

TABLA DE CONTENIDO

1	CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL RIESGO	10
1.1	Resumen ejecutivo	10
1.2	Introducción	10
1.2.1	Alcances	12
1.2.2	Generalidades	12
1.2.3	Definiciones básicas	12
1.3	Marco teórico	15
1.3.1	Procesos analíticos jerárquicos	15
1.3.2	Paleo inundaciones	16
1.3.3	Análisis discriminante y correlaciones canónicas	17
1.3.4	Índices morfométricos de las cuencas.....	25
1.3.5	El índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET).....	26
1.4	Caracterización histórica de amenazas y eventos amenazantes	29
1.4.3	Mapa de eventos.....	32
1.5	Identificación, clasificación y caracterización de fenómenos amenazantes y evaluación de la amenaza por movimientos en masa	38
1.5.3	Descripción metodológica para obtener susceptibilidad a movimientos en masa	39
1.5.4	Descripción de las variables de susceptibilidad a movimientos en masa	44
1.5.5	Análisis de la zonificación de la susceptibilidad a movimientos en masa	69
1.5.6	Descripción metodológica para obtener amenaza por movimientos en masa	77
1.5.7	Descripción de las variables de amenaza por movimientos en masa	80
1.5.8	Análisis de la zonificación de la amenaza a movimientos en masa	88
1.5.9	Recomendaciones e Identificación de Necesidades de Información	91
1.6	Identificación, clasificación y caracterización de fenómenos amenazantes y de evaluación de la amenaza por inundaciones	92
1.6.3	Descripción metodológica para obtener susceptibilidad a inundaciones.....	92
1.6.4	Variables de susceptibilidad a inundaciones	96
1.6.5	Análisis de la zonificación de la susceptibilidad a inundaciones	104
1.6.6	Descripción metodológica para obtener amenaza por inundaciones.....	106
1.6.7	Descripción de las variables de amenaza por inundaciones	107
1.6.8	Análisis de la zonificación de la amenaza a inundaciones.....	110
1.6.9	Recomendaciones e Identificación de Necesidades de Información	111

1.7	Identificación, clasificación y caracterización de fenómenos amenazantes y evaluación de la amenaza por incendios forestales	112
1.7.3	. Descripción metodológica para obtener susceptibilidad a incendios forestales.....	112
1.7.4	Descripción de las variables de susceptibilidad a incendios forestales	113
1.7.5	Análisis de la zonificación de la susceptibilidad a incendios forestales.....	123
1.7.6	Análisis de la zonificación de la amenaza a incendios forestales.....	127
1.7.7	Recomendaciones e Identificación de Necesidades de Información	128
1.8	Identificación, clasificación y caracterización de fenómenos amenazantes y evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales	129
1.8.1	Resumen.....	129
1.8.2	Introduccion.....	130
1.8.3	Descripción metodológica para obtener susceptibilidad a avenidas torrenciales	130
1.8.4	Variables de susceptibilidad a avenidas torrenciales	133
1.8.5	Análisis de la zonificación de la susceptibilidad a avenidas torrenciales.....	144
1.8.6	Descripción metodológica para obtener amenaza por avenidas torrenciales	148
1.8.7	Análisis de la zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales	148
1.8.8	Recomendaciones e Identificación de Necesidades de Información	150
1.9	Identificación, clasificación y caracterización de fenómenos amenazantes y evaluación de la amenaza por eventos volcánicos, tsunamis, desertización y erosión costera.....	151
1.9.1	Complejo Volcánico Galeras.....	151
1.9.2	Complejo Volcánico Doña Juana	158
1.9.3	Recomendaciones e Identificación de Necesidades de Información	161
1.10	Análisis de las condiciones de vulnerabilidad.....	162
1.10.1	Exposición.....	162
1.10.2	Fragilidad	197
1.10.3	Falta de Resiliencia	206
1.10.6	Vulnerabilidad a movimientos en masa	216
1.10.7	Vulnerabilidad a inundaciones.....	217
1.10.8	Vulnerabilidad a incendios forestales.....	217
1.10.9	Vulnerabilidad a avenidas torrenciales.....	218
1.11	Análisis de las condiciones de riesgos	219
1.12	Bibliografía	224

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Matriz de comparación por pares.....	15
Figura 2. Matriz Normalizada	15
Figura 3. T –norma, T- Cornorma y Operadores promedio.	22
Figura 4. Registro de ocurrencia de eventos para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.	31
Figura 5. Mapa de eventos amenazantes para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú	32
Figura 6. Recurrencia de eventos por movimientos en masa para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú. 33	
Figura 7. Recurrencia de eventos por inundaciones para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.	34
Figura 8. Recurrencia de eventos a incendios forestales para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú	36
Figura 9. Recurrencia de eventos de Avenidas Torrenciales para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú. 37	
Figura 10. Metodología para evaluación de susceptibilidad a movimientos en masa.....	41
Figura 11. Localización de eventos de remoción en masa en función a la susceptibilidad a movimientos en masa 44	
Figura 12. Mapa de procesos antiguos y recientes de movimientos en masa para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.	45
Figura 13. Modelo Digital del Terreno DTM utilizado para calcular variables de características geométricas de la ladera en función de la susceptibilidad a movimientos en masa.....	46
Figura 14. Características geométricas de la ladera en función a la susceptibilidad a movimientos en masa 47	
Figura 15. Pendiente de ladera en función de la susceptibilidad a movimientos en masa.	48
Figura 16. Pendiente senoidal de ladera en función de la susceptibilidad a movimientos en masa.....	49
Figura 17. Pendiente media de ladera en función de la susceptibilidad a movimientos en masa.	50
Figura 18. Rugosidad en función de la susceptibilidad a movimientos en masa.....	51
Figura 19. Curvatura del terreno en función de la susceptibilidad a movimientos en masa.	52
Figura 20. Curvatura del terreno con respecto al perfil en función de la susceptibilidad a movimientos en masa. 53	
Figura 21. Curvatura del terreno con respecto al plano horizontal en función de la susceptibilidad a movimientos en masa.....	54
Figura 22. Insolación en función de la susceptibilidad a movimientos en masa.	55
Figura 23. Orientación de ladera en función de la susceptibilidad a movimientos en masa.....	57
Figura 24. Acumulación de la cuenca en función de la susceptibilidad a movimientos en masa.	58
Figura 25. Longitud de cuenca acumulada en función de la susceptibilidad a movimientos en masa.	59
Figura 26. Variables con relación de proximidad en función a la susceptibilidad a movimientos en masa. 61	

Figura 27. Relación de proximidad de fallas locales y lineamientos en función a la susceptibilidad a movimientos en masa. 62

Figura 28. Distribución de cada una de las variables contempladas dentro del modelo de susceptibilidad a movimientos en masa. 69

Figura 29. Resultados del test de Kolmogorov – Smirnov. 70

Figura 30. Matriz de correlaciones entre variables. 72

Figura 31. Proyección de las variables en un espacio tridimensional formado por los tres primeros factores del Análisis Factorial de Componentes Principales de la cuenca hidrográfica del río Juanambú. 72

Figura 32. Mapa de Susceptibilidad por Movimientos en Masa. 76

Figura 33. Número de curva para la cuenca hidrográfica del río Juanambú. 83

Figura 34. Retención potencial para la cuenca hidrográfica del río Juanambú. 84

Figura 35. Coeficiente de Aceleración Sísmica. 85

Figura 36. Zonificación de la amenaza a movimientos en masa. 90

Figura 37. Análisis multitemporal de imágenes satelitales del Río Juanambú, en donde se aprecia los rastros de inundación. 93

Figura 38. Variables que determinan a la zonificación de la susceptibilidad a la amenaza por Inundaciones. 97

Figura 39. Mapa de Susceptibilidad de Subunidades Geomorfológicas a inundaciones, para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú. 100

Figura 40. Frecuencia de ocurrencia de eventos históricos de inundación registrados para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú discriminados según unidad geomorfológica que afectan. 101

Figura 41. Mapa de Susceptibilidad de las Unidades de Terreno a inundaciones, para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú. 103

Figura 42. Frecuencia de ocurrencia de eventos históricos por inundación para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú, discriminada según la unidad de terreno que afecta. 104

Figura 43. Mapa de Susceptibilidad a inundaciones para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú. . 106

Figura 44. Temporalidad de los eventos históricos por inundaciones, para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú. 107

Figura 45. Registro de eventos históricos para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú, discriminados según los municipios que afectaron. 108

Figura 46. Temporalidad de los eventos históricos para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú, discriminada por municipios. 108

Figura 47. Registro anual por inundaciones para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú. 109

Figura 48. Registro interanual por inundaciones para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú. 109

Figura 49. Mapa de Amenaza a inundaciones para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú 110

Figura 50. Localización de Incendios en función a la susceptibilidad a incendios forestales. 113

Figura 51. Características de la vegetación en función a la susceptibilidad a incendios forestales. 114

Figura 52. Duración de combustible Incendios Forestales.....	116
Figura 53. Indicador de duración del combustible para incendios forestales en la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.	119
Figura 54. Indicador de carga total de combustible para incendios forestales en la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.	122
Figura 55. Mapa de susceptibilidad a incendios forestales para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú. 123	
Figura 56. Factor antrópico en función a la amenaza a incendios forestales.	126
Figura 57. Mapa de Amenaza a incendios forestales para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.	127
Figura 58. Índices implícitos en el cálculo del índice de variabilidad a eventos torrenciales.	133
Figura 59. Índice de Variabilidad para Eventos Torrenciales.	134
Figura 60. Índice Morfométrico para avenidas torrenciales.....	137
Figura 61. Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales.	139
Figura 62. Índice de Melton para avenidas torrenciales.....	140
Figura 63. Valle en V, con actividad erosiva sobre una ladera en la cuenca hidrográfica del río Juanambú. Se evidencia el aporte de material al cauce, aumentando su densidad y su energía.	141
Figura 64. Unidades geomofológicas en función de la ocurrencia de avenidas torrenciales.	142
Figura 65. Material fluvio-torrencial, aportado a un cauce aluvial de un afluente del Río Juanambú....	143
Figura 66. Susceptibilidad a eventos torrenciales para la Cuenca hidrográfica del río Juanambú.	144
Figura 67. Amenaza por avenidas torrenciales.	149
Figura 68. Zona que podría ser afectada por CDP (flujos y oleadas piroclásticas) generadas en erupciones del volcán Galeras.....	152
Figura 69. Salida Cartográfica de la Amenaza Volcánica para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú 153	
Figura 70. A. Integración de los mapas de isópacas (1992 a 2010), reflejando la distribución de los piroclastos de caída en diferentes direcciones, debido principalmente a la variación en altura de columnas eruptivas y en la dirección del viento. B. Resultado de las simulaciones computacionales.....	154
Figura 71. Zonificación de amenaza por piroclastos de caída transportados eólicamente para la dirección predominante de los vientos (colores sólidos), mostrando los círculos (en línea punteada) que delimitan las zonas de amenaza que contemplan, adicionalmente, áreas que no se encuentran en la dirección preferencial de los vientos.....	154
Figura 72. Zonificación de la amenaza por proyectiles balísticos.	155
Figura 73. Zonificación para ondas de choque producidas por explosiones en el volcán Galeras.....	156
Figura 74. Zonas de amenaza alta por flujos de lava en el volcán Galeras.....	156
Figura 75. Zonificación (amenaza alta) por lahares que muestra las áreas que podrían ser afectadas por este fenómeno asociado a actividad del volcán Galeras.	157
Figura 76. Volcanes activos, Departamento de Nariño.....	158

Figura 77. Fotografía del Complejo volcánico Doña Juana, sobrevuelo SGC (2008).	159
Figura 78. Imagen del Puente afectado por la avalancha, y área afectada por el flujo de lodo, cercanías al municipio de Buesaco, Nariño	160
Figura 79. Área de influencia del Complejo volcánico Dona Juana	160
Figura 80. Variables que incluyen la exposición de función a la vulnerabilidad.	163
Figura 81. Valores por hectárea del uso del Suelo Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.	166
Figura 82. Índice de exposición a movimientos en masa	167
Figura 83. Elementos expuestos en zonas de amenaza por Movimientos en Masa.	174
Figura 84. Índice de exposición a inundaciones.....	175
Figura 85. Elementos expuestos en zonas de amenaza por Inundaciones.	182
Figura 86. Índice de exposición a incendios forestales	183
Figura 87. Elementos expuestos en zonas de amenaza por Incendios Forestales.....	189
Figura 88. Índice de exposición a avenidas torrenciales	190
Figura 89. Variables que incluyen la fragilidad de función a la vulnerabilidad.....	198
Figura 90. Índice fragilidad a movimientos en masa.	202
Figura 91. Índice de fragilidad a inundaciones	203
Figura 92. Índice de fragilidad a incendios forestales	204
Figura 93. Índice de fragilidad a avenidas torrenciales.....	205
Figura 94. Variables para determinar la falta de resiliencia.	206
Figura 95. Falta de Resiliencia	214
Figura 96. Vulnerabilidad a movimientos en masa.....	216
Figura 97. Vulnerabilidad a inundaciones	217
Figura 98. Vulnerabilidad a incendios forestales	217
Figura 99. Vulnerabilidad a avenidas torrenciales.....	218
Figura 100. Riesgo por Movimientos en Masa.....	220
Figura 101. Riesgo por Inundaciones	221
Figura 102. Riesgo por Incendios Forestales	223
Figura 103. Riesgo por Avenidas Torrenciales.....	224

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Identificación de los procesos hidrogeomorfológicos según los parámetros de Melton y la Longitud de la cuenca.	26
Tabla 2. Clasificación categórica del índice de variabilidad.....	26
Tabla 3. Relaciones para categorías de índices morfométricos.....	27
Tabla 4. Matriz de decisión de la clasificación de índice de variabilidad frente a eventos torrenciales IVET. 27	
Tabla 5. Reporte de eventos históricos para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú, especificando las fuentes de consulta y las áreas afectadas.	29
Tabla 6. Porcentaje de especialización de eventos.	32
Tabla 7. Variables utilizadas para el modelo de susceptibilidad a movimientos en masa.	42
Tabla 8. Calificación y categorización de curvatura del terreno.	52
Tabla 9. Calificación y categorización de curvatura del terreno con respecto al perfil.	53
Tabla 10. Calificación y categorización de curvatura del terreno con respecto al plano horizontal.	54
Tabla 11. Calificación y categorización de la orientación de la ladera.	56
Tabla 12. Calificación y categorización de la distancia de fallamiento local.	62
Tabla 13. Calificación de la susceptibilidad del tipo de unidad geológica.	64
Tabla 14. Calificación de la susceptibilidad del tipo de subunidad geomorfológica.....	66
Tabla 15. Calificación de la susceptibilidad del tipo de Cobertura (CORINE LAND COVER) a movimientos en masa. 67	
Tabla 16. Contraste entre poblaciones (T-Test).....	73
Tabla 17. Anova.....	74
Tabla 18. Coeficientes de funciones canónicas discriminantes.	75
Tabla 19. Escenarios evaluados para la zonificación de amenaza por movimientos en masa.	79
Tabla 20. CN a partir de cobertura y suelo hidrológico.....	82
Tabla 21. Parametros geomecánicos Unidades Geológicas Superficiales de la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú. 86	
Tabla 22. Grados de estabilidad según los resultados del factor de seguridad.	88
Tabla 23. Criterio para la clasificación de la amenaza en función de la probabilidad de falla.....	89
Tabla 24. Calificación de susceptibilidad de las subunidades geomorfológicas a inundaciones de la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú, según morfocronología.	98
Tabla 25. Calificación de susceptibilidad a inundación de las unidades de terreno según morfocronología, registrados para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.	102
Tabla 26. Categorización de la recurrencia de los eventos de inundación.	107
Tabla 27. Categorización de las zonas de susceptibilidad a incendios forestales.	113
Tabla 28. Indicador Tipo de Combustible Predominante.	115

Tabla 29. Indicador duración de los combustibles.	117
Tabla 30. Indicador carga total de combustible.	119
Tabla 31. Indicador de temperatura.	125
Tabla 32. Indicador de Precipitación.	125
Tabla 33. Indicador de Distancia Vías.	126
Tabla 34. Clasificación del índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales (IVET).....	131
Tabla 35. Relaciones para categorías de índices morfométricos.....	132
Tabla 36. Categorización según el índice de variabilidad.....	132
Tabla 37. Índice morfométrico para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.	135
Tabla 38. Subcuencas con susceptibilidad a Avenidas Torrenciales.	145
Tabla 39. Tabla de comparación de Coeficiente de fiabilidad y verificación de puntos para avenidas torrenciales en la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.....	147
Tabla 40. Comparación de coeficiente de fiabilidad y verificación por puntos para avenidas torrenciales en la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.	149
Tabla 41. Índice de pérdidas de cada cobertura vegetal de acuerdo a la exposición a cada amenaza.	164
Tabla 42. Valores por hectárea de densidad de población.	165
Tabla 43. Distribución de porcentual de pérdida por movimientos en masa para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.	167
Tabla 44. Distribución de porcentual de pérdida por inundaciones para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.	175
Tabla 45. Distribución de porcentual de pérdida por incendios forestales para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.	183
Tabla 46. Distribución de porcentual de pérdida por avenidas torrenciales para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.	190
Tabla 47. Índice de fragilidad total.....	198
Tabla 48. Áreas de Patrimonio Natural y Cultural para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.	199
Tabla 49. Valores índices de condiciones de vida por municipio.	200
Tabla 50. Valores Índices de necesidades básicas insatisfechas por municipio.	201
Tabla 51. Categorías de fragilidad de los ecosistemas estratégicos.	201
Tabla 52. Normalización de categorías ecosistémicas en función al índice de fragilidad.....	202
Tabla 53. Falta de resiliencia.	207
Tabla 54. Calificación de la categoría para cada respuesta realizada.	209
Tabla 55. Evaluación de la capacidad de respuesta institucional a partir de la distancia a su ubicación.	209
Tabla 56. Estandarización y calificación de la falta de resiliencia medida en disponibilidad de un centro de salud cercano.	210

Tabla 57. Centros de salud presentes en la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú. 210

Tabla 58. Evaluación de la capacidad de respuesta por parte del cuerpo de bomberos..... 211

Tabla 59. Calificación: Personal de búsqueda, rescate y orden público. 212

Tabla 60. Estandarización y calificación de la falta de resiliencia medida en disponibilidad de una estación de policía. 212

Tabla 61. Estandarización y calificación de la falta de resiliencia medida en disponibilidad de una institución de rescate. 213

Tabla 62. Calificación según el nivel de desarrollo. 213

Tabla 63. Estandarización y calificación de la falta de resiliencia medida en disponibilidad de nivel de desarrollo. 213

Tabla 64: Calificación según el nivel educativo. 214

Tabla 65. Matriz propuesta para la Categorización de niveles de riesgo..... 219

1 CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL RIESGO

1.1 RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo se centra en la identificación y evaluación de las diferentes amenazas que afectan el área de la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú, junto con los diferentes factores de vulnerabilidad que le atañen; esto con el propósito de establecer y delimitar condición de riesgo por cada una de las amenazas presentes en la sub zona hidrográfica.

Para este caso, la metodología planteada se basa en un análisis espacial, que permite el óptimo manejo de la información estructurada por medio de variables de entrada, que evalúan las diferentes temáticas de los componentes de gestión de riesgo por medio de herramientas SIG, constituyéndose como el instrumento principal de modelación para la zonificación esperada.

En el presente documento, que da cuenta de la Fase de Diagnóstico, de acuerdo con el anexo técnico del POMCA de la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú, contiene una caracterización histórica de amenazas y eventos amenazantes (donde se caracteriza y describe inicialmente el catálogo de cada uno de los eventos amenazantes evaluados dentro de la cuenca, adicional se realiza una descripción previa a la zonificación de susceptibilidad y amenaza de movimientos en masa, inundaciones, incendios forestales y avenidas torrenciales que incluye la metodología, la definición de las variables a considerar de manera independiente para cada uno de los eventos amenazantes y posteriormente se realiza un análisis de la zonificación por susceptibilidad y amenaza de acuerdo con las características de la zona a evaluar y finalmente se hace un análisis de las condiciones de vulnerabilidad. Lo anterior se realiza con el fin de establecer la inclusión de cada una de las temáticas en el modelo general para determinar la zonificación determinística de las condiciones y escenarios de riesgo, realizando unas recomendaciones finales e identificación de necesidades de información e investigación.

1.2 INTRODUCCIÓN

El presente documento técnico corresponde a la Fase de Diagnóstico del proyecto de elaboración del plan de ordenación y manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú, incluida dentro del plan de incorporación del componente de gestión del riesgo como determinante ambiental del ordenamiento territorial en los procesos de formulación y/o actualización de planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas afectadas por el fenómeno de la niña 2010-2011, en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Nariño.

En coherencia con lo anterior, el presente trabajo se centra en la identificación y evaluación de las diferentes amenazas que afectan el área de la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú, junto con los diferentes factores de vulnerabilidad que le atañen; esto con el propósito de establecer y delimitar condición de riesgo por cada una de las amenazas presentes en la sub zona hidrográfica.

La legislación actual, considerando la importancia de la prevención del riesgo en la planeación municipal, ha planteado por medio de la Ley 46 de 1988 la creación del "Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (SNPAD)", a su vez el Decreto 919 de 1989 considera que "Todas

las entidades tendrán en cuenta en sus planes de desarrollo, el componente de prevención de desastres”, lo cual representa la base para el trabajo en materia de amenazas a nivel municipal.

Adicionalmente la Ley 388 de 1997 o Ley Orgánica de ordenamiento territorial es un instrumento normativo de planeación y gestión creado en función de la organización y desarrollo del territorio, herramienta clave la ordenanza del territorio teniendo como eje la gestión ambiental.

En la medida que cada municipio elabore su plan de ordenamiento, con un buen componente de gestión del riesgo, podrá conocer mejor las dinámicas del territorio y determinar, entre otros, zonas con mayor susceptibilidad y amenaza a los diversos eventos amenazantes. Lo anterior es de suma importancia ya que permite formar a los habitantes, asignar recursos financieros y personal para prevenir, mitigar, alertar, responder, rehabilitar y recuperarse ante cualquier evento catastrófico.

En el presente documento se detalla, entre otras cosas, la metodología propuesta para la determinación de la zonificación de susceptibilidad y amenaza a inundaciones en la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú, desarrollada a partir de la estructura planteada en el protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los POMCA (Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas), realizado por el Fondo de Adaptación, MinHacienda y MinAmbiente, en la que se busca desarrollar la temática de gestión del riesgo de una manera integral.

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

Para este caso, la metodología planteada se basa en un análisis espacial, que permite el óptimo manejo de la información estructurada por medio de variables de entrada, que evalúan las diferentes temáticas de los componentes de gestión de riesgo por medio de herramientas SIG, constituyéndose como el instrumento principal de modelación para la zonificación esperada.

Este documento da cuenta de la Fase de Diagnóstico, de acuerdo con el anexo técnico del POMCA de la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú, estructurándose de la siguiente forma: Inicialmente se puntualiza el alcance y se determinan las definiciones básicas sobre las que se orienta el desarrollo de la metodología; después se hace una caracterización histórica de amenazas y eventos amenazantes (donde se describe la metodología, se definen las variables a considerar de manera independiente para cada uno de los eventos y posteriormente se realiza un análisis de la zonificación por susceptibilidad y amenaza de acuerdo con las características de la zona a evaluar) y finalmente se hace un análisis de las condiciones de vulnerabilidad. Lo anterior se realiza con el fin de establecer la inclusión de cada una de las temáticas en el modelo general para determinar la zonificación de las

condiciones y escenarios de riesgo, realizando unas recomendaciones finales e identificación de necesidades de información e investigación.

1.2.1 Alcances

- Desarrollar procesos de conocimiento, reducción y recuperación en zonas de riesgo, sobre la biodiversidad y los servicios eco sistémicos, que pueden ser afectados por la ocurrencia de eventos peligrosos de origen natural.
- Coordinar y articular entidades públicas y privadas del SNGRD, desde los aspectos ambientales, para realizar acciones tendientes a la protección de la población, sus bienes y sus actividades ante la probabilidad de ocurrencia de eventos de origen natural
- Identificar, caracterizar y especializar fenómenos que puedan convertirse en una amenaza para mantener el equilibrio entre el aprovechamiento social y económico del suelo, agua, flora y fauna y la conservación de la estructura físico – biótica de la cuenca, particularmente del recurso hídrico.
- Categorizar las zonas de amenazas y/o susceptibilidad de baja, media y alta, en atención a la necesidad de identificar las áreas que requieren intervención correctiva del riesgo existente, en los escenarios de riesgos priorizados, y las áreas que requieren intervención prospectiva al nuevo riesgo.
- Analizar la relación de los fenómenos amenazantes con los efectos de la variabilidad climática, por eventos extremos.
- Priorizar acciones dirigidas al conocimiento, la reducción del riesgo y la recuperación ambiental de los territorios afectados, por la manifestación de los fenómenos amenazantes.
- Evaluar las probables afectaciones de los elementos expuestos, el análisis de vulnerabilidad de forma cualitativa y semicuantitativa, en algunos casos, se podrá realizar una evaluación de daños de los elementos expuestos, donde exista la información detallada y la capacidad técnica necesaria para esta evaluación.

1.2.2 Generalidades

El área de interés del presente proyecto comprende la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú, dentro del departamento de Nariño, que abarca un área de 209455,821091Ha, donde se ubican 15 municipios del departamento de Nariño los cuales son: Pasto, Chachagüí, Buesaco, Tablón de Gómez, San José de Albán, Arboleda, San Pedro de Cartago, San Lorenzo, Taminango, Tambo, El Peñol, Nariño, La Florida, San Bernardo y Tangua.

1.2.3 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 términos involucrados dentro de la gestión del riesgo:

- a) **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".
- b) **Fuente:** Lugar o sitio donde se puede generar un evento.
- c) **Evento:** Cualquier acontecimiento que probablemente pueda ocurrir en una posición y momento determinados, que lo definen como un punto en el espacio-tiempo y que representa a la fuente en términos de las respectivas características, dimensiones y localización geográfica (Portilla, 2012).
- d) **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. Las inundaciones lentas, que es el enfoque que se realizará en este estudio, 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)).
- e) **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, 2000); (Guzzetti, 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.
- f) **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, 2005).
- g) **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, 2012).
- h) **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 (MINAMBIENTE, 2014).

