes.* Obtenido de researchgate:

https://www.researchgate.net/publication/260386631_Tipos_De_Rotura_En_Lader as_Y_Taludes

CORPOAMAZONIA - HYLEA LTDA. (2009). Contrato de Consultoría 0692-2008. Identificación, evaluación y determinación de amenazas ambientales en los sectores b y c del barrio nueva Colombia de la ciudad de Florencia por inundación, av. torrenciales y procesos de remoción en masa a escala 1:2000. Informe Final, Florencia.

CORPOAMAZONIA - Universidad Nacional de Colombia. (2018). *Convenio 588-2016. Estudio para el Acotamiento de la Ronda Hídrica del río Hacha.* Informe Final, Mocoa.

CORPOAMAZONIA. (2005). Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Rio Hacha 2006 - 2025. Florencia.

CRUDEN, D., & VARNES, D. (1996). Landslide Types and Processes. (A. K. Turner, Ed.) *Landslides Investigation and Mitigation*(247), 36-75.

DANE. (s.f.). *Necesidades Básicas Insatisfechas -NBI-.* Recuperado el 2016, de http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-sociales/necesidades-basicas-insatisfechas-nbi

DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL Y EMERGENCIAS - España. (s.f.). www.proteccioncivil.org. Recuperado el 2016, de http://www.proteccioncivil.org/catalogo/carpeta02/carpeta24/vademecum12/vdm01 0.htm









ESCOBAR, G. (2007). Amenazas naturales en los andes de colombia. Obtenido de Universidad Nacional: http://www.bdigital.unal.edu.co/1579/1/amn-and-colombia.pdf

FACCIOLI, E. (1991). Seismic Amplification in the presence of geological and topographic irregularities. *Proceedings of the Second IRecent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, March 11-15*, (págs. 1779-1797). St. Louis, Missouri.

GEILFUS, F. (2009). 80 herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación. *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura*. San José de Costa Rica, Costa Rica: Byron Miranda Abaunza.

GLADE, T., & CROZIER, M. (2005). A review of scale dependency in landslide. Chichester: Wiley.

GONZÁLEZ G., Á. (2009). Factores de seguridad... ¿por qué tantos? . *V encuentro de ingenieros de suelos y estructuras*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

GUZZETTI, F., REICHENBACH, P., CARDINALI, M., & GALLI, A. M. (2005). Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. *Geomorphology*, 272 -299.

IDEAM. (2016 йил 03-08). *IDEAM.* From Amenazas de Inundación: http://www.ideam.gov.co/web/agua/amenazas-inundacion

IDEAM; PNUD; Alcaldía de Bogotá; Gobernación de Cundinamarca; CAR; Corpoguavio; Instituto Alexander von Humboldt; Parques Nacionales Naturales de Colombia; MADS; DNP. (2012). Piloto de asistencia técnica para incorporar la estión integral de riesgos hidroclimáticos en el ordenamiento territorial municipal. Bogotá. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2011). Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal - Escala 1:100.000. IDEAM, Bogotá, D. C.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (s.f.). *IDEAM*. Recuperado el 2016, de http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/susceptibilidad-de-las-coberturas

JIBSON, R. (1987). Summary of research on the effects of topographic amplification of earthquake shaking on slope stability. *U.S. Geological Surve*(87-268).









LUENGAS, J., & PERICO, N. (2017). Criterios complementarios para evaluación de amenazas y riesgos en escalas regionales para ordenamiento territorial. Bogotá, Colombia: Biblioteca GEOTRIE Ciencias e Ingeniería.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. (2014). Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación de manejo de cuencas hidrográficas POMCAS. Bogotá.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, F. (2014). Protocolo Para La Incorporación De La Gestión Del Riesgo En Los Planes De Ordenación Y Manejo De Cuencas Hidrográficas.

MORENO RODRIGUEZ, J. M., RODRIGUEZ-URBIETA, I., ZABALA ESPIÑEIRA, G., & MARTÍN, M. (2015). *Impactos del Cambio Climático en Castilla - La Mancha.* Toledo, Toledo: Fundación General de Medio Ambiente.

NURIA, S. Q. (2001). Análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de SIG – Aplicación a la cuenca alta del río LLobrega. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.

PÁRAMO, G. (2007). Análisis, diagnóstico y elaboración del mapa de susceptibilidad a los incendios de la Cobertura Vegetal en Colombia. Bogotá: MAVDT – FONADE.

PARRA LARA, A. d. (2011). Incendios de la cobertura vegetal. Cali, Colombia.

PERICO, N. (2017). Caracterización del escenario de riesgo por movimientos en masa en Bogotá. Concepto de revisión de susceptibilidad a movimientos en masa por métodos estadísticos para Bogotá. Obtenido de Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático-IDIGER: http://www.idiger.gov.co/rmovmasa

PERICO, N., & GUILLERMO ÁVILA, G. (2015). Determinación de curvas de vulnerabilidad de viviendas ante procesos de remoción en masa en la ciudad de Bogotá. En *Fundamentals to Applications in Geotechnics* (págs. 2988 - 2994). Argentina: Diego Manzanal, Alejo O. Sfriso.

PORTILLA, M. (2001). Aplicación de los Sistemas de Lógica Difusa en la Evaluación de la Susceptibilidad a Fenómenos de Remoción en Masa. *Geología Colombiana*, v. 26, pp. 189 - 205.









PORTILLA, M. (2012). Notas de clase de amenza. En S. N. Minería, *Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades andinas, 2007: Movimientos en masa de la Región Andina: Una guía para la evaluacion de amenaza.* Bogota D.C, Colombia: Maestría en Ciencias - geología. UN - Sede Bogotá.

SAATY, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, págs. 9 - 26.

SANTACANA, N. B. (Noviembre de 2003). A GIS-based multivariate statistical analysis for shallow landslide susceptibility mapping in la pobla de lillet area (eastern pyrenees, spain). *Natural Hazards*, *30*(3), 281 -95.

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO (SGC). (2012). Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000. Bogotá D.C.

SGC - SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. (2012). Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000. Bogotá D.C. 56 p.

SGC -Servicio Geológico Colombiano. (2012). Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000. Bogotá D.C.

TURCOTTE, D., & MALAMUD, B. (2000). Cellular - automata models spplied to natural hazards. *IEEE Computing Science and Engineering*, 42 - 51.

VAN DER HAMMEN, M. C., FRIERI, S., & ZAMORA. (2012). Autodiagnostico: Reflexionar para conocer el territorio . *Herramientas para la formación en contextos interculturales*. Bogotá, Colombia.

VARNES, D. (1978). Slope Movement: Types and Proceses. *Landslides: Analysis and Control. Transportation Research Board*(176), 11-33.