- i) **Amenaza:** Probabilidad de ocurrencia de un evento, o de la materialización de una fuente, en un sitio específico durante un periodo de tiempo determinado (Portilla, 2012). Una evaluación de una amenaza incluye un estudio previo de la susceptibilidad y de la posibilidad de que ocurra un evento detonante que materialice la fuente.
- j) **Movimientos en masa:** Equivale a definiciones como procesos de remoción en masa, fenómenos de remoción en masa, deslizamientos o fallas de taludes y laderas. La terminología y clasificación de movimientos en masa para este documento es conforme a la Guía para la evaluación de amenazas por movimientos en masa propuesta por el Proyecto Multinacional Andino (PMA), adoptada por Colombia (PMA: GCA, 2007), en la que movimientos en masa incluye todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad (Ávila, y otros, 2015)
- k) **Avenidas torrenciales:** Las avenidas torrenciales son crecientes súbitas que por las condiciones geomorfológicas de la cuenca están compuestas por un flujo de agua con alto contenido de materiales de arrastre, con un gran potencial destructivo debido a su alta velocidad. Son uno de los tipos más comunes de amenazas y son extremadamente peligrosas debido a su naturaleza rápida. Sus características son: corta duración, pequeña extensión de área de influencia, alto caudal pico y flujo rápido generalmente causantes de daños importantes a la propiedad. Ocurren a causa de tormentas de alta intensidad, en áreas de altas pendientes en las cuencas y cobertura vegetal pobre y se ven afectadas de manera importante cuando el índice de infiltración se reduce por tormentas previas. Se pueden subdividir de acuerdo con el material de arrastre de la corriente (MINAMBIENTE, 2014).
- l) **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, 2011).

1.3 MARCO TEÓRICO

1.3.1 Procesos analíticos jerárquicos

Proceso analítico jerárquico (o Analytic Hierarchy Process – AHP): 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.

Posteriormente 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) (Ver Figura 1).

Figura 1. Matriz de comparación por pares

	A_1	A_2	\dots	A_n
A_1	w_1/w_1	w_1/w_2	\dots	w_1/w_n
A_2	w_2/w_1	w_2/w_2	\dots	w_2/w_n
\vdots	\vdots	\vdots	\dots	\vdots
A_n	w_n/w_1	w_n/w_2	\dots	w_n/w_n

Fuente: (Saaty, 1990)

Sobre esta matriz se divide cada uno de los valores que la conforman por el valor obtenido de la sumatoria de la columna a la que corresponde, obteniendo así la matriz normalizada, y es sobre esta matriz que se calcula el valor de importancia para cada una de las variables (o ponderación) promediando los valores de la fila correspondiente (Saaty, 1997) (Ver Figura 2).

Figura 2. Matriz Normalizada

$A_{11} / \sum_{i=1}^n A_{i1}$	$A_{12} / \sum_{i=1}^n A_{i2}$	\dots	$A_{1n} / \sum_{i=1}^n A_{in}$
$A_{21} / \sum_{i=1}^n A_{i1}$	$A_{22} / \sum_{i=1}^n A_{i2}$	\dots	$A_{2n} / \sum_{i=1}^n A_{in}$
\vdots	\vdots	\dots	\vdots
$A_{n1} / \sum_{i=1}^n A_{i1}$	$A_{n2} / \sum_{i=1}^n A_{i2}$	\dots	$A_{nn} / \sum_{i=1}^n A_{in}$

Fuente: (Saaty, 1990)

Finalmente, los valores asignados dentro de la matriz de comparación por pares son evaluados mediante el índice de consistencia (CI), lo que permite que los pesos asignados en cuanto a la

importancia de los factores sean consistentes de acuerdo con lo propuesto por el autor del proceso analítico jerárquico, buscando que este índice sea igual al 10% o menor, proporcional al tamaño de la matriz.

Índice de Consistencia

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{(n - 1)}$$

Fuente: (Saaty, 1990)

Donde λ_{max} corresponde al mayor valor propio de la matriz de comparación por pares.

1.3.2 Paleo inundaciones

Los peligros de origen natural que ocurren en nuestro planeta están asociados a procesos geológicos, geomorfológicos e hidrometeorológicos. En la medida de los conocimientos que se tengan sobre ellos se pueden prevenir y mitigar sus efectos sobre el medio ambiente y las actividades del hombre. El objetivo de este trabajo es determinar las cuencas hídricas con mayor susceptibilidad a ser afectadas por la ocurrencia de fenómenos de origen geológico-geomorfológico que en un determinado momento pueden causar un desastre

Este método 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. Esta técnica ha cobrado fuerza al ser la única que consideran fenómenos naturales difícilmente modelable con otras técnicas.

Para crecidas se dispone de la información histórica. Con ello se pueden delimitar las áreas geomorfológicamente activas dentro del cauce fluvial y sus márgenes, y por tanto susceptibles de ser inundadas en el marco de la dinámica natural de la corriente fluvial. En muchas ocasiones, y dado su carácter descriptivo, estas técnicas han sido tildadas de cualitativas y poco útiles, sin embargo, recientemente se han vuelto relevantes, al ser las únicas que consideran fenómenos naturales difícilmente modelables con otras técnicas, como la avulsión o la migración del canal, y tienen en cuenta las tendencias evolutivas naturales del sistema fluvial. Al existir determinados tipos de depósitos o marcas o arqueológicas, puede igualmente asignarse una probabilidad de ocurrencia a los caudales resultantes de la modelización hidráulica a partir de esos niveles y velocidades, integrándose de la misma forma en el análisis estadístico de caudales

Existe un amplio conjunto de formas del relieve y depósitos asociados atribuibles por su origen a los procesos fluviales sensu lato, esto es, abarcando las acciones de erosión, transporte y sedimentación que se producen en agentes que comprenden desde la arroyada difusa hasta la escorrentía canalizada.

Debido a lo anterior, es pertinente definir un dominio fluvial para aquellas morfologías y depósitos en cuya génesis han intervenido o intervienen actualmente los procesos fluviales en diversos grados e intensidades. El dominio fluvial abarca desde macromorfologías como los valles o los sistemas de aterrazamiento, hasta unidades y elementos geomorfológicos de reducidas dimensiones, como una llanura de inundación.

En el análisis de los eventos históricos, estos deben estar reflejadas por evidencias tanto geológicas como geomorfológicas que registran paleoinundaciones. En lo que respecta a las paleoinundaciones, eventos ocurridos en los últimos miles de años han quedado registrados por los sedimentos (arenas, limos y arcillas) que depositaron en las márgenes de los ríos. El análisis de los bancos que registran cambios litológicos puede evidenciar episodios de inundación superpuestos.

1.3.3 Análisis discriminante y correlaciones canónicas

El análisis discriminante es una técnica estadística que permite conocer las variables que pueden diferenciar a dos o más grupos y cuántas de estas variables son necesarios para alcanzar la mejor clasificación posible. En otras palabras, este análisis 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.

Para llegar a conocer en qué se diferencian los grupos se requiere disponer de la información (cuantificada en una serie de variables) en la que estos se diferencian. La pertenencia a los grupos, conocida de antemano, es utilizada como variable dependiente (una variable categórica con tantos valores discretos como grupos), mientras que las variables en las que se presume que se diferencian los grupos se utilizan como variables independientes o variables de clasificación (también llamadas variables discriminantes), las cuales deben ser variables cuantitativas continuas o, al menos, admitir un tratamiento numérico con significado.

El objetivo principal del análisis discriminante es encontrar la combinación lineal de las variables independientes que mejor permite discriminar a los grupos. Una vez encontrada esa combinación (la función discriminante) esta podrá ser utilizada para clasificar nuevos casos. Se trata de una técnica de análisis multivariante que es capaz de aprovechar las relaciones existentes entre una gran cantidad de variables independientes para maximizar la capacidad de discriminación.

El propósito del análisis discriminante consiste en aprovechar la información contenida en las variables independientes para crear una función D combinación lineal de X_1 y X_2 capaz de diferenciar lo más posible a ambos grupos. La función discriminante es de la forma:

$$D = b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_iX_i$$

Donde b_1 y b_2 son las ponderaciones de las variables independientes que consiguen hacer que los sujetos de uno de los grupos obtengan puntuaciones máximas en D , y los sujetos del otro grupo puntuaciones mínimas. Una vez hallada la función discriminante D , carece de sentido intentar representar la situación de los grupos en el espacio definido por las variables X_1 y X_2 . Conviene más bien centrar el interés en la representación de la función discriminante, que es unidimensional. La

representación en p dimensiones resulta complicada cuando p es mayor de 2 y añade poco o nada a la interpretación de la función.

Sustituyendo en la función discriminante el valor de las medias del grupo 1 en las variables X_1 y X_2 , obtenemos el centroide del grupo 1, y de igual modo, sustituyendo las medias del grupo 2, obtenemos el centroide del grupo 2:

$$\bar{d}_1 = b_1x_1^{-(1)} + b_2x_2^{-(1)}$$

$$\bar{d}_2 = b_1x_1^{-(2)} + b_2x_2^{-(2)}$$

La función D debe ser tal que la distancia entre los dos centroides sea máxima, consiguiendo de esta forma que los grupos estén lo más distantes posible. Podemos expresar esta distancia de la siguiente manera:

$$h = \bar{d}_1 - \bar{d}_2$$

Donde \bar{d}_1 y \bar{d}_2 son las medias del grupo 1 y del grupo 2 en la función D .

Se busca reducir la dimensionalidad de las p variables independientes a una sola dimensión (la de la combinación lineal D) en la que los grupos se diferencien lo más posible. Las puntuaciones de los sujetos en esa nueva dimensión (denominadas puntuaciones discriminantes) serán las que permitan llevar a cabo la clasificación de los sujetos. El análisis busca diferenciar los dos grupos al máximo combinando las variables independientes pero si los grupos no difieren en las variables independientes, el análisis será infructuoso: no podrá encontrar una dimensión en la que los grupos difieran. Es decir, si los centroides están muy próximos, las medias de los grupos en la función discriminante serán tan parecidas (el valor de d será tan pequeño) que no será posible distinguir a los sujetos de uno y otro grupo.

Los estadísticos permiten obtener información descriptiva adicional sobre algunos aspectos del análisis, así como comprobar algunos de los supuestos en los que se fundamenta la técnica. El autovalor es el cociente entre la variación debida a las diferencias entre los grupos (medida mediante la suma de cuadrados inter-grupos) y la variación que se da dentro de cada grupo combinada en una única cantidad (medida mediante la suma de cuadrados intra-grupos). Este estadístico se diferencia de la F del análisis de varianza multivariante en que no intervienen los grados de libertad. Su interés principal radica en que permite comparar cómo se distribuye la dispersión inter-grupos cuando existe más de una función. Aunque un autovalor tiene un mínimo de cero, no tiene un máximo, lo cual lo hace difícilmente interpretable por sí sólo. Por esta razón se acostumbra a utilizar el estadístico lambda de Wilks, que se encuentra estrechamente relacionado con los autovalores.

La correlación canónica es la correlación entre la combinación lineal de las variables independientes (la función discriminante) y una combinación lineal de variables indicador (unos y ceros) que recogen la pertenencia de los sujetos a los grupos. En el caso de dos grupos, la correlación canónica es la correlación simple entre las puntuaciones discriminantes y una variable con códigos 1 y 0 según cada caso pertenezca a un grupo o a otro. Una correlación canónica alta indica que las variables

discriminantes permiten diferenciar entre los grupos. Con más de dos grupos, la correlación canónica es equivalente al estadístico eta utilizado en el análisis de varianza de un factor (eta = raíz cuadrada del cociente entre la suma de cuadrados inter-grupos y la suma de cuadrados total).

El estadístico lambda de Wilks expresa la proporción de variabilidad total no debida a las diferencias entre los grupos; permite contrastar la hipótesis nula de que las medias multivariantes de los grupos (los centroides) son iguales. Wilks (1932), basándose en el principio de razón de verosimilitud generalizada (según el cual la varianza generalizada de una espacio multivariante puede ser calculada mediante el determinante de la matriz de dispersión), planteó el estadístico Λ , definido como:

$$\Lambda = \frac{\text{Suma de cuadrados intragrupos}}{\text{Suma de cuadrados total}} = \frac{|S|}{|T|}$$

Donde S es la matriz de varianzas-covarianzas combinada, calculada a partir de las matrices de varianzas-covarianzas de cada grupo, y T es la matriz de varianzas-covarianzas total, calculada sobre todos los casos como si pertenecieran a un único grupo. Cuando los grupos se encuentren superpuestos en el espacio multidimensional, los valores del numerador y del denominador serán aproximadamente iguales y su cociente valdrá 1; a medida que los grupos se vayan separando más y más, la variabilidad inter-grupos irá aumentando y la variabilidad intra-grupos se irá haciendo comparativamente menor respecto a la variabilidad total, disminuyendo así el valor del cociente. Por tanto, valores próximos a 1 indicarán un gran parecido entre los grupos, mientras que valores próximos a 0 indicarán una gran diferencia entre ellos. Nótese que $\Lambda + \eta^2 = 1$.

Aunque Schatzoff (1966) obtuvo los puntos críticos exactos de la distribución de Λ bajo ciertas condiciones, es más frecuente utilizar una transformación de Λ que posee distribución aproximada conocida. Bartlett (1947) ha demostrado que el estadístico:

$$V = \left(N - 1 - \frac{(p + g)}{2} \right) \ln \Lambda$$

Se aproxima a la distribución *chi-cuadrado* con $(p-k)(g-k - 1)$ grados de libertad: p es el número de variables independientes o discriminantes, g es el número de grupos, y k es el número funciones discriminantes obtenidas con anterioridad al contraste (cunado sólo existe una función –porque sólo hay dos grupos–, $k = 0$). La gran ventaja diagnóstica del estadístico lambda es que, puesto que se basa en las matrices de varianzas-covarianzas, puede calcularse antes de obtener las funciones discriminantes.

1.3.3.1 LÓGICA DIFUSA

Los Sistemas de Lógica Difusa (SLD) constituyen una herramienta para modelar los procedimientos de razonamiento del ser humano. Razonamiento que por ser de carácter cualitativo involucra siempre un nivel de incertidumbre, el cual se refleja en los resultados del proceso de evaluación de los diferentes fenómenos donde se apliquen los sistemas dinámicos basados en la lógica difusa (Pradhan B. , 2010).

La lógica difusa se fundamenta en las expresiones que no son parcialmente pertinentes, es decir, permite tomar valores indeterminados de la veracidad dentro de un conjunto de valores cuyos extremos

son la pertinencia absoluta o la no pertinencia absoluta (Bonham Carter, 1994). Es decir esta lógica permite la definición del objeto a partir de un grado de pertinencia parcial. Por lo tanto, este tipo de lógica difusa o borrosa es una técnica computacional que ayuda o permite trabajar con información que presenta valores intermedios entre la afirmación completa o la negación absoluta. Adicionalmente, permite integrar contenidos cuantitativos y cualitativos bajo un lenguaje matemático, por lo tanto es posible extraer igualmente algunos índices numéricos representativos que permiten la interpretación de variables, siendo esta una representación matemática de la incertidumbre y la vaguedad no probabilística, la cual es asignada a partir de funciones de pertinencia (Morcillo, 2012).

La metodología de lógica difusa se fundamenta en la cantidad y calidad de información disponible y en el conocimiento tanto del fenómeno analizado como de la zona de estudio. El escenario óptimo que busca modelar la realidad es el resultado de la integración de los factores realizado mediante operaciones entre conjuntos difusos. En principio para cada variable se debe cuantificar las funciones de pertinencia siempre y cuando las clases de la variable no tengan una calificación definida.

1.3.3.2 FUNCIONES DE PERTENENCIA

Las funciones de pertenencia de cada elemento que conforma el conjunto difuso son calculadas siguiendo la metodología propuesta por (Pradhan B. , 2010), en la cual se obtiene la función de pertenencia de cada elemento al conjunto difuso a partir del FR (Frequency ratio). El valor FR, permite establecer la relación espacial que existe entre la ocurrencia de un evento amenazante y cada uno de los elementos del conjunto difuso, es decir, revela la correlación existente entre la localización de los eventos ocurridos y los factores condicionantes, los cuales no son más que las clases que conforman cada una de las variables.

El FR es una tasa o proporción entre la ocurrencia o ausencia de un evento amenazante en un área determinada (en este caso el área que ocupa para cada clase de cada variable). Para calcular el FR se calculan otras dos proporciones: la primera es una proporción de ocurrencia de eventos (POD) que relaciona el número de eventos que ocurren dentro del área de una clase con el número total de los eventos en la región y la segunda es una proporción de área (PA) que relaciona la extensión superficial de cada clase con el área total de la región. El FR resulta entonces del cociente entre POD y PA. Cuando hay una alta correlación entre la ocurrencia y la clase de una variable, se espera que el valor de FR sea mayor a 1, si por el contrario la correlación es baja, entonces FR será menor a 1.

$$POD = \frac{\text{Número de eventos en la clase}}{\text{Total de eventos en la cuenca}}$$

$$PA = \frac{\text{Área de la clase de la variable}}{\text{Área total de la cuenca}}$$

$$FR = \frac{POD}{PA}$$

Finalmente, para el cálculo de la función de pertenencia de cada elemento de los conjuntos difusos, el valor de FR es normalizado mediante una reclasificación que varía entre 0 y 1.

Una vez realizado el modelo matemático de la categorización numérica de variables que no se tiene asignado los valores por opinión de expertos, se establece escenarios o modelos como resultado de las operaciones entre los conjuntos difusos (variables estandarizadas y normalizadas).

1.3.3.3 CONJUNTOS DIFUSOS

Para combinar las variables que tiene establecida una categorización por expertos y aquellas que su categorización está dada por la función de pertinencia normalizada, se siguió la metodología de Mendel Mendel (1995), la cual es un enfoque basado en modelos donde la información objetiva es representada mediante modelos matemáticos y la información subjetiva es representada mediante proposiciones lingüísticas o reglas, que posteriormente son cuantificadas por medio de la lógica difusa, permitiendo así la combinación de datos numéricos con información lingüística colectada de la heurística. Matemáticamente los dos conjuntos se definen como (Zimmermann & Zysno, 2001), (Werro, 2008):

Si U es el universo del discurso, el cual es una colección de objetos denotados por x , entonces un conjunto difuso A es un conjunto de pares ordenados:

$$A = \{(x_i, \mu(x_i)) | x \in U\}$$

En donde $\mu(x_i) \in [0,1]$ y es la función de pertenencia del objeto x_i en A .

Para variables cualitativas que se conocen mejor como variables lingüísticas, esta se caracteriza como una quintupla:

$$(x, T(x), U, G, M)$$

En donde x es el nombre de la variable, $T(x)$ denota el conjunto de valores o nombres que puede tomar x , U es el universo del discurso, G es una regla de sintaxis que permite generar el nombre de la variable y M es una regla semántica que relaciona el nombre que toma la variable con un valor específico definido en U .

De forma tal que los conjuntos a integrar pueden ser lingüísticos (basado en la opinión de expertos) o matemáticos (dados por una función de pertinencia), cada variable debe integrarse en un modelo mediante los siguientes operadores difusos que permiten generar diferentes escenarios.

1.3.3.4 OPERADORES DIFUSOS

1.3.3.4.1 *T-Norma, T-.Cornorma y Operador Promedio*

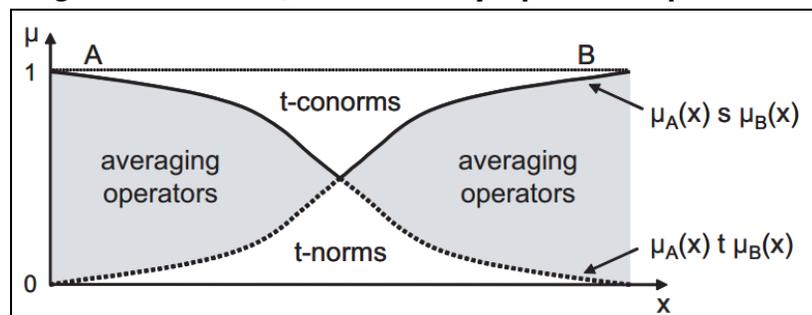
En general, las familias de operaciones que implementan en la intersección de conjuntos se conocen como normas triangulares o por su abreviación: t - Norma, mientras que las operaciones que implementan la *unión de conjuntos* se conocen como conormas triangulares o t - conorma (Werro, 2008).

Estos dos operadores no cumplen con todas las propiedades para las operaciones entre conjuntos difusos y suelen llamarse operadores no compensatorios (Werro, 2008), lo que significa que no existe

compensación alguna que contrarreste los efectos de los elementos en el momento de operar los valores de la función de pertenencia, por lo que se suele presentar una tendencia hacia el límite inferior o superior del conjunto difuso resultante, dependiendo del tipo de operador que se aplique entre conjuntos (Lee K. H., 2004). Como se dijo en las definiciones anteriores se puede observar que las *t-normas* están asociadas a las operaciones de intersección y como se verá más adelante a la operación de producto algebraico, mientras que las *t-conormas* por su parte se asocian a las operaciones de unión y suma algebraica.

Los valores resultantes en operaciones que involucran una *t-norma* o una *t-conorma*, resultan ser valores extremos y en general no se comportan en correspondencia con la realidad para muchas situaciones específicas que pueden tener cierta compensación debida a un valor alto o bajo de pertenencia a un conjunto difuso de alguna de las variables; mientras que por su parte los *operadores promedio*, son operadores cuyas funciones de pertenencia tienen como límite inferior una *t-norma* y como límite superior una *t-conorma*. Sin embargo, no cumplen con las propiedades de estas y su sustento matemático se basa en evidencia empírica (Zimmermann & Zysno, 2001) del comportamiento entre los *operadores no compensatorios* y los *operadores promedio* para dos conjuntos difusos *A* y *B* con funciones de pertenencia $\mu_A(x)$ y $\mu_B(x)$ (Ver Figura 3).

Figura 3. T-norma, T-Conorma y Operadores promedio.



Fuente: Werro, 2008.

1.3.3.4.2 Operador AND

Sean *A*, *B*, *C* hasta *N*, conjuntos difusos con funciones de pertenencia dadas por $\mu_A(x)$, $\mu_B(y)$, $\mu_C(w)$ y $\mu_N(z)$, se define el *operador AND* como:

$$AND = \min(\mu_A(x), \mu_B(y), \mu_C(w), \dots, \mu_N(z))$$

Es la operación equivalente a la intersección, por lo que en esencia es una *t-norma* y funciona combinando los valores de pertenencia de distintos conjuntos de una misma locación y dejando el de menor valor (Bonham Carter, 1994).

1.3.3.4.3 Operador OR

Sean *A*, *B*, *C* hasta *N*, conjuntos difusos con funciones de pertenencia dadas por $\mu_A(x)$, $\mu_B(y)$, $\mu_C(w)$ y $\mu_N(z)$, se define el *operador OR* como:

$$OR = \max(\mu_A(x), \mu_B(y), \mu_C(w), \dots, \mu_N(z))$$

Es la operación equivalente a la unión, es decir una *t* – *conorma* y funciona combinando los valores de pertenencia de distintos conjuntos de una misma locación y dejando el de mayor valor (Bonham Carter, 1994).

1.3.3.4.4 Producto Algebraico o Producto Probabilístico

Sean *A* y *B* conjuntos difusos con funciones de pertenencia dadas por $\mu_A(x)$, $\mu_B(y)$, se define el *producto algebraico* o *producto probabilístico* como una *t* – *norma* que se obtiene como sigue (Lee, 2004); (Zadeh, 1965):

$$A \cdot B = \mu_A(x) \times \mu_B(y)$$

Para *n* conjuntos difusos, Bonham-Carter Bonham-Carter (1994), define el *producto algebraico* como una operación entre mapas que resultan en un nuevo conjunto difuso cuya función de pertenencia está dada por:

$$\mu_{combinación} = \prod_{i=1}^n (\mu_i)$$

En donde, μ_i es la función de pertenencia de los mapas de entrada $i = 1, 2, 3, \dots, n$.

1.3.3.4.5 Suma Algebraica o Producto Probabilístico

Sean *A* y *B* conjuntos difusos con funciones de pertenencia dadas por $\mu_A(x)$, $\mu_B(y)$, se define la *suma algebraica* o *suma probabilística* como una *t* – *conorma* que se obtiene como sigue (Lee, 2004); (Zadeh, 1965) :

$$A + B = \mu_A(x) + \mu_B(y) - \mu_A(x) \times \mu_B(y)$$

Para *n* conjuntos difusos, Bonham-Carter Bonham-Carter (1994) define la *suma algebraica* como una operación entre mapas que resultan en un nuevo conjunto difuso cuya función de pertenencia está dada por:

$$\mu_{combinación} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i)$$

En donde, μ_i es la función de pertenencia de los mapas de entrada $i = 1, 2, 3, \dots, n$

1.3.3.4.6 Compensatory AND (“Operador Gamma)

Como se mencionó anteriormente, los operadores no compensatorios resultan ser límites inferiores o superiores para las funciones de pertenencia de un conjunto difuso resultante de operar otros conjuntos difusos entre sí. Sin embargo, Zimmermann y Zysno Zimmermann y Zysno (2001) muestran empíricamente que muchos de los experimentos pueden modelarse con lógica difusa ya que se presentan compensaciones frente a los pesos de las variables, dependiendo de los valores en sus funciones de pertenencia a los conjuntos difusos, de modo que no se comportan puramente como *t* – normas o *t* – conormas y por ende, no siempre sería conveniente aplicar operaciones como unión,

suma algebraica, intersección o producto algebraico, debido a que esto genera una desestimación o sobreestimación de las variables. Por lo tanto, resulta conveniente aplicar *operadores compensatorios* u *operadores promedio*. Estos proponen a partir de experimentos, un conectivo que fue obtenido empíricamente llamado “conectivo latente en la toma de decisiones humanas” que se conoce como “*Compensatory AND*” u *operador gamma*, el cual es un operador conformado por una t – norma (producto algebraico), una t – conorma (suma algebraica) y un parámetro que actúa como conectivo entre éstas tomando valores entre 0 y 1, e indica el nivel de compensación del operador (Werro, 2008).

El operador “*Compensatory AND*” de n conjuntos difusos A_1, A_2, \dots, A_n , con funciones de pertenencia $\mu_1(x), \mu_2(x), \dots, \mu_n(x)$ se define como:

$$\mu_{A_{i\text{comb}}}(x) = \left[\prod_{i=1}^n (\mu_i(x)) \right]^{(1-\gamma)} \times \left[1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i(x)) \right]^{(\gamma)}$$

Donde: $0 \leq \gamma \leq 1$.

Mediante las operaciones anteriormente descritas se realiza una integración de las variables conformadas por diferentes elementos, cuyos valores de pertenencia al conjunto varían espacialmente. De este modo se obtienen los siguientes modelos: dos modelos de T- norma (resultado de las operaciones And y Producto Algebraico), dos modelos de T-conorma (resultado de las operaciones Or y Suma Algebraica) y n modelos de operadores compensatorios (producto de las operaciones gamma), donde n es igual número de variación del factor γ .

Una vez obtenidos los escenarios optimistas y pesimistas (T-norma y T-conorma) y los escenarios resultado de los conjuntos difusos promedios (Gamma), se procede a realizar la validación del modelo de mejor ajuste a la realidad, es decir, aquel que presente mayor correlación de los eventos con los cuales se modelaron y tenga mejor capacidad de predicción para nuevos eventos, mediante la evaluación de la zonificación respecto a localizaciones de eventos que no se incluyeron dentro de los cálculos del modelo. Este proceso se evaluará por medio del método AUC.

1.3.3.5 ÁREA BAJO LA CURVA (AUC)

Para llevar a cabo la validación de los modelos con el método AUC ((Chi, 2002); (Choi, y otros, 2011); (Gemitzis, Falalakis, Eskioglou, & Petal, 2011); (Lee S. , 2007); (Pradhan B. , 2010); (Pradhan & Lee , 2009); Tien Bui et al., 2012a, b), se deben dividir de (Zimmermann & Zysno, 2001) forma sistemática el total de eventos históricos en dos subconjuntos; el primer subconjunto corresponde al seleccionado para el cálculo de la *función de pertenencia* de cada elemento del conjunto difuso. Este se utilizará para estimar que tan precisos son los modelos y que tanto se ajustan a la frecuencia de ocurrencia, este proceso se denomina *success – rate*. Por su parte, el subconjunto restante de eventos históricos seleccionados del inventario se usa para validar la capacidad que tienen los modelos para predecir nuevas ocurrencias, lo que corresponde a la curva *prediction – rate* (Chung and Fabbri, 1999) .

Siguiendo el método propuesto para llevar la validación de los modelos de Chung and Fabbri (1999), se debe clasificar cada uno de los modelos obtenidos de la siguiente forma: la primera categoría corresponde al 5% de los valores más altos del modelo, la cual tiene también aproximadamente el 5% del área total de la región. La segunda categoría corresponde al siguiente 5% de los valores más altos, es decir, un rango del 5% al 10% de los valores más altos del modelo que también tiene aproximadamente un área del 5% del total de la región. Sucesivamente de la misma manera se conforman otras ocho clases hasta completar el 50%, el restante 50% corresponde a una sola clase en la que se encuentran los valores más bajos de modelo.

Con los dos subconjuntos del inventario histórico, se calcula la curva del histograma de frecuencia de ocurrencia acumulada para cada una de las clases de los modelos, contra la frecuencia acumulada obtenida, de tal forma que por cada modelo se obtienen dos curvas, la primera con el subconjunto de eventos que representa la curva *success – rate* y la segunda con el subconjunto de eventos que representa la curva *prediction – rate*.

Por último, se halla el área bajo las curvas de los histogramas de frecuencias acumuladas (tanto para *success – rate* como *prediction – rate*) de cada modelo. El área máxima bajo la curva o sea el valor más cercano a 1, indica que es el modelo de mejor ajuste. Sin embargo los AUC entre 0,9 a 1, indican que el nivel de predicción es excelente, para valores entre 0,8 y 0,9 el ajuste es bueno, un AUC entre 0,7 a 0,8 presenta una precisión razonable, si están entre 0,6 a 0,7 indica que el ajuste es pobre y aquellos por debajo de estos valores el modelo es fallido (Tien Bui et al., 2012a). No obstante, es de esperar que los valores de AUC para los modelos que representan una *t – norma* o una *t – conorma*, se tendrán los ajustes más bajos o más altos respectivamente, razón por la cual son usados como referencia y ninguno es el modelo escogido por ser los valores más extremos.

1.3.4 Índices morfométricos de las cuencas

1.3.4.1 ÍNDICE DE MELTON

El índice del Melton se usa para diferenciar cuencas, basándose en la dinámica de sedimentos. Es decir mediante el uso un modelo de elevación digital, el índice de Melton ayuda a diferenciar entre cuencas capaces de producir flujos de detritos y las cuencas que solo producen crecida sin sedimentos, ya que muestra el potencial de transporte de sedimentos. Por supuesto, cabe remarcar que los resultados del índice van a depender de la calidad del modelo de elevación.

El índice puede ser calculado mediante la siguiente formula.

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

Donde H_{max} y H_{min} son la cota de altura máxima y mínima de la microcuenca y S , es el área de la microcuenca.

Hay que aclarar que este índice no fue diseñado para cuencas en zonas ecuatoriales; sin embargo, se utilizó como índice de torrencialidad. (Medellín, 2009).

1.3.4.2 RANGOS DE WILFORD

Es una clasificación en donde se identifica dos parámetros apropiados para diferenciar la posibilidad de ocurrencia en una cuenca de flujos de detritos, creciente de detritos e inundaciones, estos parámetros corresponde a la longitud de la corriente y al mencionado número de Melton. Los parámetros permiten identificar el tipo de flujo que se presentará en la mayoría de las cuencas. Dichos parámetros permiten diferenciar entre cuencas susceptibles a flujos de detritos y a crecientes de detritos.

Los rangos de valores encontrado por Wilford et al (2004) para la identificación de evento posible a presentar en la cuenca se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Identificación de los procesos hidrogeomorfológicos según los parámetros de Melton y la Longitud de la cuenca.

<i>Variables</i>	<i>Inundaciones (agua clara)</i>	<i>Crecientes de Detritos</i>	<i>Flujos de Detritos</i>
Melton y Longitud de la cuenca	Melton <0.3	Melton 0.3-0.6 Melton >0.6 y longitud >2.7	Melton >0.6 y longitud <2.7 km

Fuente: Wilford et al (2004).

1.3.5 El índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET).

Representa el grado de susceptibilidad de una cuenca a presentar eventos de carácter torrencial. Varía cualitativamente desde vulnerabilidad baja a muy alta, su representación espacial muestra las condiciones de subcuencas con similares condiciones de torrencialidad. El IVET depende de dos variables, el índice de variabilidad (IV) y el índice morfométricos descritos a continuación:

1.3.5.1 ÍNDICE DE VARIABILIDAD (IV)

El índice de variabilidad (IV) se estima la variabilidad de un caudal en un determinado tiempo, se calcula empleando la siguiente ecuación:

$$IV = \frac{\text{Log } Q_f - \text{Log } Q_i}{\text{Log } X_f - \text{Log } X_i}$$

Donde, Q_i y Q_f dos caudales tomados de la curva de duración de caudales y X_i y X_f porcentajes de tiempo en que se exceden los caudales Q_i y Q_f .

La clasificación del índice de variabilidad indica que es directamente proporcional a la torrencialidad (a mayor sea el índice, mayor será su torrencialidad) (Ver Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación categórica del índice de variabilidad

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

Fuente: IDEAM, 2013

1.3.5.2 ÍNDICE MORFOMÉTRICO

El índice morfométrico se calcula teniendo en cuenta la matriz de relaciones de categorías del índice morfométrico descritas por (Ministerio del Medio Ambiente, 2014) para la metodología ERA.

La densidad de drenaje y pendiente media dan información sobre el aporte de material a la cuenca, reflejando la efectividad del flujo superficial respecto a la infiltración, constituyendo una medida aproximada de la longitud del flujo superficial, ya que entre mayor sea la densidad y la pendiente mayor será el producto de erosión y disección por flujo superficial. El coeficiente de compacidad como parámetro de forma es relación del área respecto a su longitud, entre mayor sea esta relación más circular será y por ende mayor será la posibilidad de generar avenidas torrenciales, debido a que las líneas de flujo de escorrentía al seguir una trayectoria corta son más sincrónicas en cuencas circulares que en cuencas alargadas (Tabla 3 y Tabla 4).

Tabla 3. Relaciones para categorías de índices morfométricos.

Índice morfométrico	Escala	Área cuenca km ²	Categorías				
			1	2	3	4	5
Densidad de drenaje (km/km ²)	1:10.000	<15	<1,50	1,51-2,00	2,01-2,50	2,51-3,00	>3,00
	1:25.000	16 - 50	<1,20	1,21-1,80	1,81-2,00	2,01-2,50	>2,50
	1:100.000	>50	<1,00	1,01-1,50	1,51-2,00	2,01-2,50	>2,50
			Baja	Moderada	Moderada alta	Alta	Muy alta
Pendiente media de la cuenca (%)	1:10.000	<15	<20	21-35	36-50	51-75	>75
	1:100.000	>50	<15	16-30	30-45	46-65	>65
			Accidentado	Fuerte	Muy fuerte	Escarpado	Muy escarpado
Coeficiente de compacidad			<1,625	1,375-1,500	1,251-1,375	1,126-1,250	1,000-1,125
			Oval oblonga a rectangular oblonga	Oval redonda a oval oblonga		Casi redonda a oval redonda	

Fuente: IDEAM, 2013

Tabla 4. Matriz de decisión de la clasificación de índice de variabilidad frente a eventos torrenciales IVET.

Índice de Variabilidad	Índice morfométrico de torrencialidad				
	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Muy Baja	Baja	Baja	Media	Alta	Alta
Baja	Baja	Media	Media	Alta	Muy alta
Media	Baja	Media	Alta	Alta	Muy alta
Alta	Media	Media	Alta	Muy alta	Muy alta
Muy alta	Media	Alta	Alta	Muy alta	Muy alta

Fuente: IDEAM, 2013

1.4 CARACTERIZACIÓN HISTÓRICA DE AMENAZAS Y EVENTOS AMENAZANTES

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 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.

Para la identificación de antecedentes y eventos históricos representados en la 0, de la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú se hizo la respectiva consulta y se dividió la información de acuerdo a los diferentes fenómenos ocurridos según su origen, fuente de consulta y áreas afectadas, como se lista en la Tabla 5.

Tabla 5. Reporte de eventos históricos para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú, especificando las fuentes de consulta y las áreas afectadas.

Amenaza según su origen	Tipo de amenaza	Fuentes	Áreas afectadas
Hidrometeorológica	Inundaciones	Dirección de Gestión de Riesgos (DGR), Dirección Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (DNPAD), Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNDGRD) El País,	El municipio de Pasto presenta 12 eventos de inundación por encontrarse en cercanías al Río Tambo donde por lluvias y desbordamientos se ven afectadas viviendas y personas.
			Para el municipio de Buesaco se presenta reporte de inundación para el año 1996 sin determinar que se afecta y por qué causa.
			Chachagüí pasa por un evento de inundación el año 2006, afectando vías como Pasizara, El Cudir y ViacaSabuy y el año 2015, un fuerte aguacero causa inundación en el sector de Cocha Cano.
			El municipio de Arboleda durante el año 1999 presenta inundación afectando vías y para el año 2000 nuevamente se presenta una inundación.
			Berruecos durante el año 2010 presento un colapso del alcantarillado reportado por CDRGD y CITELE NARIÑO con 17 personas afectadas a causa de las fuertes lluvias que se presentaron en la zona.
			La Florida durante el año 2010 a causa de lluvias presento colapso en la vía Florida- Berruecos.
			El municipio de El Tablón de Gómez presento inundación informada por CDRGD en el año 2013, provocando la caída de Banca en la vía el Tablón – Albán.
			San Bernardo para el año 2012 reporta por medio del CREPAD desbordamiento de la Quebrada el Rollo.
			San Pedro de Cartago durante el año 2006 presenta afectación de los tramos de vías Chimayoy alto – Chimayoy bajo, Cartago- Arenal, Comunidad- Domingo Loma, Cartago- Salado- Chorrera.
			El CREPAD informo sobre perdidas agropecuarias en 38 municipios: Ancuya, Arboleda, Barbacoas, Belen, Buesaco, Colon, Consaca, Coprdoba, Cumbitara, El Penol, El Rosario, El Tablon de Gomez, El Tambo, Funes Imues, Iles, La Cruz, La Florida, La Unión, Leiva, Linares, Los Angeles, Magui Payan, Mallama, Nariño, Providencia, Ricarte,

Amenaza según su origen	Tipo de amenaza	Fuentes	Áreas afectadas
			Roberto Payan, San Bernardo, San Pablo, San Pedro, Sandona, Taminango, Tangua, Tumaco y Tuquieres para el año 2009.
Natural	Movimientos en masa	<p>CDGRD (Consejo Departamental de Gestión del Riesgo de Desastre)</p> <p>CREPAD (Comité Regional para la Prevención y Atención de Emergencias y Desastres)</p> <p>PGR (Plan de Gestión del Riesgo)</p> <p>Periódico El Tiempo</p> <p>SIMMA (Sistema de Inventario de Movimientos en Masa, Servicio Geológico Colombiano), Dirección de Gestión de Riesgos (DGR)</p>	<p>Municipio de Albán, año 1996, se registraron deslizamientos de tierra en las vías Linares – Ancua y San José- El Empate.</p> <p>Año 2009, afectadas dos vías por deslizamiento: Vía El Empate- La Unión y San José de Albán- Puente Janacatu.</p> <p>Año 2010, los deslizamientos afectaron vías, centros educativos y cultivos.</p> <p>Durante los años 2011 al 2015 se registraron diferentes tipos de deslizamientos afectando vías tanto municipales como departamentales.</p> <p>El municipio de Arboleda para los años 1972 a 1977 registró deslizamientos que afectan vías, colegios y cultivos. Para el año 2010, centros educativos de Rosaflorida norte y cultivos se ven afectados por deslizamientos. Por último, en el año 2012 nuevamente se ve afectado el centro educativo Rosaflorida dejando un saldo de 44 viviendas afectadas. También durante este año se ven afectadas vías.</p> <p>Municipio de Bue saco, se presentan derrumbes en la troncal Norte ocasionando interrupción del tráfico para el año 1975. Durante el año 2000, 1500 familias damnificadas por agrietamiento y hundimiento de las viviendas. Los siguientes 11 años se siguen presentando deslizamientos que afectan las vías y dejan cientos de damnificados y casas perdidas.</p> <p>Municipio de Chachagüí, deslizamiento de Tierra deja una persona muerta y sepultó una casa para el año 2012.</p>
			<p>Municipio de El Tablón de Gómez, presenta torrenciales aguaceros durante tres días obstruyen carreteras y taponan canales de conducción de aguas para acueductos de varios municipios. Durante los años 2000 al 2012 se presentan diferentes eventos de deslizamiento taponando vías y afectando centros educativos.</p> <p>Municipio de San Bernardo, por deslizamientos afectación de Institución educativa José Antonio Galán. Durante el año 2012 se presentaron deslizamientos en vías.</p> <p>Municipio de San Lorenzo, alud de rocas y tierra arrasa con una familia y su vivienda. Para el año 2006 un deslizamiento afecto 1Km de la vía San Gerardo- El Guabo- Salinas y perdida de 20 hectáreas de cultivo. Durante los siguientes 8 años se presentan múltiples deslizamientos en vías y afectación del casco urbano.</p> <p>Municipio de San Pedro de Cartago se presenta un deslizamiento dejando como resultado una vía cerrada por 7 días. Para el año 1984, se evacuan 800 personas por agrietamientos en la estructura urbana.</p>
Socio-natural	Incendios forestales	<p>El Tiempo, Defensa Civil Colombia (D.C.C.), Consejo Departamental de Gestión del Riesgo de Desastre (CDGRD), Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), Registros de la Oficina Nacional de Atención de Desastres, (DNBC). Corporación y de Gestión del Riesgo Departamental,</p>	<p>Municipio de Albán, se presentan incendios forestales afectando vegetación nativa.</p> <p>Municipio de Arboleda, cerca de cien familias resultaron damnificadas por un pavoroso incendio.</p> <p>Municipio de Chachagüí, durante los años 2011 al 2015 se presentan múltiples incendios en el que posteriormente son controlados.</p> <p>Municipio de San Bernardo, presenta múltiples incendios forestales.</p> <p>Taminango, para los años 2013 y 2014 se presentan incendios.</p>

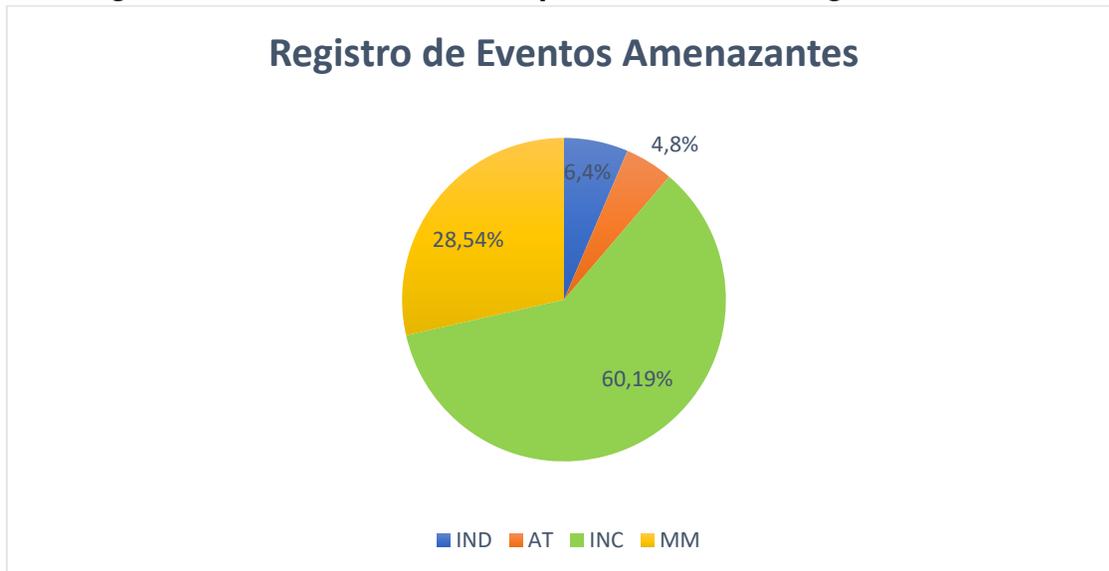
Amenaza según su origen	Tipo de amenaza	Fuentes	Áreas afectadas
Hidrometeorológica	Avenidas Torrenciales	El Tiempo, ING, BDOSSO, DNPAD, UNDGRD, DGR, REONAD, BDOD, SIMMA (Sistema de Inventario de Movimientos en Masa, Servicio Geológico Colombiano).	<p>Municipio El Peñol, se reporta 1 evento de avenida torrencial para un periodo de ocurrencia de hace 16 a 30 años.</p> <p>En Pasto, se reportan 2 eventos de avenidas torrenciales para los años con periodos de ocurrencia de hace 16 a 30 años.</p> <p>Municipio El Tambo, con un evento reportado en el SIMMA.</p> <p>Municipio de San Bernardo, con un evento reportado en el SIMMA.</p> <p>Municipio de San Lorenzo presenta múltiples eventos reportados de Avenidas Torrenciales.</p> <p>Municipio de Buesaco presenta múltiples eventos reportados de Avenidas Torrenciales.</p> <p>Municipio de Chachagüí, con un evento reportado en el SIMMA.</p> <p>Municipio de San José presenta múltiples eventos reportados de Avenidas Torrenciales.</p> <p>Municipio El Tablón de Gómez, con un evento reportado en el SIMMA.</p>

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

El registro histórico y la recopilación de toda la información disponible es fundamental ya que permite tener una visión general de la susceptibilidad y de la amenaza para la zona, junto con una idea global del impacto que tienen los factores detonantes (en la generación de los diferentes tipos de fenómenos).

Un análisis preliminar de la información recopilada permite observar como la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú es afectada principalmente por movimientos en masa; los reportes por fenómenos de inundación e incendios forestales, aunque tienen incidencia en la subzona hidrográfica se presentan en un porcentaje mucho menor, como se observa en Figura 4.

Figura 4. Registro de ocurrencia de eventos para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Un análisis preliminar de la información recopilada permite observar como en la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú, los incendios forestales son muy frecuentes con un total de 310 eventos reportados,

los procesos de movimientos en masa reportan un total de 147 eventos, los eventos de avenidas torrenciales 25 y los procesos de inundaciones un total de 33 eventos, el registro de los mismos es clave para la caracterización e identificación de las susceptibilidades y amenazas, por movimientos en masa, inundaciones, incendios forestales y avenidas torrenciales.

1.4.3 Mapa de eventos

Figura 5. Mapa de eventos amenazantes para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Tabla 6. Porcentaje de espacialización de eventos.

Tipo de evento	Catalogo inicial de eventos	Eventos espacializados	Porcentaje de espacialización
Avenida torrencial	32	25	78.125

Deslizamiento	194	147	75.77
Incendio forestal	356	310	87.07
Inundación	58	33	56.89
Sumatoria	594	515	86.7

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

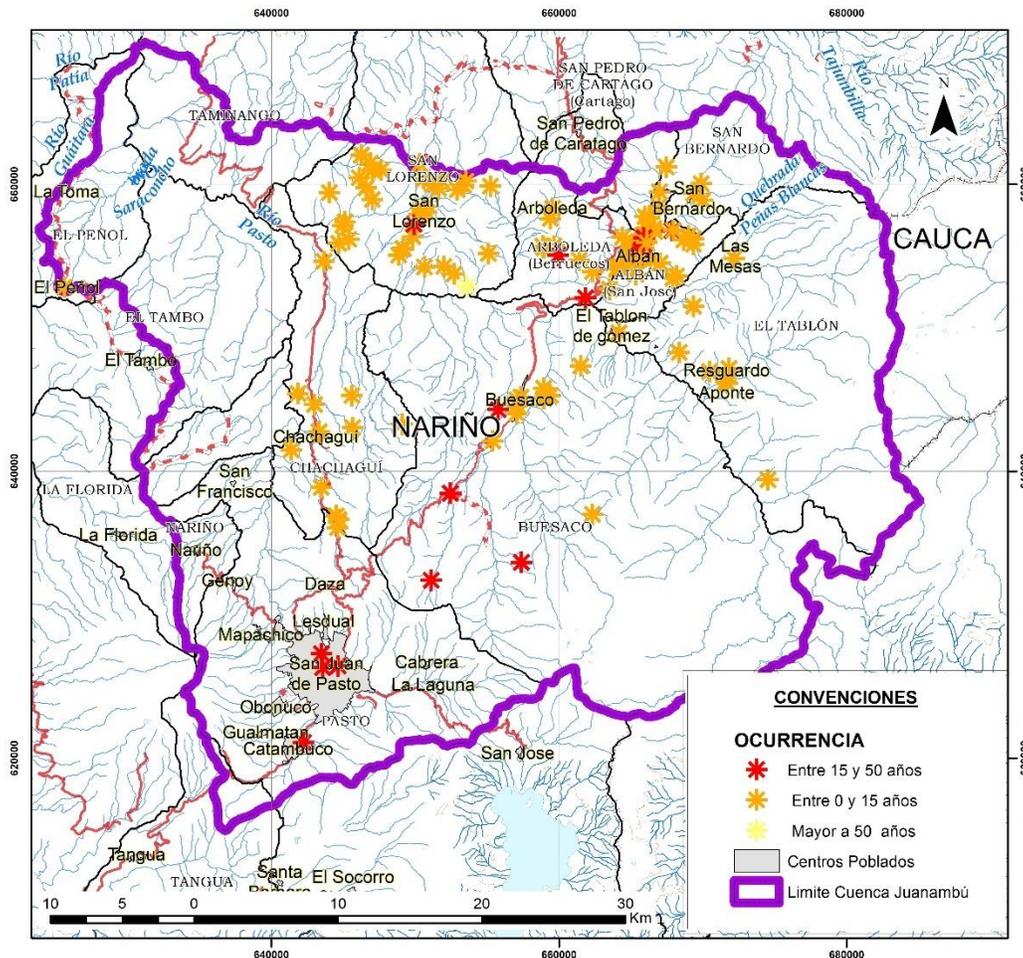
En la Tabla 6 se muestra la efectividad de localización de eventos que inicia con una base de datos de 594 eventos reportados (DESINVENTAR, SIMMA, DATOS ABIERTOS, campo entre otras) a 515 registros espacializados, esto representa el 86.7% del total de eventos recopilados. Pese al número de eventos localizados, los análisis hechos a lo largo del componente de gestión del riesgo se tuvo en cuenta la importancia de cada evento relacionado en el catálogo inicial de eventos.

1.4.3.1 RECURRENCIA DE EVENTOS HISTÓRICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA

En general, al observar la distribución de eventos asociados a movimientos en masa para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú, en su mayoría corresponden a movimientos en masa tipo deslizamientos. En cuanto a la distribución de los puntos, se observa una clara concentración de estos en los sector, nororiental, de la cuenca, en los municipios de San José de Albán, El Tablón de Gómez y Buesaco donde se encuentran claramente asociados a vías principales y secundarias, en cercanía a los cascos urbanos, así como al área de influencia de quebradas, por lo cual se infiere que existe una relación directa entre la presencia de estos factores (actividad antrópica, alta densidad de drenaje y uso del suelo) y la ocurrencia y recurrencia de estos procesos morfodinámicos, o por el contrario, que existe un mayor alcance y densidad de toma de datos en estas áreas dada su facilidad de acceso.

En cuanto a las causas y temporalidad de estos eventos, que se han registrado desde 1955 hasta la actualidad, se observó una elevada recurrencia en el periodo de tiempo comprendido entre 2010 y 2014, asociada a fuertes lluvias en los últimos periodos de invierno, movimientos sísmicos y desestabilización de laderas por corte y remoción de material para la construcción de vías en el sector (Ver Figura 6).

Figura 6. Recurrencia de eventos por movimientos en masa para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.

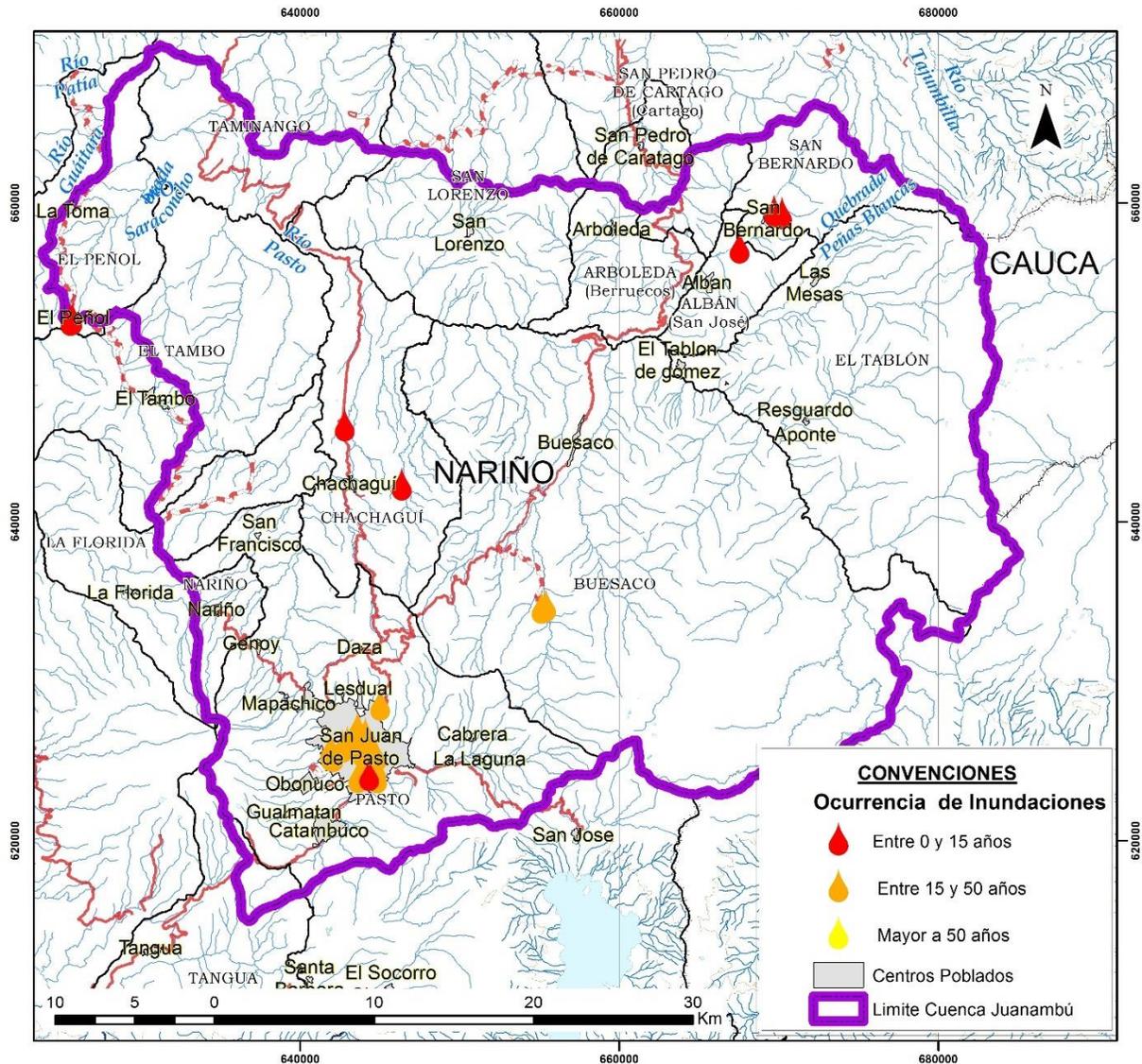


Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.4.3.2 RECURRENCIA DE EVENTOS HISTÓRICOS POR INUNDACIONES

En relación con la recurrencia de eventos por inundaciones para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú hay tres rangos principales, que corresponden con eventos de entre 15 y 50 años, eventos de menos de 15 años y eventos mayores a 50 años (ver Figura 7). En general, las zonas afectadas por este tipo de fenómenos se concentran en el área de influencia de las principales corrientes hídricas y algunos de sus afluentes más importantes; particularmente, los reportes de eventos por inundación para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú han sido mucho más frecuentes durante los últimos 15 años y han afectado, entre otras cosas, centros poblados como Albán, Arboleda, Buesaco, El Tablón de Gómez, San Bernardo, San Pedro de Cartago y Taminango.

Figura 7. Recurrencia de eventos por inundaciones para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.4.3.3 RECURRENCIA DE EVENTOS HISTÓRICOS PARA INCENDIOS FORESTALES

Basados en los registros recopilados de eventos de incendios forestales (obtenidos a partir de la cartografía social, elaborada durante las reuniones con actores participativos de la sub zona hidrográfica, y de fuentes secundarias como la base de datos de Registros de la Oficina Nacional de atención de desastres (REONAD), Desinventar y la UNGRD, se observa un aumento significativo en la recurrencia de eventos por este tipo de amenaza en zonas con una fuerte afectación antrópica (como las zonas aledañas a los cascos urbanos de Pasto, Arboleda, San Bernardo, Las Mesas, Alban, Chachagüi, Daza y Genoy), en cercanía de las principales vías que atraviesan la cuenca (ver Figura 8), en especial en temporadas de sequía y de aumento de la temperatura.

Figura 8. Recurrencia de eventos a incendios forestales para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú



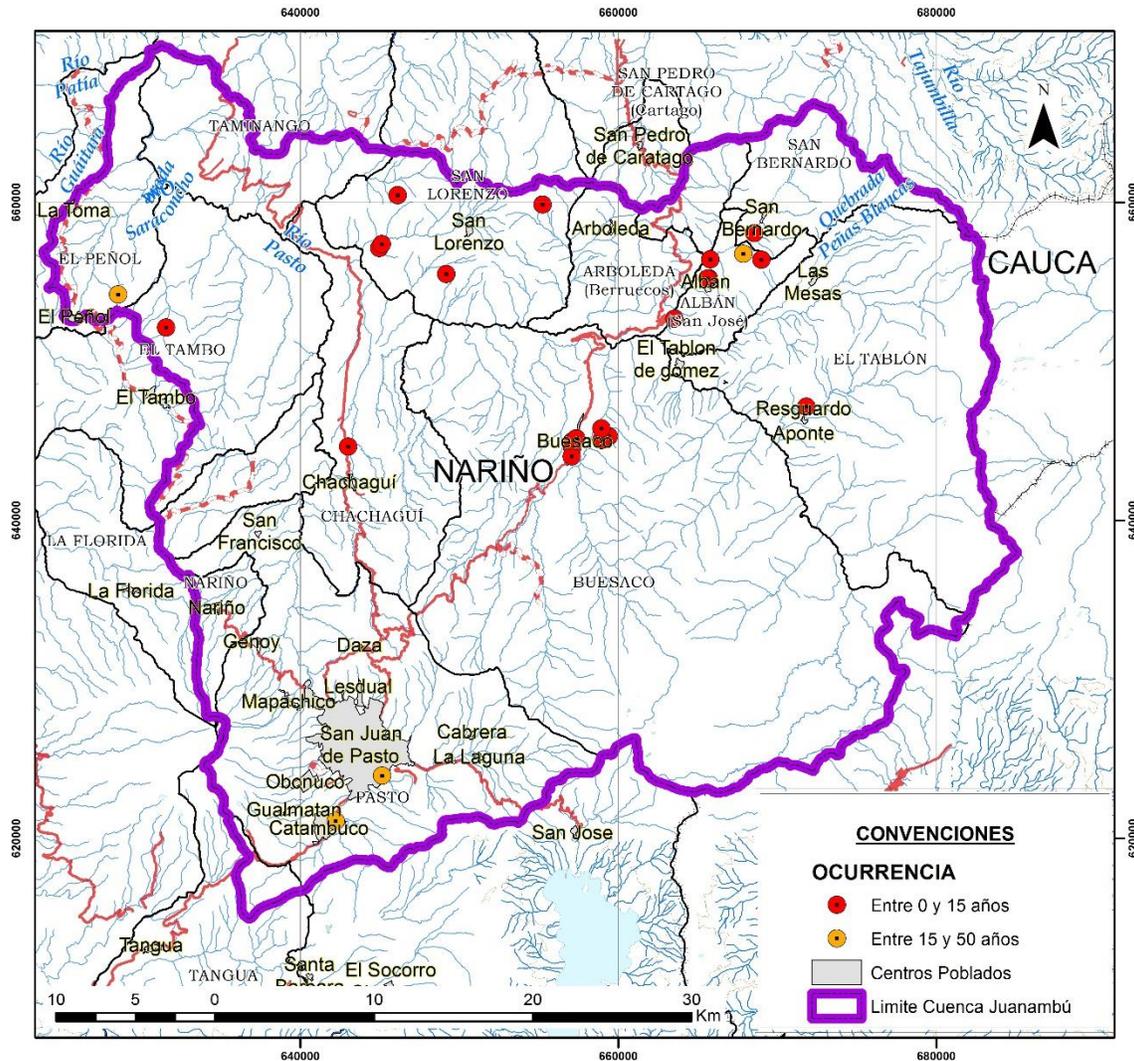
Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.4.3.4 RECURRENCIA DE EVENTOS HISTÓRICOS PARA AVENIDAS TORRENCIALES

Para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú, las zonas afectadas relacionadas con recurrencia de eventos de Avenidas Torrenciales se concentran principalmente en la zona norte, en sectores aledaños a la corriente principal del Río Juanambú, así como en sus tributarios secundarios y terciarios, donde gracias a las fuertes pendientes que caracterizan este sector y a sus cambios abruptos se pueden presentar estos tipos de fenómenos, caracterizados por su alta energía y peligrosidad.

En particular el casco urbano mayormente afectado por estos fenómenos ha sido la ciudad de Pasto, las demás zonas pobladas presentan afectaciones principalmente en sectores rurales (Ver Figura 9).

Figura 9. Recurrencia de eventos de Avenidas Torrenciales para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.5 IDENTIFICACIÓN, CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FENÓMENOS AMENAZANTES Y EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

Resumen: El análisis de movimientos en masa para la cuenca hidrográfica del Río Juanambú se realizó con base en datos directos recopilados, y mediante las observaciones de las diferentes variables identificadas. Estos datos fueron cargados y analizados por medio de herramientas SIG, lo cual permitió evaluar de forma óptima su relación espacial y dinámica. Como tendencia general se observa que en esta cuenca hidrográfica priman los procesos de deslizamientos, generalmente asociados a eventos de precipitaciones fuertes. Estos procesos morfodinámicos se encuentran afectando principalmente los ambientes estructurales y denudacionales de la cuenca, así como las áreas cercanas a los cascos urbanos y vías principales y secundarias que comunican los diferentes municipios y sus correspondientes zonas rurales. Se debe resaltar que las acciones antrópicas identificadas en esta cuenca hidrográfica, además de las características propias del terreno, factores

Introducción: Los movimientos en masa son parte de los procesos denudativos que modelan el relieve de la tierra. Su origen obedece a una gran diversidad de procesos geológicos, hidrometeorológicos, químicos y mecánicos que se dan en la corteza terrestre y en la interface entre esta, la hidrósfera y la atmósfera. Así, si por una parte el levantamiento tectónico forma montañas, por otra la meteorización, las lluvias, los sismos y otros eventos (incluyendo la acción del hombre) actúan sobre las laderas para desestabilizarlas y cambiar el relieve a una condición más plana. Esto implica que la posibilidad de ocurrencia de un movimiento en masa comienza desde el mismo momento en que se forma una ladera natural o se construye un talud artificial y que el análisis de tal posibilidad involucra distintas disciplinas de las ciencias de la tierra y del medio ambiente, así como de las ciencias naturales (Portilla, 2012)

Para establecer aquellos movimientos en masa que afectaron o afectan a la zona de estudio, en primer lugar, se debe consolidar el catálogo histórico municipal de procesos de inestabilidad o se debe hacer un registro de los actuales mediante información levantada en campo y con el uso de imágenes de sensores remotos de resolución adecuada (Ávila, y otros, 2015)

Para identificar y caracterizar los eventos amenazantes para este tipo de procesos, se compilaron varios puntos de eventos de movimientos en masa, a partir de varias fuentes, dentro de las que se incluyen la información de campo, eventos históricos y de información secundaria tomados de las bases de datos del CDGRD (Consejo Departamental de Gestión del Riesgo de Desastre), (Comité Regional para la Prevención y Atención de Emergencias y Desastres), PGR (Plan de Gestión del Riesgo), Periódico El Tiempo, SIMMA (Sistema de Información de Movimientos en Masa, Servicio Geológico Colombiano), e información social entregada por diferentes actores para la gestión del riesgo.

El alcance planteado incluye la identificación, evaluación y zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa; elaboración del mapa de susceptibilidad a escala 1:25.000; evaluación y zonificación de la amenaza por movimientos en masa en las zonas de susceptibilidad definidas; desarrollar el mapa de amenaza a escala 1:25.000, bajo los factores detonantes extremos como lluvia (periodos de retorno de 2, 20, 50 y 100 años) y sismo para un periodo de retorno de 475 años.

Para la zonificación de movimientos en masa, existen diferentes métodos que pueden utilizarse, de acuerdo a la disponibilidad de información disponible y la escala de trabajo. Según el tipo de procedimientos, se pueden aplicar metodologías heurísticas, estadísticas, determinísticas, probabilísticas o geomorfológicas.

En el caso de la susceptibilidad, se implementó una metodología probabilística, dada la gran cantidad de variables que son involucradas en el modelamiento; cada una de ellas es sometida a procesos estadísticos para finalmente escoger las que mejor representen el comportamiento general de la cuenca. Por otro lado, en el modelamiento de la amenaza por movimientos en masa se realiza mediante el cálculo determinístico del talud infinito para las laderas que conforman la cuenca del Río Juanambú; de este modo se estima la probabilidad de ocurrencia de una falla en cada ladera.

1.5.3 Descripción metodológica para obtener susceptibilidad a movimientos en masa

A raíz de las catástrofes causadas por fenómenos naturales, los distintos estudios de amenaza por fenómenos naturales han constituido la base para la planificación y el desarrollo sostenible en los planes, esquemas de ordenamiento territorial y los programas gubernamentales de prevención de desastres. Los fenómenos de remoción en masa, comúnmente llamados deslizamientos o derrumbes, constituyen una de las causas más frecuentes de desastres en el territorio nacional y son por tanto una amenaza cuya distribución y magnitud se deben conocer para mejorar el manejo de las zonas propensas a presentarlos.

La existencia de diferentes metodologías para la zonificación de la amenaza y vulnerabilidad por remoción en masa a dejado los análisis de estabilidad de taludes desarrollada por el Servicio Geológico Colombiano y empleados ampliamente en el país, sin embargo el análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos no posee una guía técnica dirigida a los tomadores de decisiones y a profesionales no expertos en el tema, esta zonificación inicial se entiende como la predisposición de un territorio a presentar determinados fenómenos amenazantes en consecuencia se plantea que un evento de origen natural no se da si no existen determinadas condiciones ya sean geológicas, geográficas, meteorológicas, atmosféricas ambientales y sociales susceptibles de espacialización.

Los proyectos por subcuencas cubren superficies de cien kilómetros cuadrados en promedio y se realizan a escalas entre 1:25.000 y 1:10.000. En estos estudios la información temática de las variables geoambientales se debe levantar durante el desarrollo del estudio y de acuerdo a su alcance, para cartografiar zonas inestables se pueden utilizar fotografías aéreas o imágenes satelitales, inventarios de eventos históricos con objeto de identificar, categorizar y espacializar los diferentes tipos de movimientos en masa.

Con los productos de estos estudios es posible formular y ejecutar programas de prevención de desastres, de conservación, manejo y recuperación ambiental que ayuden a la formulación de planes o esquemas de ordenamiento territorial rural con mayor información para la toma de decisiones.

El término remoción en masa hace referencia a desplazamientos de terreno y no incluye los procesos erosivos denudacionales, se puede definir un movimiento en masa como todo desplazamiento hacia abajo (vertical o inclinado en dirección del pie de una ladera), de un volumen de material litológico importante, en el cual el principal agente es la gravedad.

Zonificación de Movimientos en Masa.

La cartografía, evaluación y zonificación de la susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo, de áreas por fenómenos de remoción en masa, concierne a un gran número de disciplinas de las ciencias de la tierra (geología, geomorfología, geografía, ingeniería), por lo que el desarrollo de las metodologías opera en un abanico interdisciplinario de profesionales expertos en sus temáticas sumando esfuerzos para definir la amenaza total en una posición geográfica de la cuenca en mención.

Análisis de Susceptibilidad a Movimientos en Masa

Para evaluar el grado de susceptibilidad del terreno frente a deslizamientos existen diversas aproximaciones basadas la mayor parte de ellas en la determinación de los factores que influyen en la aparición de roturas, en general estos factores se combinan para definir los distintos grados de susceptibilidad traducidos como mapas de susceptibilidad.

Existen cuatro principales procedimientos utilizados en la evaluación y confección de mapas de susceptibilidad, dentro de estos procedimientos se encuentran los métodos determinísticos, heurísticos, probabilísticos y métodos geomorfológicos.

Los métodos determinísticos se utilizan para el estudio de la estabilidad de una ladera o talud concreto. Se fundamenta en métodos basados en el equilibrio límite o en modelos numéricos de base física, esto traduce una ventaja frente a otros métodos. Estas técnicas muestran un grado de fiabilidad alto en caso de que los datos sean fiables, sin embargo, no es utilizado en áreas extensas pues no se encuentra sentido en zonificaciones rápidas.

Los métodos heurísticos se basan en el conocimiento a priori de los factores que producen inestabilidad en el área objeto de investigación. Los factores son ordenados y ponderados según su importancia asumida o esperada en la formación de deslizamientos.

Las aproximaciones estadísticas se basan en las relaciones observadas entre cada factor y la distribución de deslizamientos actual y pasada, se utiliza cuando se posee abundante información, tanto cualitativa como cuantitativa, lo que permite aplicar modelos estadísticos que pueden ser univariados o multivariados, la potencia de estos métodos radica en la calidad y cantidad de los datos adquiridos.

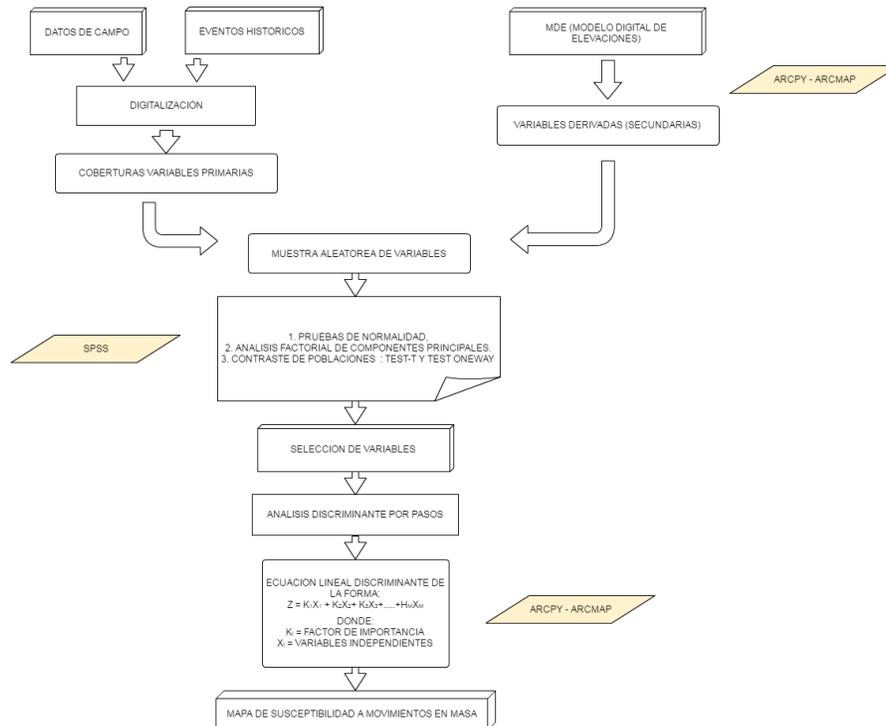
Los métodos geomorfológicos se basan en la determinación de condiciones de inestabilidad de ladera mediante técnicas morfológicas, cartografía y zonificación. La principal ventaja es la validez, detalle del análisis y mapas resultantes, sin embargo, posee un alto grado susceptibilidad dependiente de la experiencia de los profesionales.

Para el análisis que nos compete en este caso se ha hecho uso de los métodos estadísticos multivariantes pues estudian la interacción y dependencia de un conjunto de factores que actúan simultáneamente en la ocurrencia de deslizamientos, para establecer la implicación que tiene cada uno de ellos. Estas metodologías traducen una aproximación objetiva situándose hoy como los procedimientos con mejores resultados en la predicción espacial de deslizamientos, dentro de las técnicas más utilizadas se encuentran la regresión múltiple y el análisis discriminante cuyo resultado presenta funciones de combinación lineal de los factores de mayor significancia estadística para definir las condiciones de inestabilidad, teniendo en cuenta desde luego presencia o ausencia de deslizamientos.

En Carrara (1991), utilizaron el análisis discriminante para calcular la susceptibilidad a la rotura de varias tipologías de deslizamientos, con una muestra aleatoria del 65% de 266 unidades de ladera, donde el 35% de unidades restantes fueron utilizadas para validar el modelo, demostrando una vez más su idoneidad para el estudio de susceptibilidad por Nuria Santacana (2001), con la aplicación a la cuenca alta del río Llobregat en escala 1:25.000, con esta información se ha decidido aplicar dicho análisis discriminante a la presente cuenca pues presentó mejores resultados con baja subjetividad.

Metodología Susceptibilidad

Figura 10. Metodología para evaluación de susceptibilidad a movimientos en masa.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

La Figura 10 muestra el proceso seguido para la evaluación de la susceptibilidad para la cuenca hidrográfica del río Juanambú, el proceso seguido corresponde a las variables primarias y secundarias de las cuales se toma una muestra de celdas estables (sin eventos) e inestables (con eventos) que se

usan como insumo al método discriminante cuyo objeto es encontrar la combinación lineal de variables independientes que permita diferenciar de la mejor manera a los grupos o niveles que la variable dependiente tiene, el resultado del análisis discriminante corresponde a una función lineal que se utiliza para clasificar nuevos elementos.

Definición de las Variables

De acuerdo a los insumos necesarios definidos por la metodología empleada, la O Recopila las variables a utilizar, que varían en su topología y cuyas definiciones y características serán descritas posteriormente en el numeral 1.5.4. (Ver Tabla 7).

Tabla 7. Variables utilizadas para el modelo de susceptibilidad a movimientos en masa.

Variables Primarias			
Inventario históricos	MM	Evento histórico de un movimiento	Punto
Cobertura Vegetal	VEG	Densidad y cobertura del suelo	Polígono
Geología	GEOL	Geología levantada en campo	Polígono
Geomorfología	GEOM	Geomorfología levantada en campo	Polígono
Fallas	FALLA	Fallas de la cuenca	Línea
MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES			
Elevación	DEM	altitud sobre el nivel del mar	Raster
	DEMFill	DEM corregido desde hidrología	Raster
Variables derivadas del modelo digital de elevaciones (DEM)			
Geometría de ladera	PEND	Pendiente	Raster
	PENDS	Pendiente sinusoidal de la ladera	Raster
	PENDM	Pendiente media de ladera	Raster
	ORIENT	Dirección y orientación de laderas	Raster
	INSOL	Coeficiente de iluminación	Raster
	RUGOS	Variación de la pendiente del terreno	Raster
	CURVAR	Grado de concavidad/convexidad del terreno	Raster
	PERFIL	Grado de concavidad/convexidad en la dirección de la pendiente	Raster
Cuenca Vertiente	PLA	Grado de concavidad/convexidad en la dirección transversal de la pendiente	Raster
	ACUENCA	Área acumulada de la cuenca	Raster
	LONG	Longitud máxima de la cuenca acumulada ponderada con la pendiente	Raster

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Procedimiento de análisis

Obtenidas las variables de la tabla anterior el procedimiento de análisis consta de las siguientes etapas para el análisis discriminante:

1. Obtención de la muestra
2. Depuración de los datos (análisis de variables)
3. Selección de las variables independientes de mayor significancia para construir la función discriminante.

4. Definición de la función discriminante.
5. Definición de los niveles de susceptibilidad y confección de mapa.
6. Validación de la función y mapa de susceptibilidad.

1. Obtención de la muestra

La selección aleatoria de la muestra se conforma de un número similar de individuos de las poblaciones estables e inestables, esto evita la dependencia estadística de una de las poblaciones y es una condición necesaria para optimizarla clasificación de los individuos.

2. Depuración de los datos (análisis de variables)

En esta etapa mediante estadística simple se describen las características de las variables lo que revelará si la muestra tomada contiene errores, valores anómalos o incluso la omisión de ciertos valores.

3. Selección de las variables independientes de mayor significancia para construirla función discriminante.

La fase de selección consta de diferentes etapas en las que mediante el análisis estadístico de tipo descriptivo, se identifican aquellas variables que mejor explican la distribución espacial de los deslizamientos y su influencia en la susceptibilidad del terreno. Estos análisis preliminares permiten descartar variables que no cumplan con los supuestos básicos para la técnica discriminante y afecten la validez de los resultados.

Este análisis se divide en los siguientes pasos:

- a. Chequeo del ajuste de las variables a una distribución normal
- b. Chequeo de variables independientes
- c. Construcción de la función discriminante

4. Definición de la función discriminante.

El paso anterior ha permitido seleccionar un reducido número de variables independientes y de gran significancia estadística, el método utilizado para la selección de las variables fue el denominado "stepwise" o método por pasos, mediante esta técnica las variables entran o son excluidas una a una en la función discriminante.

5. Definición de los niveles de susceptibilidad y confección de mapa.

La función discriminante obtenida permite asignar distintos valores a cada celda, lo que indica mayor o menor susceptibilidad a producir deslizamientos, con las variables que componen la función y sus coeficientes se crea una malla regular discriminante que contiene los valores de cada unidad.

6. Validación de la función y mapa de susceptibilidad.

La validación de la función corresponde a la generación de una nueva malla regular sin los valores de celda susceptibles a movimientos en masa tomados en el análisis discriminante, con el restante de eventos por movimientos en masa se hará la validación, los puntos serán objeto de agrupación por

cada uno de los niveles de susceptibilidad, con la cantidad de eventos por rango obtendremos el índice de fiabilidad, expresado de la siguiente forma:

$$\text{Índice de fiabilidad} = \frac{(n/N)}{\Sigma(n/N)} * 100$$

Siendo n el número de deslizamientos y N el número de celdas de una categoría de susceptibilidad, como segundo factor se encuentra $\Sigma (n/N)$ definida como la suma de todos los niveles de susceptibilidad, finalmente serán multiplicados por 100 para manejar los valores como porcentajes. Los valores más altos de este índice implicarán a categorías de susceptibilidad con gran cantidad de deslizamientos en el escenario.

1.5.4 Descripción de las variables de susceptibilidad a movimientos en masa

A continuación, se describen las variables para la ponderación de los factores condicionantes:

1.5.4.1 LOCALIZACIÓN DE MOVIMIENTOS EN MASA (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, como se ve representado en la Figura 11.

Figura 11. Localización de eventos de remoción en masa en función a la susceptibilidad a movimientos en masa



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

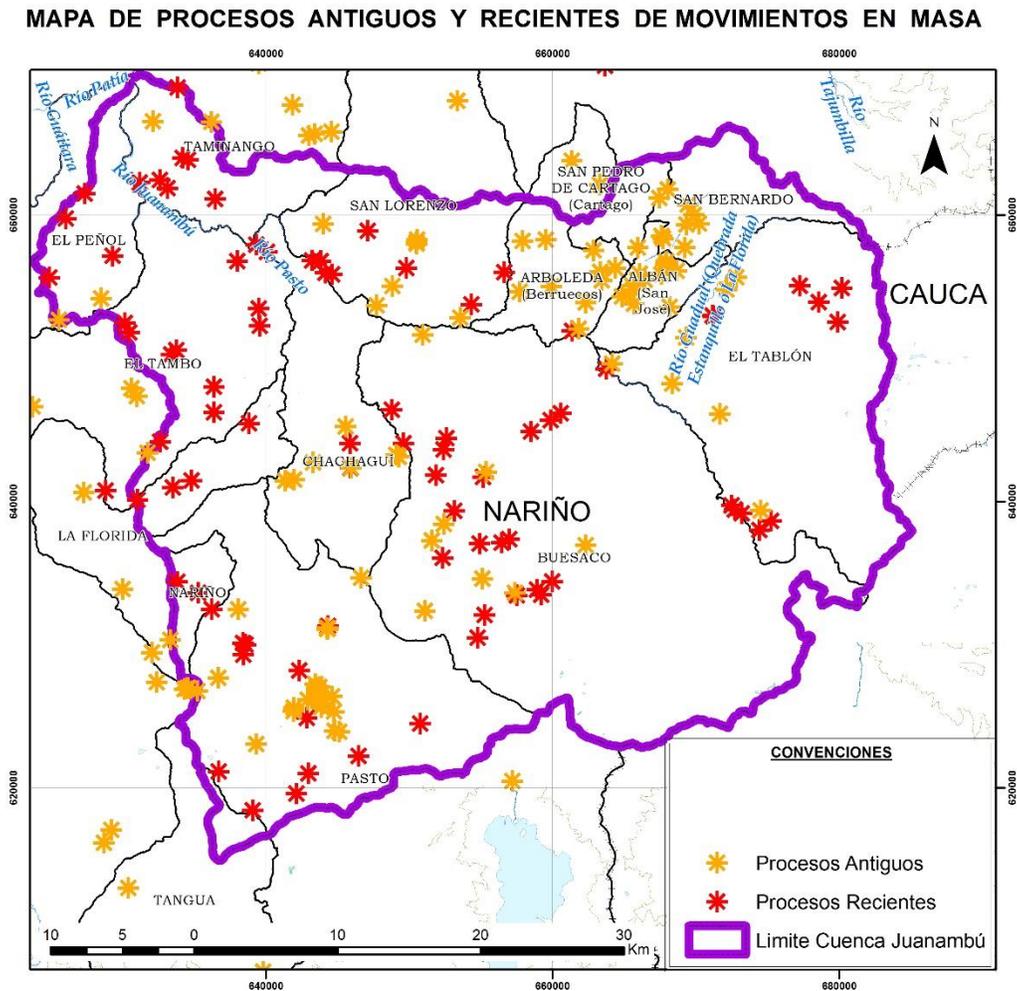
Para la integración de esta base de datos se tienen en cuenta la localización de los eventos obtenidos de diversas fuentes, adicional a esto, se determinan puntos aleatorios en donde se presenten condiciones de susceptibilidad a movimientos en masa bajas, también llamados verdaderos positivos, que se completan para formar la base de datos de localización de movimientos en masa.

MM históricos (MMHIST): 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 como vías, ríos, veredas, entre otros. El inventario se obtiene para los procesos de validación y evaluación del modelo.

- Formato: Vector tipo punto.
- Fuente: Base de datos de información de campo, eventos históricos proporcionados por las bases de datos del CDGRD (Consejo Departamental de Gestión del Riesgo de Desastre), CREPAD BOYACÁ (Comité Regional para la Prevención y Atención de Emergencias y Desastres), PGR (Plan de Gestión del Riesgo), Periódico El Tiempo, SIMMA (Sistema de

Información de Movimientos en Masa, Servicio Geológico Colombiano), e información social entregada por diferentes actores para la gestión del riesgo (Ver Figura 12).

Figura 12. Mapa de procesos antiguos y recientes de movimientos en masa para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

El análisis de la distribución espacial y el comportamiento de esta variable, para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú, fueron descritos previamente, y puede ser consultado detalladamente en los párrafos iniciales del numeral 1.1.1.8

1.5.4.2 FACTORES CONDICIONANTES

1.5.4.2.1 Modelo Digital del Terreno (DTM)

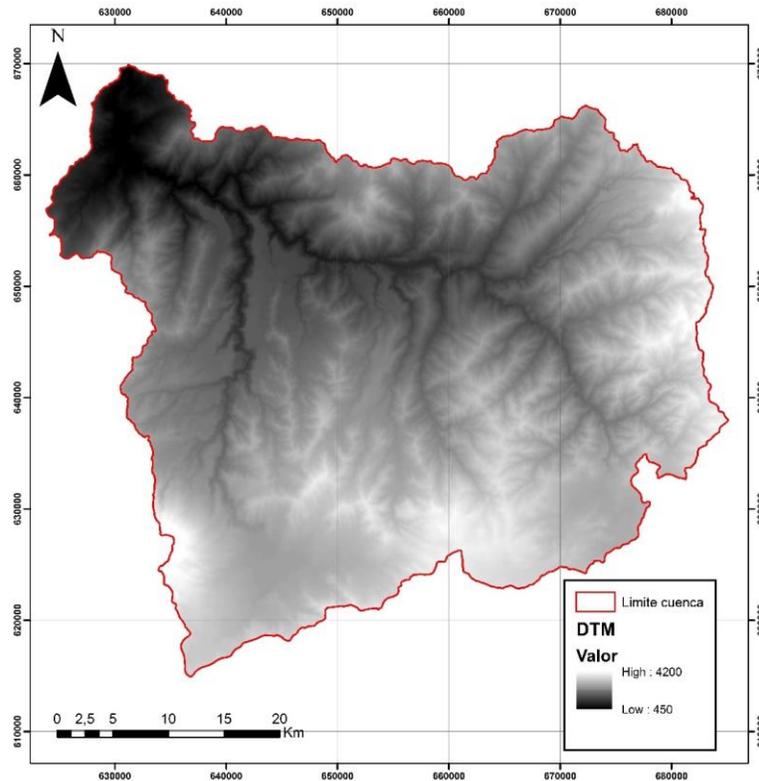
El Modelo digital del terreno (DTM) es una matriz (raster) en la que el valor de cada pixel corresponde a la altitud sobre el nivel del mar en metros del mismo (Ver Figura 13). Este factor constituye el insumo de entrada para obtener las variables que componen las características geométricas de la ladera

(CGL): PEND, PENDT, ASPECT, INSOL, RUGOS, CURVAR, PERFL, PERFT, ACUENCA, LONG, y PENDM.

Formato: Raster (Valor de celda indica el valor de la elevación)

Fuente: Cartografía Base

Figura 13. Modelo Digital del Terreno DTM utilizado para calcular variables de características geométricas de la ladera en función de la susceptibilidad a movimientos en masa.

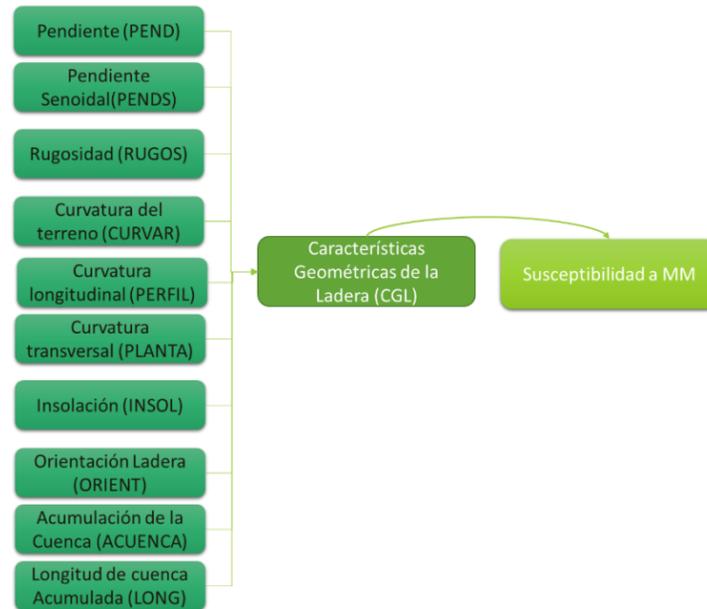


Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.5.4.3 Características geométricas de la ladera (CGL)

Este tipo de variables, denominadas también como derivadas del DEM, se encuentran representadas en la Figura 14 y se definen a continuación.

Figura 14. Características geométricas de la ladera en función a la susceptibilidad a movimientos en masa



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.5.4.3.1.1 Pendiente de la ladera (PEND)

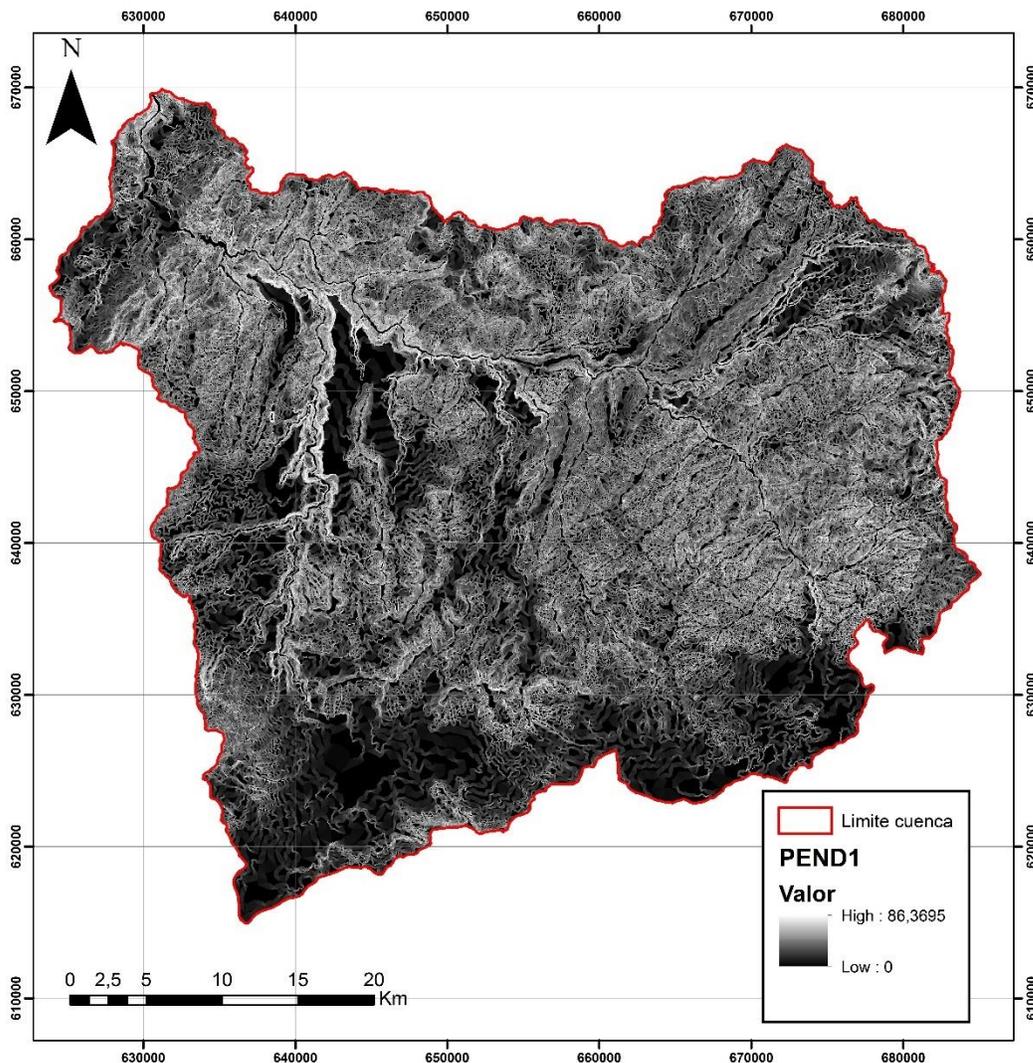
Hace referencia al ángulo existente entre la superficie del terreno y la horizontal, su importancia radica en la influencia del factor sobre la estabilidad del suelo como factor geométrico.

Formato: Ráster

Fuente: derivado del DTM

Para esta variable, se normalizaron sus valores entre 0 y 1, siendo 0 muy poco susceptible, y 1 muy susceptible (Ver Figura 15).

Figura 15. Pendiente de ladera en función de la susceptibilidad a movimientos en masa.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.5.4.3.1.2 Pendiente senoidal de la ladera (PENS)

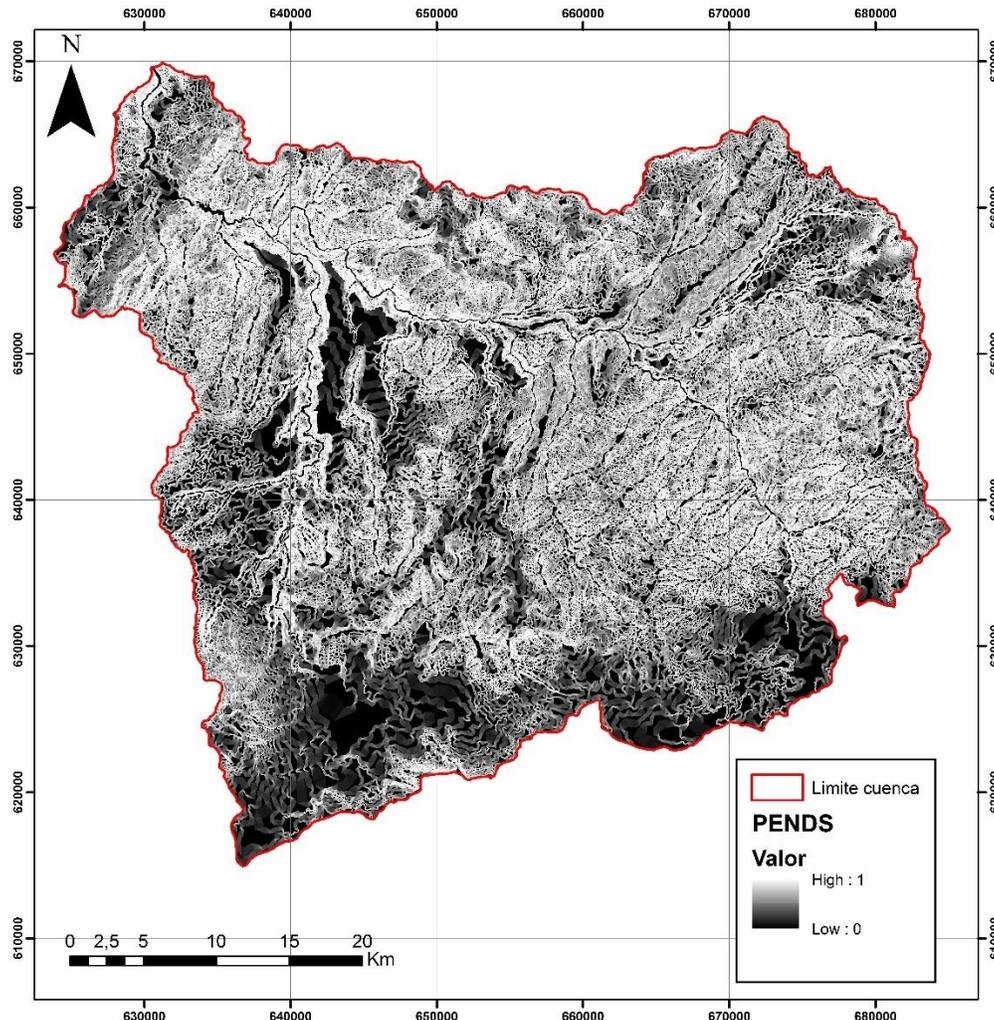
Corresponde a la pendiente senoidal de la ladera que tiene un comportamiento relevante con respecto a las zonas de rotura de los deslizamientos superficiales, pues la afectación del aumento de la pendiente es proporcional hasta los 45°, valor a partir del cual empieza a tener un comportamiento inversamente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

Formato: Ráster.

Fuente: derivado del DTM.

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 susceptible a sufrir un evento de remoción en masa, la calificación para esta variable es equiparable con su valor (Ver Figura 16).

Figura 16. Pendiente senoidal de ladera en función de la susceptibilidad a movimientos en masa.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

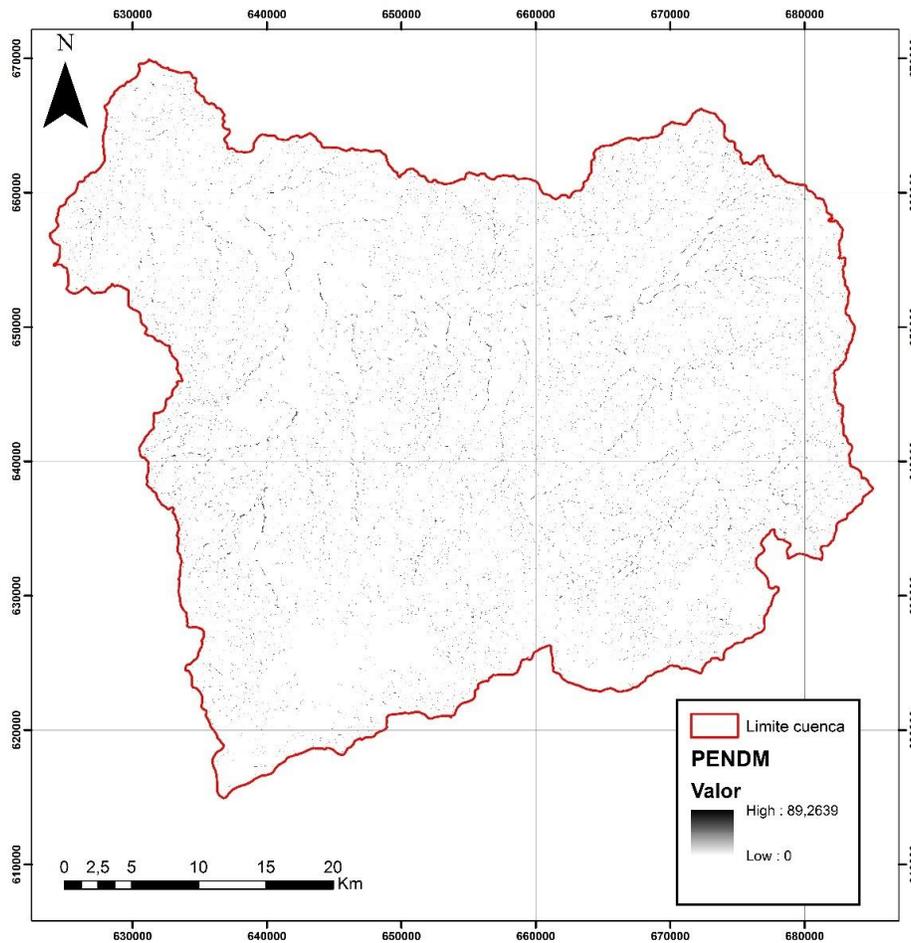
1.5.4.3.1.3 Pendiente media de la ladera (PENDM)

Corresponde a la Pendiente Media de la cuenca aguas arriba de la celda considerada. Se define como el valor medio de la pendiente de la cuenca siguiendo el recorrido de las líneas de flujo acumulado. La pendiente se calcula según la línea de longitud máxima de la cuenca para cada celda. Tomando un rango de valores que oscila entre 0 y 90 grados. Al igual que PENDS, la afectación del aumento de la pendiente es proporcional hasta los 45°, valor a partir del cual empieza a tener un comportamiento inversamente proporcional (Ver Figura 17).

Formato: Ráster.

Fuente: derivado del DTM

Figura 17. Pendiente media de ladera en función de la susceptibilidad a movimientos en masa.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

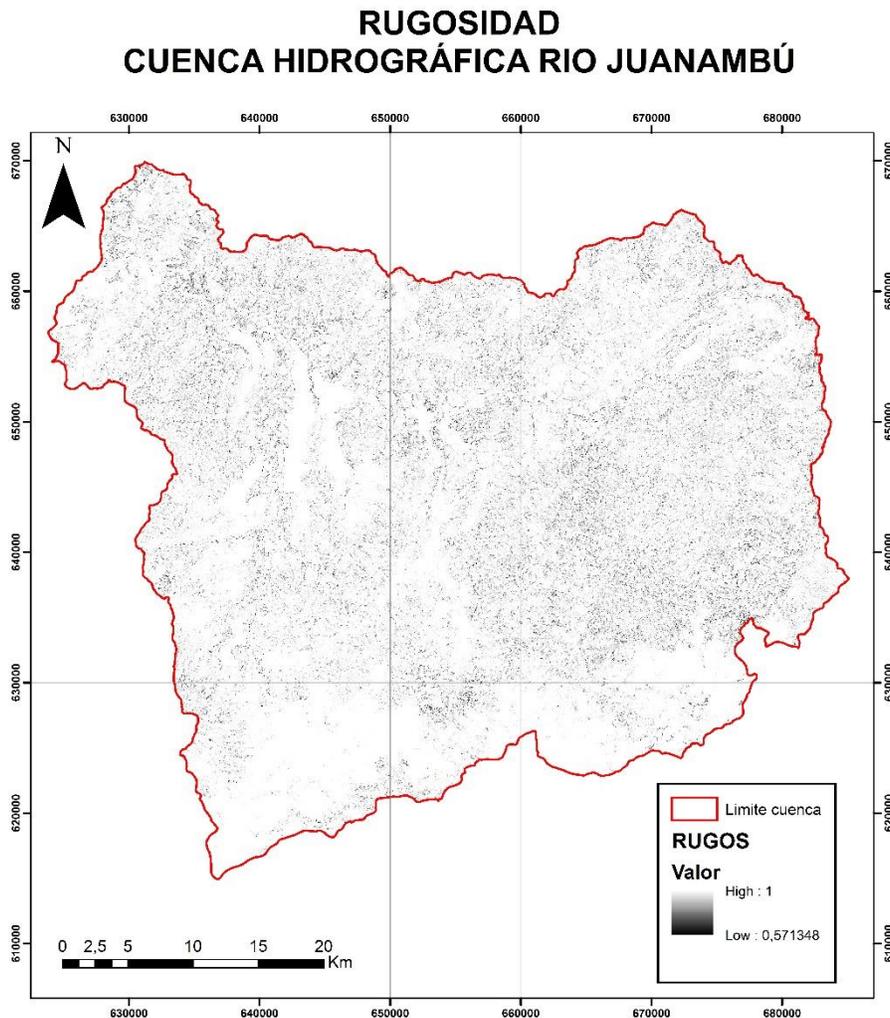
1.5.4.3.1.4 Rugosidad o variación de la pendiente del terreno (RUGOS)

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

- Formato: Raster.
- Fuente: derivado del DTM

Debido a que los valores de Rugosidad varían de 0 a 1, donde 0 significa que el terreno no presenta variación alguna y 1 cuando el terreno presenta alta variación, la calificación para esta variable es equiparable con su valor (Ver Figura 18).

Figura 18. Rugosidad en función de la susceptibilidad a movimientos en masa.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.5.4.3.1.5 Curvatura del terreno (CURVAR)

Corresponde al grado de curvatura de cada celda a evaluar con respecto al plano vertical. Su relación con el modelo está dada por el grado de concentración del drenaje superficial, el cual aumenta en las zonas con mayor concavidad. En la Tabla 8, se presenta la calificación y categorización de curvatura del terreno utilizada en el presente estudio, así mismo en la Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Figura 19 se muestra la Curvatura del terreno en función de la susceptibilidad a movimientos en masa.

Formato: Ráster.

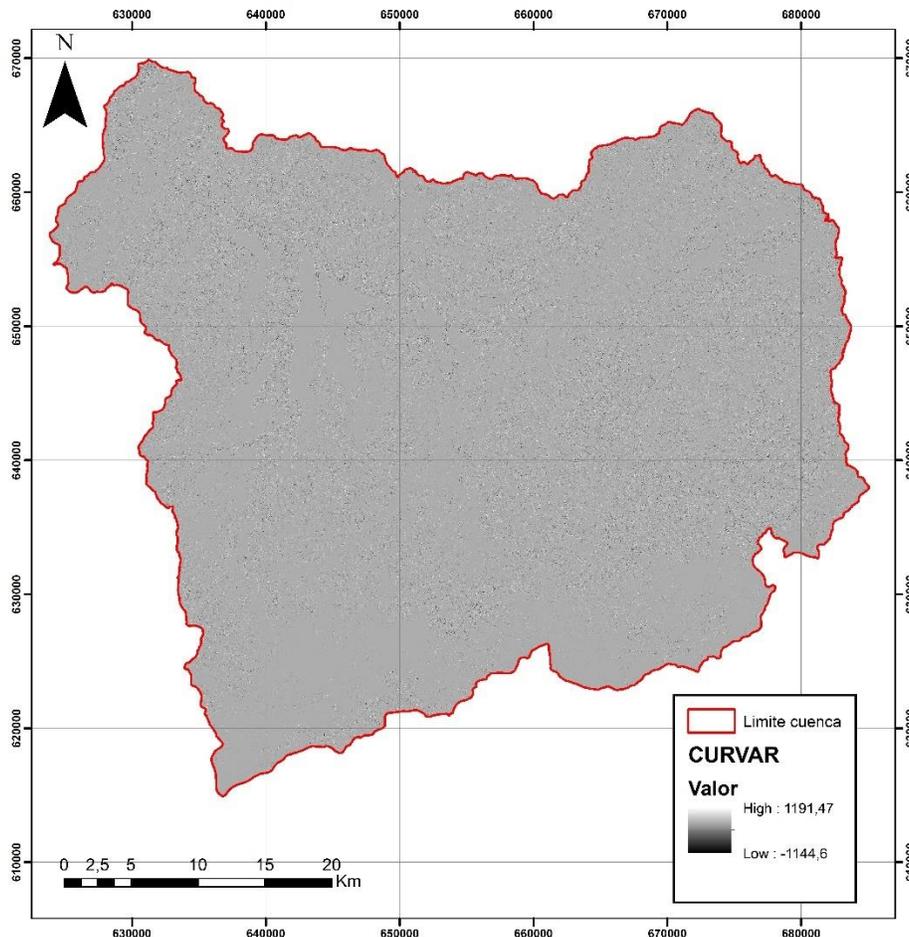
Fuente: derivado del DTM.

Tabla 8. Calificación y categorización de curvatura del terreno.

CURVATURA	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
<-0,3	Alta	1
-0.3 – 0.3	Moderada	0
>0,3	Baja	0

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Figura 19. Curvatura del terreno en función de la susceptibilidad a movimientos en masa.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.5.4.3.1.6 Curvatura con respecto al perfil (PERFIL)

Hace referencia al grado de curvatura pero a diferencia de la variable CURVAR, esta se mide de manera longitudinal y tiene una repercusión en la generación de erosión y deposición, debido a su impacto en la escorrentía y la aceleración del flujo. En la Tabla 9 se presenta la calificación y categorización de curvatura del terreno con respecto al perfil utilizada en el presente estudio y en la Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Figura 20 se muestra la curvatura del terreno con respecto al perfil en función de la susceptibilidad a movimientos en masa.

Formato: Ráster.

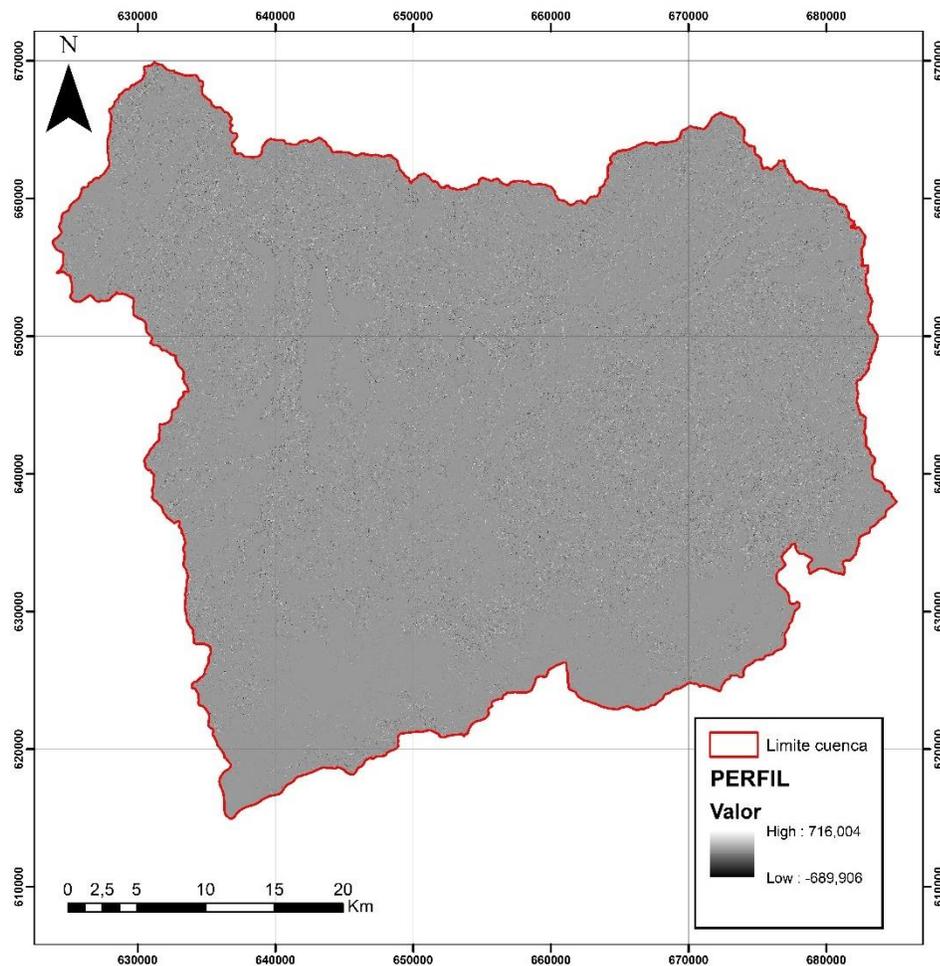
Fuente: derivado del DTM.

Tabla 9. Calificación y categorización de curvatura del terreno con respecto al perfil.

CURVATURA LONGITUDINAL	CATEGORIA	CALIFICACION
<-0,3	Alta	1
-0.3 – 0.3	Moderada	0
>0,3	Baja	0

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Figura 20. Curvatura del terreno con respecto al perfil en función de la susceptibilidad a movimientos en masa.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.5.4.3.1.7 Curvatura con respecto al plano horizontal (PLANTA)

Esta variable también está asociada con la curvatura del terreno, pero para este caso es medido en la dirección perpendicular de la pendiente. Indica la convergencia del flujo hacia la celda. En la Tabla 10, se presenta la calificación y categorización de curvatura del terreno con respecto al plano horizontal utilizada en el presente estudio, así mismo en la Fuente: **Consortio POMCA 2015, 053**

Figura 21 se muestra la curvatura del terreno con respecto al plano horizontal en función de la susceptibilidad a movimientos en masa.

Formato: Ráster.

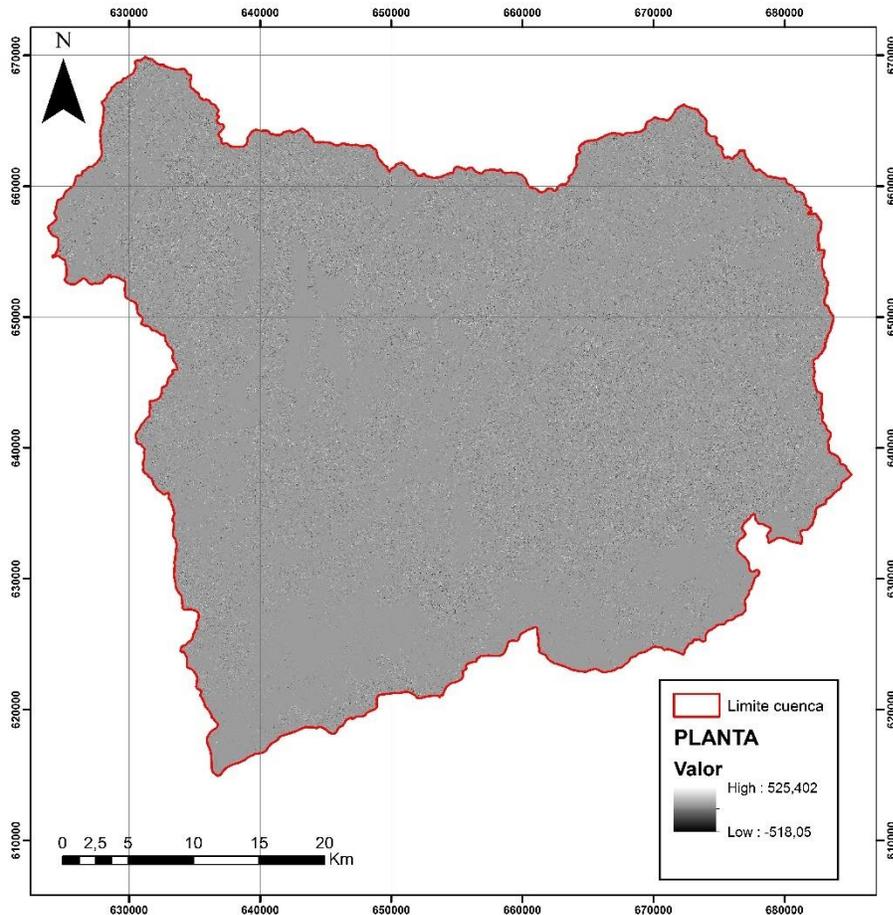
Fuente: derivado del DTM.

Tabla 10. Calificación y categorización de curvatura del terreno con respecto al plano horizontal.

CURVATURA TRANSVERSAL	CATEGORIA	CALIFICACION
<-0,3	Alta	1
-0.3 – 0.3	Moderada	0
>0,3	Baja	0

Fuente: Consortio POMCA 2015, 053

Figura 21. Curvatura del terreno con respecto al plano horizontal en función de la susceptibilidad a movimientos en masa.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.5.4.3.1.8 Insolación (INSOL)

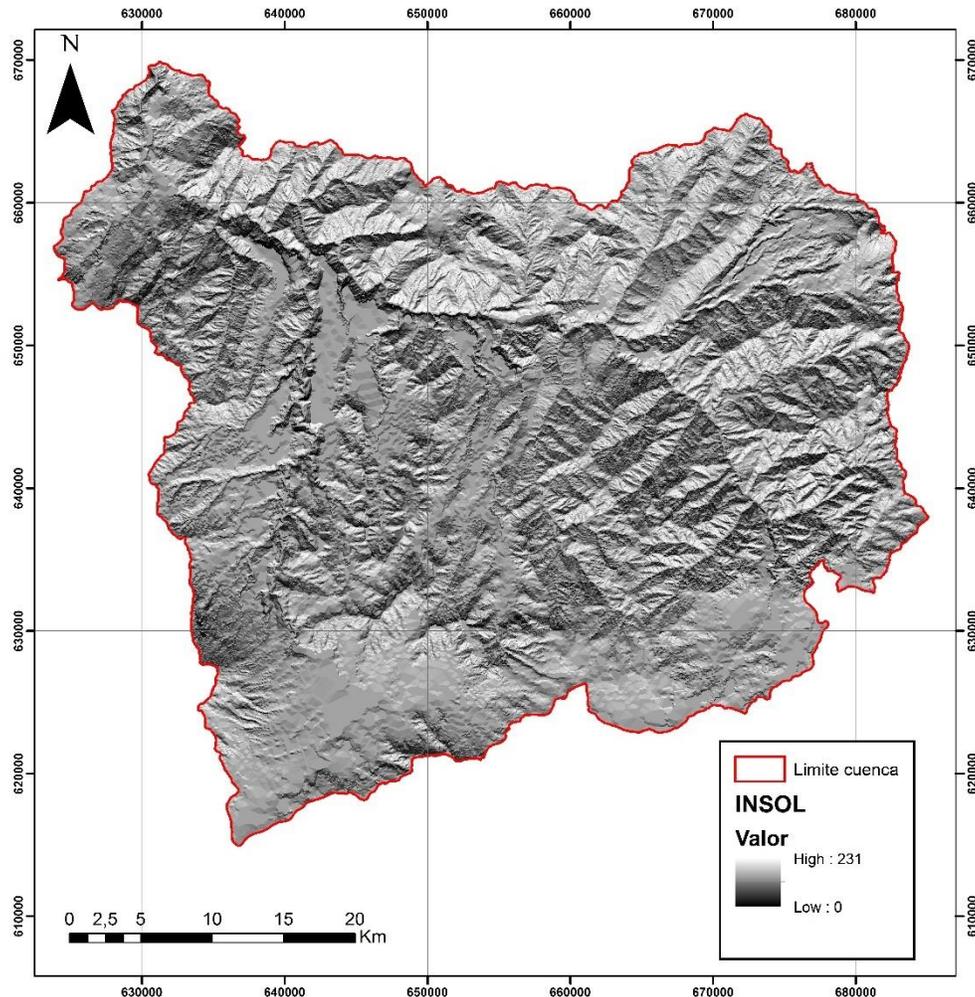
Corresponde al coeficiente de iluminación o intensidad reflejada de la superficie terrestre, indicando el tiempo en que cada punto a evaluar dentro de la cuenca se encuentra en la sombra, lo que tiene incidencia en la humedad del suelo y a cambios bruscos.

- Formato: Ráster.
- Fuente: derivado del DEM.

Esta variable fue calculada con el promedio de 10 Ráster que se generaron variando azimut y altitud de la siguiente manera: 5 Ráster generados con azimut 315 y variación de altitud 18, 36, 54, 72, 90. Y 5 Ráster generados con azimut 135 y variación de altitud 18, 36, 54, 72, 90.

Debido a que los valores de Insolación varían de 0 a 1, donde 0 significa que el terreno presenta menor retención de humedad y en consecuencia menor susceptibilidad a eventos de movimientos en masa, la calificación para esta variable es equiparable con su valor (Ver Figura 22).

Figura 22. Insolación en función de la susceptibilidad a movimientos en masa.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.5.4.3.1.9 Orientación de la ladera (ORIENT)

Hace referencia a la dirección de exposición de la ladera para cada punto de la cuenca a evaluar, y se adiciona con el fin de tener en cuenta tres elementos. Inicialmente es una forma de evaluar de manera indirecta la insolación (y por tanto su estado de humedad frecuente), también es un indicador para la cantidad de vegetación, pues en las zonas sombrías se puede presentar vegetación con mayor estabilidad por la presencia de raíces en algunos casos, y un tercer elemento está asociado con la cantidad de lluvia recibida, “según la dirección de avance de los frentes nubosos”. En la Tabla 11, se presenta la calificación y categorización de la orientación de la ladera utilizada para realizar el análisis de la variable en el presente estudio, así mismo en la Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Figura 23 se muestra la orientación de ladera en función de la susceptibilidad a movimientos en masa.

Formato: Ráster.

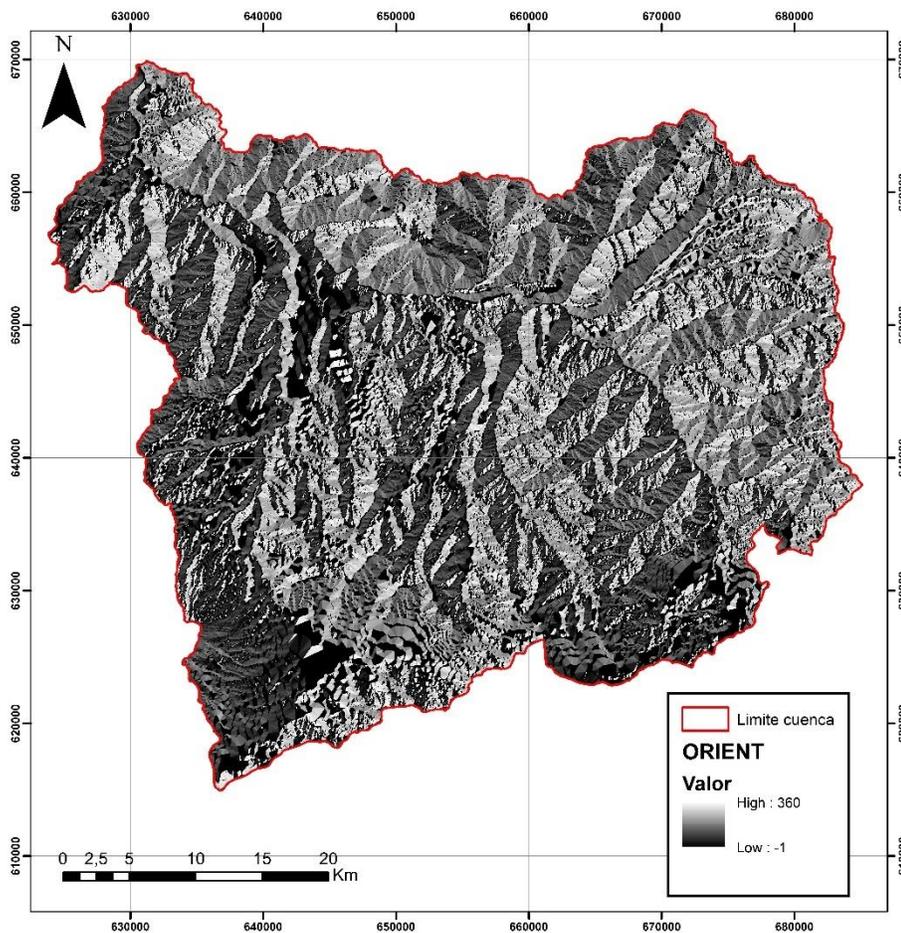
Fuente: derivado del DTM.

Tabla 11. Calificación y categorización de la orientación de la ladera.

ORIENTACION DE LADERA	CATEGORIA	CALIFICACION
-1	Baja	0
0 – 22.5	Alta	1
22.5 – 67.5	Moderada	0,66
67.5 – 112.5	Baja	0,33
112.5 – 157.5	Moderada	0,66
157.5 – 202.5	Alta	1
202.5 – 247.5	Moderada	0,66
247.5 – 292.5	Baja	0,33
292.5 – 337.5	Moderada	0,66
337.5 – 360	Alta	1

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Figura 23. Orientación de ladera en función de la susceptibilidad a movimientos en masa.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.5.4.3.1.10 Acumulación de la cuenca (ACUENCA)

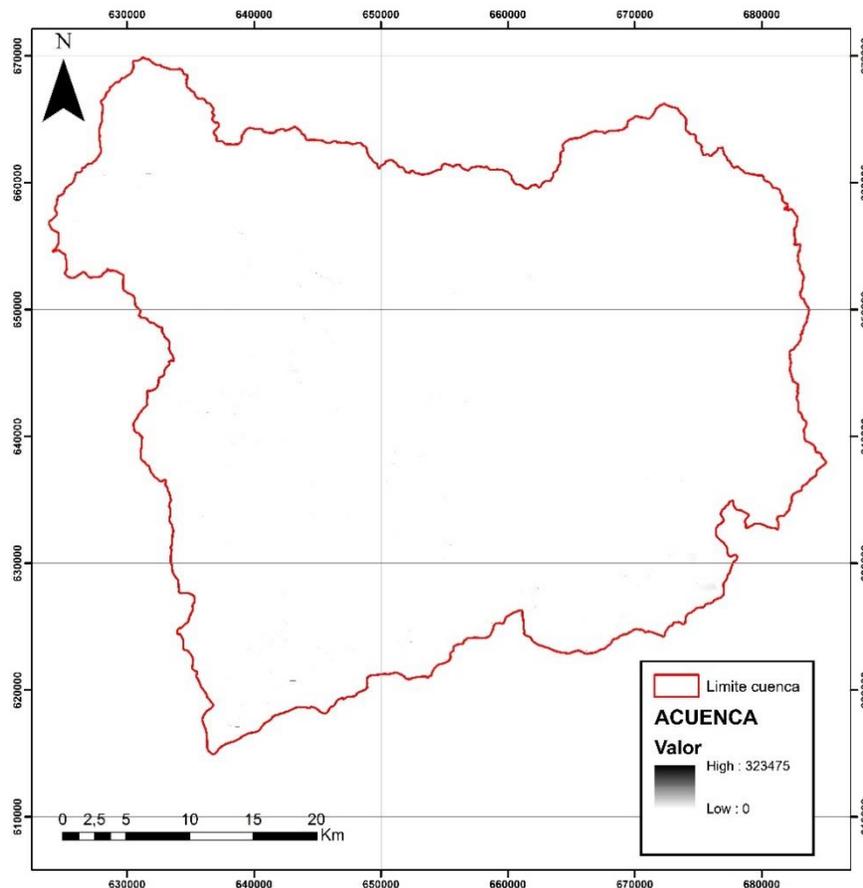
El área cuenca se relaciona con la cantidad de agua que es capaz de recoger e infiltrar en el terreno. A mayor superficie más agua infiltrada y más posibilidades de producir roturas. Se obtiene a partir de la dirección del flujo, el cual permite posteriormente calcular la acumulación por cada celda del DTM.

Formato: Ráster.

Fuente: derivado del DTM.

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 (Ver Figura 24).

Figura 24. Acumulación de la cuenca en función de la susceptibilidad a movimientos en masa.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.5.4.3.1.11 Longitud de cuenca acumulada (LONG)

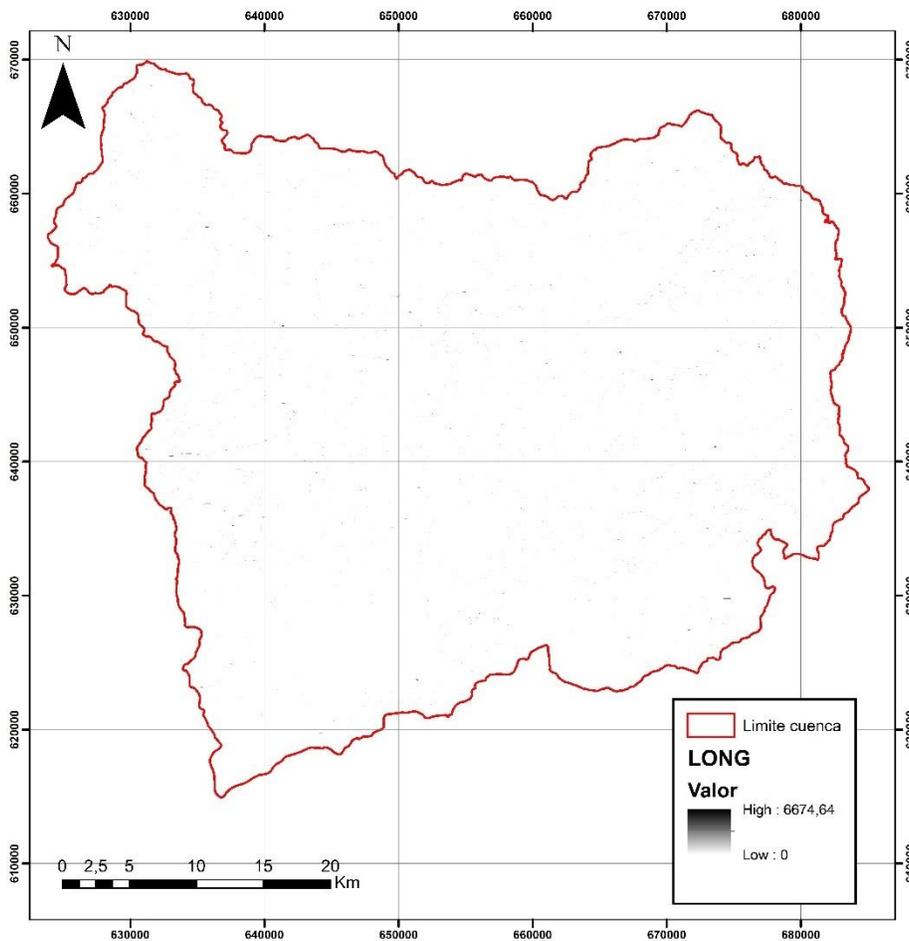
Esta variable da una indicación del tamaño de la cuenca acumulada, la capacidad de la misma para concentrar agua subterránea y de la posible acumulación de sedimentos. Se obtiene a partir de la

dirección de flujo que permite posteriormente calcular la longitud máxima de la cuenca acumulada para cada celda del DTM (Ver Figura 25).

Formato: Ráster.

Fuente: derivado del DTM.

Figura 25. Longitud de cuenca acumulada en función de la susceptibilidad a movimientos en masa.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Las variables que constituyen las características geométricas de la ladera, también llamadas variables derivadas del DEM para la cuenca hidrográfica del río Juanambú, 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.

Para el área de estudio, el modelo digital del terreno (DTM, por sus siglas en inglés) permite ver que la zona comprende en su mayoría una topografía elevada con respecto al nivel del mar, y muestra una distribución espacial relativamente heterogénea, con una variación de altura de aproximadamente 500 a 3800 m.s.n.m. Las pendientes de laderas de la zona, a su vez, muestran que en general, el área se compone de zonas de pendientes de bajo y medio grado (0° - 25°), a excepción de sectores al noroccidente y suroccidente de la cuenca, en donde se obtienen valores de pendiente de hasta 80° . A su vez, la rugosidad del terreno presenta sus valores más altos (aproximadamente 0,4) en esta área de la cuenca, congruente con los sectores de elevada topografía y alta pendiente.

Las zonas de mayor elevación topográfica (3300-3800 m.s.n.m), en los sectores sur y oriental de la cuenca, en los límites entre los municipios de Genoy, Mapachico, Obonuco, Gualmatan, Catambuco, San Fernando y La Laguna, respectivamente, concuerdan con las zonas de mayores pendientes (30° - 80°) y valores elevados de rugosidad, que evidencian los cambios importantes de pendiente y permite delimitar taludes y laderas, más susceptibles a procesos de remoción en masa.

Por su parte, los sectores de menor elevación (500 a 1000 m.s.n.m) se encuentran asociados al cauce de los ríos Pasto y Juanambú y sus áreas de influencia, atravesando gran parte de la cuenca, en forma curva, hacia el cuadrante noroccidental de la cuenca. La localización de eventos de movimientos en masa se encuentran asociados principalmente a zonas topográficas medias (1300 a 2600 m.s.n.m), para esta cuenca, ubicadas ladera abajo, en donde existe influencia de procesos estructurales como denudacionales, coherente con el desarrollo de laderas y colinas, dada una densidad de drenajes y meteorización química de la roca aflorante más elevadas, en donde teóricamente, debería verse reflejada una mayor susceptibilidad de movimientos en masa. Igualmente se puede ver que estos procesos también son recurrentes en zonas de material piroclástico en estas alturas.

La pendiente senoidal de ladera (PENDS), presenta una distribución espacial muy similar a la pendiente de la cuenca, en donde se presentan, en general, valores medios (de 0,3 a 0,7) indicando zonas con terreno estable en los sectores de pendientes bajas e inestable en los sectores de pendientes altas (hacia las márgenes sur y este), donde hay tendencia a baja susceptibilidad por movimientos en masa. Los valores más altos se presentan en el cuadrante nororiental de la cuenca y aproximadamente a 10km al oeste del municipio de San Lorenzo donde se dan tramos encañonados del río Juanambú, y que indican una mayor susceptibilidad de movimiento en masa, debido a zonas de rotura y deslizamientos superficiales para esta variable.

La curvatura del terreno (CURVAR) para la cuenca del río Juanambú presenta en general valores medios a altos, debido a que la zona en general presenta morfologías montañosas. En el sector norte y occidental de la cuenca (municipios de Chachagú y La Toma), así como en los alrededores del municipio de San Juan de Pasto se presentan menores valores, debido a la variación del terreno por

morfologías planas a ligeramente planas. La curvatura del perfil (PERFIL), la cual es paralela a la pendiente e indica la dirección de la pendiente máxima, es coherente con la dirección de flujo de drenaje, y evidencia las zonas con mayor susceptibilidad de presentar procesos denudacionales y deposicionales (áreas de alta y baja pendiente, respectivamente), que en la cuenca se hacen evidentes hacia su límite norte (procesos de remoción en masa) y hacia el norte-centro (Área de convergencia de drenajes). La curvatura del plano (PLANTA), la cual es perpendicular a la dirección de la pendiente máxima, se relaciona con la convergencia y divergencia de la corriente por una superficie. En la cuenca del río Juanambú, esta variable presenta, en general, valores bajos para los sectores morfológicamente planos, en donde los drenajes divergen, y altos para las regiones montañosas, en donde los drenajes convergen, como es el caso de los límites elevados de la cuenca.

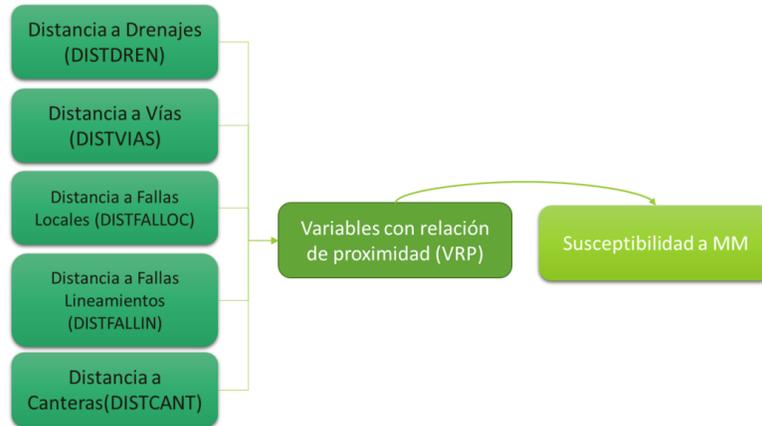
De acuerdo a las variables de insolación (INSOL) y Orientación de la pendiente (ORIENT), se presenta una alta susceptibilidad en gran parte del área de la cuenca, debido a las condiciones húmedas de la cobertura vegetal y el suelo, al encontrarse en zona con alta densidad de drenajes; por lo cual, se tiene que las zonas de topografía alta que tienen una mayor insolación, y por lo tanto se encuentran más secas, presentan una susceptibilidad menor a movimientos en masa, en comparación con el sector noroeste de la cuenca, en donde las condiciones húmedas a causa de las geoformas con tendencias más fluviales, hacen el sector más susceptible a este tipo de eventos de remoción en masa, así mismo, los sectores en donde la luz entra en sentido E-W, son menos susceptibles a presentar movimientos en masa, por tratarse esta, de una zona cercana a la línea ecuatorial.

Se presenta una baja capacidad de almacenamiento de agua para la cuenca del río Juanambú, representada por las variables ACUENCA (acumulación de la cuenca) y LONG (longitud de cuenca acumulada), lo cual hace que disminuya la susceptibilidad por movimientos en masa. Los municipios de Pasto, Obonuco, Catambuco y San Lorenzo, aunque evidencian una condición susceptible, al tratarse de una unidad geológica y geomorfológica de gran cobertura areal y longitudinal, que permite una mayor acumulación de agua y son más propensos a presentar procesos morfogenéticos relacionados con la dinámica del agua, su baja pendiente hace que sea estable y disminuya la probabilidad de presentarse movimientos en masa.

1.5.4.3.2 Variables con relación de proximidad (VRP)

Este tipo de variables se encuentran representadas en la Figura 26 y se definen a continuación.

Figura 26. Variables con relación de proximidad en función a la susceptibilidad a movimientos en masa.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.5.4.3.2.1 Distancia fallas y lineamientos (FALLA)

Corresponde a las discontinuidades estructurales locales y lineamientos regionales de los macizos rocosos que disminuyen la resistencia de este tal y como se observa en la Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Figura 27, aumentando la susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en Masa. En consecuencia, entre más proximidad exista entre la roca y la falla, menor será su capacidad de resistencia a los procesos denudacionales. Por lo anterior se realiza la siguiente clasificación y calificación (Ver Tabla 12).

Formato: Vector tipo línea.

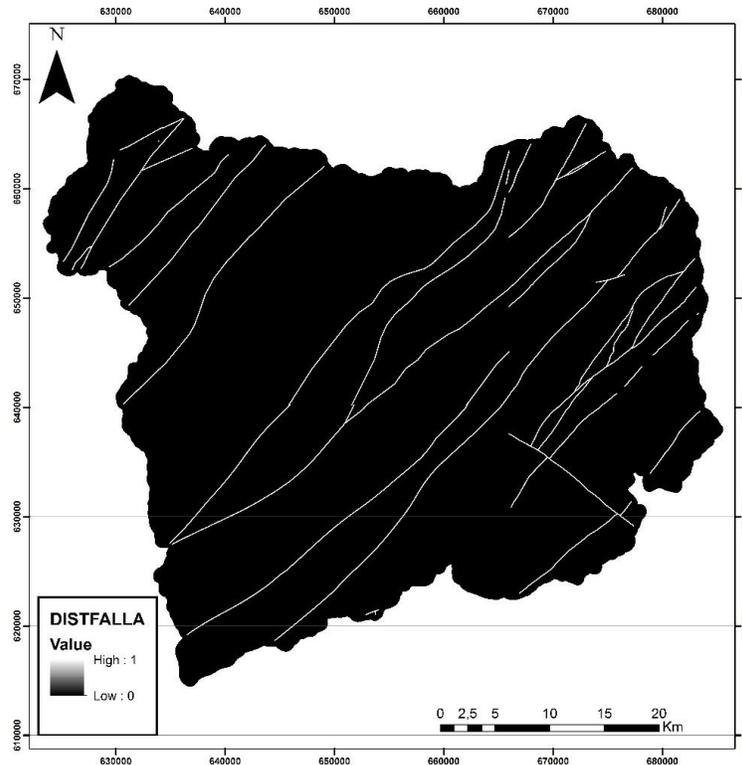
Fuente: SGC.

Tabla 12. Calificación y categorización de la distancia de fallamiento local.

DISTANCIA A CUERPOS DE AGUA (Grosor del buffer en m)	CATEGORIA DE AMENZA	CALIFICACION
0 – 3,5	Alta	1
3,5 – 7	Alta	0,9
7 – 10,5	Alta	0,8
10,5 – 14	Alta	0,7
14 – 17,5	Moderada	0,6
17,5 – 21	Moderada	0,5
21 – 24,5	Moderada	0,4
24,5 – 28	Baja	0,3
28 – 31,5	Baja	0,2
35	Baja	0,1

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Figura 27. Relación de proximidad de fallas locales y lineamientos en función a la susceptibilidad a movimientos en masa.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Las variables con relación de proximidad constituyen factores determinantes en la ocurrencia de movimientos en masa, puesto a que entre menor distancia se tenga con fallas o fracturas, mayor grado de susceptibilidad a un movimiento en masa existe, esto debido al incremento de condiciones de humedad, escorrentía superficial, infiltración, denudación y debilidad, tanto para el sustrato rocoso como para el suelo residual.

En cuanto a la incidencia de agentes antrópicos en la susceptibilidad de la cuenca por movimientos en masa, destacan la presencia de vías y canteras en el tipo de coberturas, las cuales aumentan la probabilidad de ocurrencia de estos eventos al propiciar la desestabilización de taludes por corte, remoción de material y ausencia de vegetación. A partir de la variable de distancia a vías en el área de estudio, en donde se presenta una alta densidad de las mismas, fue posible determinar un patrón de distribución espacial de zonas más susceptibles que otras, condicionadas por la proximidad a las cabeceras municipales, donde es común encontrarse una densidad vial mayor. A su vez, las áreas más susceptibles a presentar movimientos en masa por su proximidad con canteras son las áreas cercanas a los cascos urbanos de los municipios de San Juan de Pasto y Chachagüí, en la parte suroeste de la cuenca, donde se concentran los sectores de mayor cobertura de canteras, utilizadas para la extracción de material de construcción, entre otros.

Dentro de sus características físicas, la cuenca hidrográfica del río Juanambú está caracterizada por un denso sistema de drenaje el cual inicia su aparición en los altos topográficos ubicados en el sector sur, oriental y nororiental de la cuenca y sigue su curso, en dirección de la pendiente, hacia la franja

central, donde confluyen con los ríos Pasto, Juanambú y la quebrada Saraconcho. Esta región se caracteriza por un extenso ambiente geomorfológico de mezclas de unidades con génesis variadas, pues las dinámicas de los ríos han ido modelando las unidades originariamente de origen volcánico (depósitos piroclásticos aterrazados), y sierras de origen estructural y denudativo, sin embargo, las zonas de pendientes medias presentan una mayor susceptibilidad a movimientos en masa ya que estas zonas se encuentran condicionadas por variación topográfica sobresalientes y por ende una fuerte densidad de drenaje, que propicia una alta susceptibilidad a estos eventos.

Como se mencionó anteriormente, las áreas cercanas a fallas geológicas, lineamientos, y discontinuidades estructurales en el macizo rocoso, propician la ocurrencia de movimientos en masa, al disminuir su resistencia- competencia y constituirse como planos de debilidad en donde se desarrollan procesos de rotura de material. Para la cuenca hidrográfica del río Juanambú, los sectores más susceptibles a fenómenos de remoción en masa por este motivo se agrupan en el sector norte, donde visiblemente se han visto involucrados los municipios de Albán, San Bernardo, Las Mesas, Buesaco y El Tablón de Gómez, afectados por el trazo de las fallas regionales asociadas a la de Silvia Pijao, así como múltiples fallas satélites locales.

1.5.4.3.3 Variables Categóricas

1.5.4.3.3.1 Unidades geológicas básicas (GLG)

La variación de las características litológicas y estructurales del área de estudio influyen en el proceso de generación de eventos de remoción en masa ya que llevan a diferencias en la resistencia y permeabilidad de las rocas y suelos.

Los mapas de unidades geológicas con fines de ordenación de cuencas - Consorcio POMCA, contienen la zonificación por materiales geológicos. A partir de esta zonificación, se asigna un peso a cada sector, dependiendo de la resistencia o susceptibilidad que presenten al proceso de deslizamiento. Para aplicar estos pesos se tienen en cuenta factores como la edad y las propiedades del material, más no la localización en el terreno ni la pendiente.

En la Tabla 13, se presenta la clasificación y los pesos asignados a cada una de las clases de acuerdo a sus características (calificación de la susceptibilidad).

- Formato: Vector tipo polígono.
- Fuente: Unidades geológicas con fines de ordenación de cuencas - Consorcio POMCA.

Tabla 13. Calificación de la susceptibilidad del tipo de unidad geológica.

NOMEN	UNIDAD	CALIF
Qt	Depósitos cuaternarios de terrazas	0,4
K1cag	Complejo Quebradagrande	0,5
Qflp	Flujos de lodo y flujos piroclásticos	0,6
Kumsber	Ultramáfico San Bernardo	0,3
Qvc	Lluvias de ceniza	0,6
Qcal	Depósitos coluviales y aluviales	0,7

Qdgf	Depósitos glaciares y fluvioglaciares	0,4
Qsgf	Depósitos glaciares y fluvioglaciares	0,4
Qal	Depósitos aluviales	0
TQvf	Flujos de ceniza y pumita	0,6
TQvlc	Lavas y cenizas	0,4
TQvl	Lavas	0,2
Thd	Rocas ígneas hipoabisales dacíticas	0,4
Qsgf+TQvll	Depósitos glaciares y fluvioglaciares + Lahares y lavas	0,5
Tic	Rocas intrusivas	0,3
TQva+TQvlc	Avalanchas ardientes y de escombros + Lavas y cenizas	0,3
TQvll	Lahares y lavas	0,3
TQva	Avalanchas ardientes y de escombros	0,3
Kvd	Conjunto Kvd	0,5
Kmsv	Grupo Dagua	0,3
TMe	Formación Esmita	0,4
Tha	Rocas ígneas hipoabisales andesíticas	0,3
Thd+Tha	Rocas ígneas hipoabisales	0,3
Kv	Conjunto Kv	0,7
TQvi	Ignimbritas	0,3
PZbue	Secuencia Metamórfica de Buesaco	0,6
Kg	Grabo de Grano Fino	0,3
lp	Lavas picríticas	0,2
TQva+TQvll	Avalanchas ardientes y de escombros + Lahares y lavas	0,3
TEOm	Formación Mosquera	0,4
Qft	Depósitos fluviotorrenciales	0,3
TQvlc + Qsgf	Lavas y cenizas + Depósitos glaciares y fluvioglaciares	0,4

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.5.4.3.3.2 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 del talud. Cada subunidad se identifica según el material del depósito, morfogénesis, pendientes, contrastes morfológicos (rugosidad, curvatura, etc.) y cronología (SGC - SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, (2012)).

En la Tabla 14 se presenta la Calificación de la susceptibilidad del tipo de subunidad geomorfológica

- Formato: Vector tipo polígono.
- Fuente: Unidades geomorfológicas según Carvajal - Consorcio POMCA.

Tabla 14. Calificación de la susceptibilidad del tipo de subunidad geomorfológica.

Código	Subunidad	Calificación
Faa	Abanicos aluviales y fluviotorrenciales	0,6
Vfl	Flujo de lava	0,4
Vmp	Manto de piroclastos	0,4
Gag	Artesa glacial	0,3
Gsg	Sierra Glaciada	0,1
Gmf	Morrena de fondo	0,2
Gfv	Flujo volcánico glaciado	0,2
Gc	Circos glaciales y de nivación	0,1
Fta	Terraza de acumulación	0,3
Dmo	Montículo y ondulaciones denudacionales	0,5
Ftae	Escarpe de terraza de acumulación	0,3
Vfpe	Escarpe de flujo piroclástico aterrazado	0,5
Vfp	Flujo piroclástico aterrazado	0,5
Vfla	Flujo lahárico aterrazado	0,6
Fpla	Planicie y delta lacustrino	0
Gcgf	Conos glaciofluviales	0,2
Ve	Volcán o edificio volcánico	0,5
Gml	Morrena lateral	0,3
Vcl	Cono Lahárico	0,7
Vflae	Escarpe de flujo lahárico aterrazado	0,6
Dlpd	Lomeríos poco disectados	0,6
Vfle	Escarpe de flujo de lava	0,6
Deem	Escarpe de erosión mayor	0,5
Deeme	Escarpe de erosión menor	0,5
Dlo	Ladera ondulada	0,6
Dldi	Lomeríos disectados	0,7
Sl	Lomos	0,7
Dcrem	Cerro remanente o relicto	0,4
Dldeml	Lomo denudado moderado de longitud larga	0,4
Dldemm	Lomo denudado moderado de longitud media	0,5
Ss	Sierra estructural	0,7
Sssle	Ladera estructural de sierra sinclinal	0,7
Dsd	Sierra denudada	0,7
Ssslc	Ladera de contrapendiente sierra sinclinal	0,7
Sss	Sierra sinclinal	0,7
Dldebl	Lomo denudado bajo de longitud larga	0,4
Dldeal	Lomo denudado alto de longitud larga	0,5
Dc	Cima	0,5
Fca	Cauce aluvial	0

Código	Subunidad	Calificación
Vd	Domo volcánico	0,6
Ddtr	Cono o lóbulo de deslizamiento traslacional	0,8
Vc	Cráter Volcánico	0,5
Sslp	Sierras y lomos de presión	0,7
Slf	Lomo de falla	0,7
Ssh	Sierra homoclinal	0,7
Dle	Ladera erosiva	0,8
Ses	Espolón	0,7
Slfe	Escarpe de línea de falla	0,8
Sgf	Gancho de flexión	0,7
Ac	Canteras	0,9
Fpi	Plano o llanura de inundación	0
Fbl	Barra longitudinal	0
Dco	Cono o lóbulo coluvial y de soliflucción	1
Dlde	Lomo denudado	0,4
Dcr	Colina residual	0,4
Dsr	Sierra residual	0,6
Dld	Loma denudada	0,6

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.5.4.3.3 Tipo de Cobertura (COBERT)

El tipo de cobertura vegetal y el uso del suelo influyen en la estabilidad del terreno mediante mecanismos hidrológicos, que se reflejan en la capacidad de infiltración en el suelo y la humedad del mismo, y mediante diversos mecanismos que generan el aumento de resistencia por la presencia de raíces y la protección frente a la erosión. 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, al mismo tiempo que favorecen una mayor infiltración del agua de lluvia.

El área urbanizada produce impermeabilidad en el terreno, beneficiando la estabilidad si se cuenta con una correcta canalización y disposición de aguas lluvias y negras, 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 (Ver Tabla 15).

Formato: Vector tipo polígono.

Fuente: Cobertura CORINE LAND COVER - Consorcio POMCA.

Tabla 15. Calificación de la susceptibilidad del tipo de Cobertura (CORINE LAND COVER) a movimientos en masa.

COBERTURA	CALIF
-----------	-------

Tejido Urbano Continuo	0
Tejido urbano discontinuo	0
Zonas industriales o comerciales	0
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	0
Aeropuertos	0
Otros cultivos transitorios	12
Cultivos permanentes arbustivos	12
Cultivos permanentes arbóreos	12
Pastos limpios	6
Pastos arbolados	6
Pastos enmalezados	6
Mosaico de cultivos	12
Mosaico de pastos y cultivos	12
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	12
Mosaico de pastos con espacios naturales	12
Mosaico de cultivos y espacios naturales	12
Bosque denso	15
Bosque abierto	12
Bosque fragmentado	12
Bosque de galería y/o ripario	15
Plantación forestal	12
Herbazal	9
Arbustal	9
Vegetación secundaria o en transición	9
Zonas arenosas naturales	1
Tierras desnudas y degradadas	1
Zonas quemadas	1
Ríos (50 m)	1
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	1

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

La susceptibilidad por movimientos en masa de acuerdo a las variables categóricas, las cuales incluyen las diferentes unidades geológicas y geomorfológicas básicas, así como el tipo de cobertura, está sujeta a varios factores, como lo son: la composición litológica de la roca, que se traduce en una mayor o menor competencia o resistencia de la misma, el ambiente denudacional que ésta se encuentre formando y el tipo de uso de suelo que se le está dando a esta zona. La combinación de estos dos factores determinan la ocurrencia de los fenómenos de remoción en masa, teniendo en cuenta siempre la variación del terreno, ambientes morfogenéticos, así como el grado de humedad e infiltración en la zona, que puede afectar la resistencia del material.

En general, la susceptibilidad de movimientos en masa para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú por unidades geológicas y geomorfológicas es predominantemente baja, en especial hacia el centro de la cuenca, donde afloran unidades arenosas y calcáreas, que aunque presentan una variación topográfica relativamente importante, son unidades muy competentes, lo cual disminuye la probabilidad y ocurrencia de fenómenos de remoción en masa, sin embargo, la susceptibilidad aumenta debido a su ambiente escarpado de sierra anticlinal. En cercanías al cauce del Río Juanambú, afloran depósitos aluviales, de baja susceptibilidad, debido a que se trata de un material no consolidado, su pendiente es muy baja, al tratarse de una llanura de inundación.

Por el contrario, se presenta una alta susceptibilidad en los sectores altos de la cuenca, hacia sus bordes surorientales (municipios de Buesaco, El Tablon, Pasto), donde afloran rocas menos competentes, con algunas intercalaciones poco resistentes a procesos denudacionales (lodolitas, poca compactación, etc), en áreas de elevadas pendientes y variación topográfica. En los municipios de San Bernardo y Alban se presentan las mayores susceptibilidades, asociadas a depósitos coluviales, en donde su naturaleza inconsolidada sumado a sus altas pendientes hacen de esas zonas sectores propensos a movimientos en masa. Estas unidades geológicas se correlacionan directamente las unidades geomorfológicas, representadas para este sector con laderas estructurales de sierras sinclinales, sierras homoclinales y anticlinales, y laderas erosivas.

La susceptibilidad de movimientos en masa por el tipo de cobertura para la cuenca del río Juanambú, muestra una distribución geográfica inversa, con los valores más altos asociados a las áreas topográficas bajas y medias, donde el uso de la tierra comprende la explotación de materiales de construcción, así como pastos limpios, tejidos urbanos, tierras desnudas y laderas denudadas, que favorecen la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa al propiciar la infiltración. Por el contrario, en las zonas altas de la cuenca hacia la margen oriental se presenta la menor susceptibilidad para movimientos en masa, al encontrarse el terreno con herbazales densos y bosques densos altos, factor que disminuye los fenómenos erosivos y por lo tanto los fenómenos de remoción en masa.

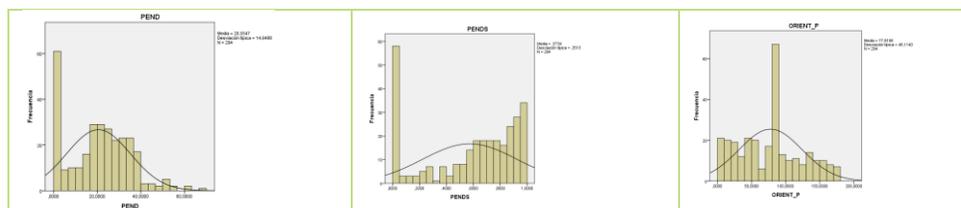
1.5.5 Análisis de la zonificación de la susceptibilidad a movimientos en masa

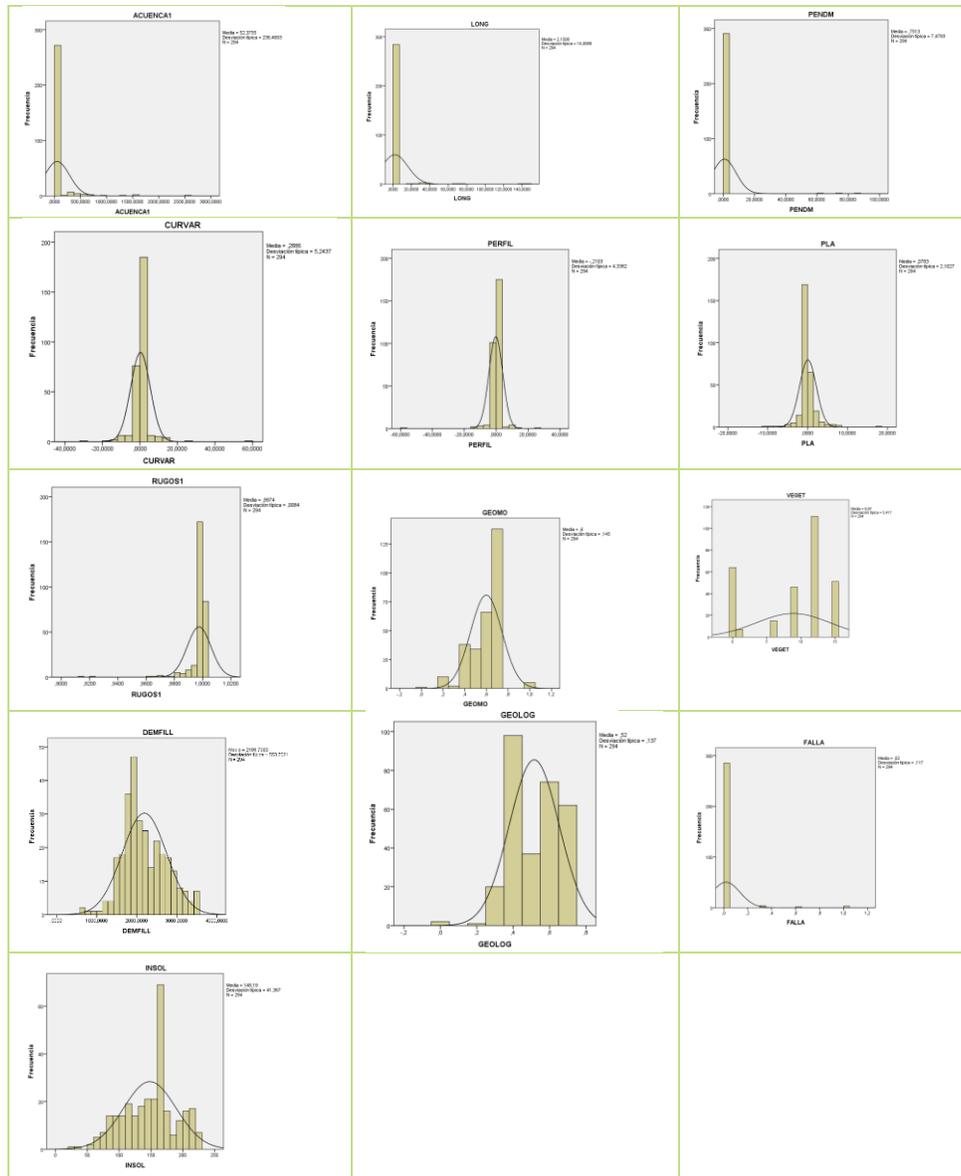
A partir de la ponderación, calificación y categorización de las variables anteriormente descritas y analizadas, se elabora el mapa de susceptibilidad de movimientos en masa para la cuenca hidrográfica del río Juanambú, y se identifican los sectores con baja, media y alta susceptibilidad para este tipo de eventos.

Con el fin de determinar cuáles son las variables que mejor representan el comportamiento de la cuenca y realizar el posterior cruce de mapas se utiliza un análisis estadístico mediante la función discriminante. Para obtener la función discriminante, en principio se analizaron las variables independientemente para verificar el supuesto de normalidad sobre el cual se fundamenta el modelo; la

Figura 28, indica que las variables sugieren ser transformadas a excepción de perfil, pla, insol, geomo y curvar.

Figura 28. Distribución de cada una de las variables contempladas dentro del modelo de susceptibilidad a movimientos en masa.





Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Se procede entonces con el test de Kolmogorov –Smirnov, donde se analizaron los valores K-S Z y su significancia, en donde aquellos valores de alto K-S y nula significancia deberán ser transformadas según su sesgo. Se hace una transformación de variables con sesgo positivo o negativo, donde aquellas variables con sesgo positivo deberán ajustarse a una distribución normal con ayuda del LOG en base 10; por otro lado, las variables con sesgo negativo serán evaluadas según su cuadrado o cubo. Si estas variables transformadas no muestran una mejor distribución normal se tomarán las variables originales. Los resultados del test se muestran en la Figura 29.

Figura 29. Resultados del test de Kolmogorov – Smirnov.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

	DEWILL	PEND	PENDS	ORIENT_P	ACUENCA1	LONG	PENDM	CURVAR	PERFIL	PLA	RUGOS1	INSOL	VEGET	GEOLOG	GEMO	FALLA	
N	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	
Parámetros normales ^{a,b}	Media	2191,798028	20,554701	,573403	77,818958	52,375510	2,150827	,751333	,288577	-,210315	,078262	,997398	148,19	8,87	,516	,599	,018
	Desviación típica	553,7061068	14,6487912	,3514627	46,1139640	236,4693133	14,0079804	7,4793062	5,2436768	4,3382363	2,1027255	,0084130	41,367	5,417	,1372	,1452	,1166
Diferencias más extremas	Absoluta	,088	,114	,142	,105	,491	,510	,530	,309	,372	,294	,379	,109	,269	,213	,244	,532
	Positiva	,088	,114	,142	,091	,491	,510	,530	,309	,352	,294	,379	,096	,168	,213	,226	,532
	Negativa	-,051	-,080	-,134	-,105	-,414	-,439	-,460	-,285	-,372	-,238	-,333	-,109	-,269	-,192	-,244	-,437
Z de Kolmogorov-Smirnov	1,504	1,948	2,443	1,800	8,412	8,745	9,084	5,303	6,381	5,036	6,491	1,873	4,617	3,646	4,180	9,122	
Sig. asintót. (bilateral)	,022	,001	,000	,003	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,002	,000	,000	,000	,000	

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Los estadísticos de prueba de normalidad K – S sugieren que todas las variables deben ser transformadas para optimizar el modelo. Sin embargo, al realizar este proceso, se evidenció que la transformación de dichas variables no generaba una mejora significativa dentro del modelo. Por lo anterior, se mantuvo su distribución original, a pesar de la hipótesis de normalidad para las variables, por tanto, no se rechazará ninguna variable del análisis por no cumplir este requisito, pues la técnica discriminante presenta mayor robustez.

Las variables utilizadas en el análisis discriminante no deben presentar un alto grado de dependencia, siendo necesario eliminar aquellas variables explicativas que están correlacionadas en un alto grado. Al analizar la dependencia entre variables según la matriz de correlación de Pearson (Ver Figura 30), se puede ver que hay una fuerte correlación entre las variables PEND y PENDS, así como entre las variables PERFIL y CURVAR, ambas con un valor superior a 0,9.

Figura 30. Matriz de correlaciones entre variables.

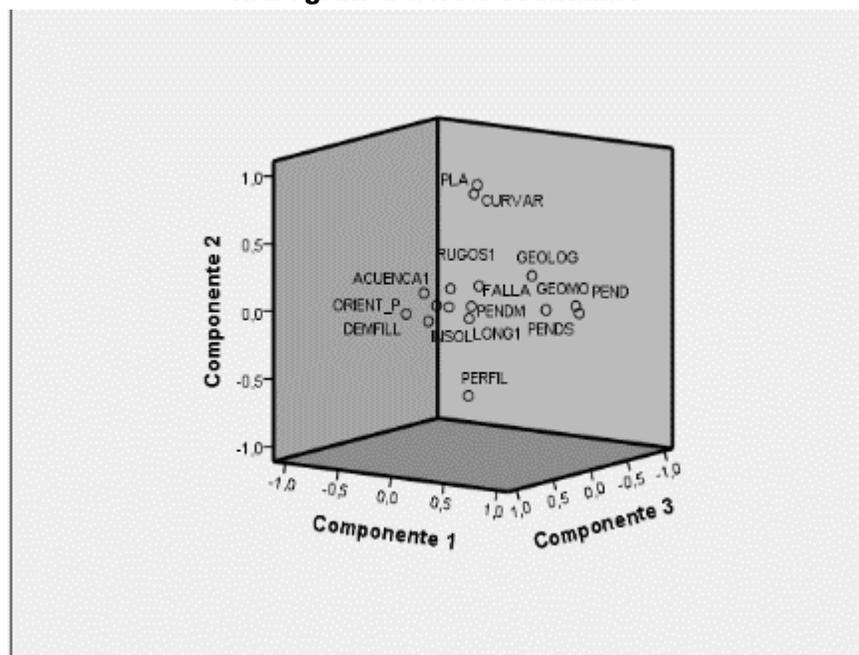
Matriz de correlaciones

Correlación	DEMFI	PEND	PENDS	ORIENT_P	ACUENCA1	LONG1	PENDM	CURVAR	PERFIL	PLA	RUGOS1	INSOL	VEGET	GEOLOG	GEOMO	FALLA
DEMFI	1,000	-.141	-.123	.068	-.020	-.066	.021	.067	-.056	.051	.071	.092	.366	-.459	-.429	-.077
PEND	-.141	1,000	.936	-.044	-.281	-.076	-.037	.162	-.165	.063	-.211	-.218	.074	.140	.190	.071
PENDS	-.123	.936	1,000	-.113	-.322	-.065	-.028	.075	-.062	.061	-.147	-.222	.084	.144	.239	.025
ORIENT_P	.068	-.044	-.113	1,000	.031	-.022	.065	.122	-.151	-.008	-.075	.052	.100	-.156	-.166	.058
ACUENCA1	-.020	-.281	-.322	.031	1,000	.304	.019	-.056	.059	-.018	-.002	.060	.015	.004	-.121	-.012
LONG1	-.066	-.076	-.065	-.022	.304	1,000	.582	-.197	.208	-.063	-.219	-.037	-.040	.096	.021	-.021
PENDM	.021	-.037	-.028	.065	.019	.582	1,000	-.076	.073	-.040	-.056	-.015	.058	.063	.024	-.016
CURVAR	.067	.162	.075	.122	-.056	-.197	-.076	1,000	-.921	.594	-.173	-.139	.071	.009	-.042	.298
PERFIL	-.056	-.165	-.062	-.151	.059	.208	.073	-.921	1,000	-.233	.291	.149	-.030	-.002	.009	-.383
PLA	.051	.063	.061	-.008	-.018	-.063	-.040	.594	-.233	1,000	.168	-.039	.113	.019	-.086	-.045
RUGOS1	.071	-.211	-.147	-.075	-.002	-.219	-.056	-.173	.291	.168	1,000	.083	-.023	-.016	-.102	-.283
INSOL	.092	-.218	-.222	.052	.060	-.037	-.015	-.139	.149	-.039	.083	1,000	.053	-.031	-.152	-.129
VEGET	.366	.074	.084	-.100	.015	-.040	.058	.071	-.030	.113	-.023	.053	1,000	-.189	-.163	-.003
GEOLOG	-.459	.140	.144	-.156	.004	.096	.063	.009	-.002	.019	-.016	-.031	-.189	1,000	.210	.056
GEOMO	-.429	.190	.239	-.166	-.121	.021	.024	-.042	.009	-.086	-.102	-.152	-.163	.210	1,000	.001
FALLA	-.077	.071	.025	.058	-.012	-.021	-.016	.298	-.383	-.045	-.283	-.129	-.003	.056	.001	1,000

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

De igual manera, el análisis factorial de componentes principales permite determinar las correlaciones entre las variables y también conocer las agrupaciones de variables con estructura semejante. Este análisis identifica las tendencias dentro de la muestra o correlaciones difíciles de obtener con una simple matriz de correlaciones. En este caso (Ver Figura 31), se puede ver que, al igual que en la matriz, las variables de mayor dependencia son PLA, CURVAR, PERFIL, PEND y PENDS. Con base en esto, para proceder con el análisis discriminante es evidente que las variables que pueden ser discriminadas a partir de este punto son PENDS y PERFIL, debido a que son las que mayor dependencia presentan.

Figura 31. Proyección de las variables en un espacio tridimensional formado por los tres primeros factores del Análisis Factorial de Componentes Principales de la cuenca hidrográfica del río Juanambú.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Siguiendo con la metodología, para encontrar cuales variables pueden ser discriminadas se llevaron a cabo los análisis de contraste de poblaciones a partir del Test-T y del Test-One-Way, donde se trata de determinar cuál de ellas influye en mayor medida en el comportamiento estable o inestable de la ladera. La Tabla 16 muestra el contraste entre poblaciones (Test-T). Aquellas variables con medias entre las dos poblaciones, y desviaciones estándar entre poblaciones estables e inestables muy similares, deberán ser rechazadas para el análisis, por lo cual se determinó que una de las variables que presenta estas características es RUGOS1.

Tabla 16. Contraste entre poblaciones (T-Test).

	SAMPLE	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
DEMFI	1	147	2403,577413	647,6338927	53,4159432
	2	147	1980,018643	324,8627010	26,7942240
PEND	1	147	19,291683	15,2274396	1,2559381
	2	147	21,817720	13,9841603	1,1533941
ORIENT_P	1	147	89,502502	45,7824018	3,7760689
	2	147	66,135414	43,5505658	3,5919901
ACUENCA1	1	147	54,841497	241,2395526	19,8971030
	2	147	49,909524	232,3998778	19,1680189
LONG	1	147	1,648198	8,5247627	,7031106
	2	147	2,653456	17,9056057	1,4768295
PENDM	1	147	1,078915	9,2547855	,7633218
	2	147	,423751	5,1377087	,4237511
CURVAR	1	147	,190129	2,2362517	,1844429
	2	147	,387024	7,0823926	,5841459
PLA	1	147	,044638	1,3844112	,1141843
	2	147	,111886	2,6371048	,2175047
RUGOS1	1	147	,998453	,0039839	,0003286
	2	147	,996343	,0111324	,0009182
INSOL	1	147	153,74	39,657	3,271
	2	147	142,64	42,420	3,499
VEGET	1	147	11,13	3,905	,322
	2	147	6,61	5,776	,476
GEOLOG	1	147	,495	,1302	,0107
	2	147	,537	,1410	,0116
GEOMO	1	147	,565	,1667	,0137
	2	147	,633	,1105	,0091
FALLA	1	147	,000	,0000	,0000
	2	147	,037	,1631	,0134

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

La Tabla 17 muestra los resultados de la hipótesis de igualdad de medias entre los grupos de cada variable independiente (Test-One-Way). En este test se buscan las variables con mayor valor de F

debido a que son las que presentan mejor discriminación en el modelo. Esta prueba preliminar indica que existen diferencias significativas entre los grupos (inter –grupos), ya que la significancia se encuentra por encima de 0,05.

Tabla 17. Anova.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
DEMFI	Inter-grupos	13186049,36	1	13186049,36	50,236	,000
	Intra-grupos	76644953,29	292	262482,717		
	Total	89831002,65	293			
PEND	Inter-grupos	468,993	1	468,993	2,194	,140
	Intra-grupos	62405,022	292	213,716		
	Total	62874,015	293			
ORIENT_P	Inter-grupos	40132,526	1	40132,526	20,103	,000
	Intra-grupos	582931,293	292	1996,340		
	Total	623063,819	293			
ACUENCA1	Inter-grupos	1787,840	1	1787,840	,032	,858
	Intra-grupos	16382108,84	292	56103,112		
	Total	16383896,68	293			
LONG	Inter-grupos	74,275	1	74,275	,378	,539
	Intra-grupos	57419,215	292	196,641		
	Total	57493,490	293			
PENDM	Inter-grupos	31,549	1	31,549	,563	,454
	Intra-grupos	16358,877	292	56,024		
	Total	16390,426	293			
CURVAR	Inter-grupos	2,849	1	2,849	,103	,748
	Intra-grupos	8053,522	292	27,581		
	Total	8056,371	293			
PLA	Inter-grupos	,332	1	,332	,075	,784
	Intra-grupos	1295,154	292	4,435		
	Total	1295,486	293			
RUGOS1	Inter-grupos	,000	1	,000	4,682	,031
	Intra-grupos	,020	292	,000		
	Total	,021	293			
INSOL	Inter-grupos	9059,265	1	9059,265	5,373	,021
	Intra-grupos	492332,068	292	1686,069		
	Total	501391,333	293			
VEGET	Inter-grupos	1499,646	1	1499,646	61,698	,000
	Intra-grupos	7097,442	292	24,306		
	Total	8597,088	293			
GEOLOG	Inter-grupos	,135	1	,135	7,327	,007
	Intra-grupos	5,380	292	,018		
	Total	5,515	293			
GEMO	Inter-grupos	,340	1	,340	17,009	,000
	Intra-grupos	5,839	292	,020		
	Total	6,179	293			
FALLA	Inter-grupos	,099	1	,099	7,461	,007
	Intra-grupos	3,882	292	,013		
	Total	3,981	293			

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Por todo lo anterior, se han seleccionado como variables de mejor discriminación las siguientes: DEMFI, ORIENT_P, VEGET, GEMO, GEOLOG, PEND.

Al correr la función discriminante que permite la asignación de pesos para las variables que se conservaron después de la depuración estadística realizada (Ver Tabla 18), se realizó un algebra de mapas con la siguiente función:

$$\text{SUSC_MM} = -4,219 + \text{DEMFIll} * 0,001 + \text{ORIENT_P} * 0,007 + \text{VEGET} * 0,128 + \text{GEOLOG} * 1,166 + \text{GEOMO} * -0,604 + \text{PEND} * -0,010$$

Tabla 18. Coeficientes de funciones canónicas discriminantes.

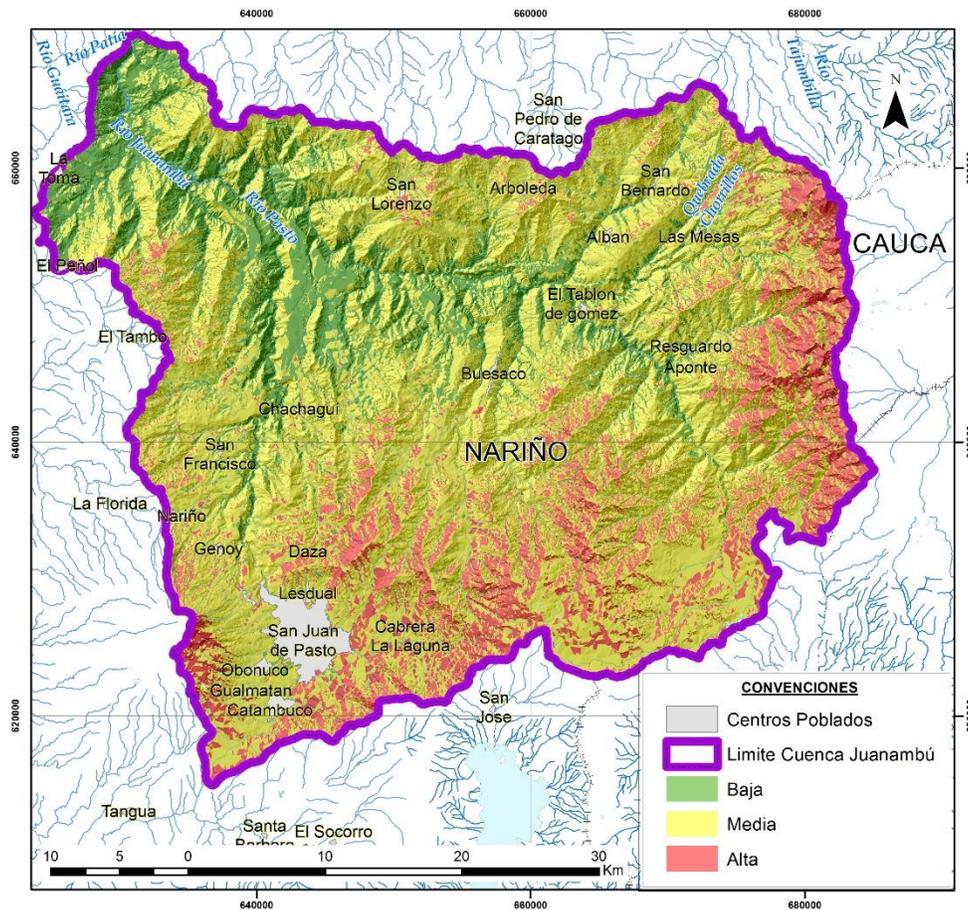
	Función
	1
DEMFIll	,001
ORIENT_P	,010
VEGET	,128
GEOLOG	1,166
GEOMO	-0,604
PEND	-0,010
(Constante)	-4,219

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Lo anterior indica que la variable GEOLOG se encuentra fuertemente correlacionada con la ocurrencia de movimientos en masa, seguido por GEOMO y VEGET. Al realizar la verificación por puntos para determinar la fiabilidad de los resultados, ésta muestra que el 74,15% de casos se encuentran agrupados correctamente, lo cual indica que el modelo aplicado tiene una buena razón de consistencia.

A partir de la ponderación, calificación y categorización de las variables anteriormente descritas y analizadas se elabora el mapa de susceptibilidad de movimientos en masa para la cuenca hidrográfica del río Juanambú, y se identifican los sectores con baja, media y alta susceptibilidad para este tipo de eventos, los cuales se encuentran representados en la Figura 32.

Figura 32. Mapa de Susceptibilidad por Movimientos en Masa.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

La susceptibilidad por movimientos en masa indica qué variables propician un escenario favorable para la ocurrencia de movimientos en masa. El mapa provisto en la 0, muestra que para la cuenca se obtuvieron valores bajos, medios y altos, siendo los segundos los valores más representativos (color amarillo en la Figura 32), abarcando la mayor proporción del área de la cuenca.

El área de baja susceptibilidad (color verde en la Figura 32), que abarca un área equivalente al 27,7 % del total de la cuenca, representa el área de influencia del río Juanambú, en el sector norte y noroccidente de la cuenca, así como sectores de otros cuerpos de agua como embalses o lagunas. Para estos sectores, que representan unidades geomorfológicas de llanuras de inundación y embalses, conformado por depósitos aluviales, existe una baja susceptibilidad de presentarse fenómenos de remoción en masa al tratarse de áreas planas, con pendientes menores a 5°, en donde existe una mayor probabilidad de presentarse procesos erosivos.

Los sectores más susceptibles (color rojo en la Figura 32), se encuentran en sus márgenes oriental y sur, así como en algunos sectores puntuales en el sector central, en donde se presentan pendientes elevadas y alta densidad de drenaje, así como geoformas de tipo estructural y denudacional (sierras, laderas estructurales, laderas erosivas y lomeríos disectados), así como zonas de depósitos

fluvioglaciares y volcánicos en cercanías a la ciudad de San Juan de Pasto. Así mismo, en estos sectores es común encontrar litologías poco competentes, con intercalaciones de rocas lodosas y cercanía a fallas, las cuales afectan la resistencia del material.

La actividad antrópica juega también un rol importante en la susceptibilidad por movimientos en masa aumenta en zonas cercanas a canteras, vías, y áreas de pastoreo y extracción de material de construcción, debido a que se desestabiliza e talud, por corte y denudación vegetal. Así mismo, se evidencia la importancia de la cobertura vegetal en la disminución de susceptibilidad, ya que, en áreas de topografía elevada, de altas pendientes, la susceptibilidad bajo a media, en áreas donde se encontraba cubierto con herbazales densos y bosques densos.

1.5.6 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 procedimiento establecido por Cardona y Alzate para la evaluación de los diversos escenarios de amenaza por Movimientos en Masa descritos. Para generar la zonificación correspondiente, se involucran las variables de los eventos que actúan como detonante en las zonas susceptibles anteriormente establecidas. Para generar los escenarios, se simulan las condiciones necesarias para que se produzca una falla en las pendientes que conforman la cuenca; de acuerdo al protocolo, la ocurrencia de un deslizamiento por desprendimiento a través de una plano de falla horizontal a la pendiente del talud; se da cuando se excede el Factor de Seguridad (F_s) calculado para las laderas de la cuenca.

El Factor de Seguridad es usado para calcular cuál es el coeficiente de amenaza en el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña. Fellenius (1927) presentó el factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla.

Si la longitud relativa del deslizamiento es muy grande en relación con su espesor, la contribución de la resistencia en la cabeza y el pie del deslizamiento, es menor comparada con la resistencia del resto de la superficie de falla. En las condiciones ideales, se presenta una falla paralela a la superficie del talud, a una profundidad somera y la longitud de la falla es mayor comparada con su espesor. Este tipo de deslizamiento se puede analizar suponiendo un talud infinito.

El método del talud infinito es un sistema para calcular el factor de seguridad de un talud, suponiendo un talud infinitamente extenso con una capa delgada de suelo, en el cual, cualquier tamaño de columna de suelo es representativo de todo el talud. Este método asume que el suelo es isotrópico y homogéneo, el talud es infinitamente largo y la superficie de falla es paralela al talud. También se asume que para un talud uniforme y relativamente largo, en el cual el mecanismo de falla esperado no es muy profundo, los efectos de borde son despreciables y el factor de seguridad puede calcularse (para un talud infinito), a partir de una unidad de área con base en el criterio Mohr - Coulomb.

Para establecer el factor de seguridad para la cuenca, se predetermina que los eventos de remoción en masa de gran magnitud, la masa desprendida se mueve de manera paralela al talud; adicionalmente el tipo de evento de remoción, se ve condicionado por parámetros propios de la roca o el suelo, como su cohesión, textura y peso unitario. Adicionalmente se debe tener en cuenta dentro del cálculo de factor de seguridad los factores detonantes determinados para este tipo de amenaza como lo son: la correnca de sismos y el detonante por lluvias.

El detonante por sismo es involucrado en el cálculo de factor de seguridad mediante el coeficiente de aceleración sísmica, que condiciona la estabilidad del terreno en el eje horizontal dada la ocurrencia de un evento de aceleración tectónica de la corteza.

Para el detonante de las lluvias, se debe tener en cuenta la profundidad de la tabla de agua y su incidencia en el desprendimiento de la masa deslizante. Para la determinación del espesor de la tabla de agua, se involucran las variables número de curva (NC) y unidad de suelo hidrológico, posteriormente descritas.

De manera generalizada la fórmula para calcular el factor de seguridad es la siguiente:

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

Donde:

c' = intercepto de cohesión

ϕ' = ángulo de fricción

γ = peso unitario de la capa de suelo

β = inclinación del terreno

α = coeficiente de aceleración horizontal y amplificación sísmica

h = espesor de la capa de suelo

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

FS = Factor de seguridad

Para obtener la profundidad de la tabla de agua es necesario realizar los cálculos pertinentes de número de curva, de acuerdo a las características hidrológicas de la Unidad Geológica Superficial (UGS) y el tipo de cobertura dada por el número de curva (CN).

El potencial máximo de retención de agua del suelo (S) depende de las condiciones del suelo, vegetación y manejo del cultivo, entonces es factible relacionarlo con las curvas numéricas (CN), las cuales son función de los factores antes mencionados.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

A partir de la retención potencial (S) máxima calculada para cada pixel, se calcula el espesor de la tabla de agua de acuerdo a los tiempos de retorno de las precipitaciones calculados para 2, 20, 50 y 100 años, generando así 60 modelamientos de la tabla de agua que deben resultar en formato ráster.

$$Hw = P - \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

Para determinar cada uno de los escenarios de amenaza por movimientos en masa, se utiliza la fórmula de factor de seguridad, donde mediante el uso de SIG se hace un algebra de mapas con la siguiente formula:

$$\frac{(C/\cos(\alpha) + (\gamma \cos(\alpha) - k \gamma \sin(\alpha) - h_w \cos(\alpha) \cos(\alpha)) \tan(\phi))}{(\gamma d \sin(\alpha) + k \gamma d \cos(\alpha))}$$

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

Phi es el ángulo de fricción del material.

Gamma es el peso unitario del material.

D espesor de la Unidad Geológica Superficial

Las variables correspondientes a parámetros geotécnicos, son asignadas a cada pixel mediante la capa vectorial de Unidades Geológicas Superficiales cuantitativas; mientras que las demás capas, varían para simular varios escenarios. De acuerdo a los pasos anteriormente explicados, se generan modelos a partir de la variación en las precipitaciones a 2, 20, 50 y 100 años de retorno. Finalmente se simulan los escenarios con presencia o ausencia de sismo dada la aceleración sísmica en cada zona (Ver Tabla 19).

Tabla 19. Escenarios evaluados para la zonificación de amenaza por movimientos en masa.

ESCENARIO	PRECIPITACIÓN (PERIODO DE RETORNO)	SISMICIDAD
1	Seca	Con sismo
2	Seca	Sin sismo
3	2 años	Con sismo
4	2 años	Sin sismo
5	20 años	Con sismo

ESCENARIO	PRECIPITACIÓN (PERIODO DE RETORNO)	SISMICIDAD
6	20 años	Sin sismo
7	50 años	Con sismo
8	50 años	Sin sismo
9	100 años	Con sismo
10	100 años	Sin sismo

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Finalmente, tras obtener 11 (contemplando el escenario totalmente saturado) escenarios de factor de seguridad se escoge mediante métodos probabilísticos el escenario de factor de seguridad más adecuado al cual se la calcula la probabilidad de falla correlacionable con la amenaza por movimientos en masa (Leiva, Moya Berbeo, Trejo Gonzalez, & Carvajal, 2012).

1.5.7 Descripción de las variables de amenaza por movimientos en masa

Dentro de la evaluación de la amenaza por movimientos en masa se tuvo en cuenta las siguientes variables.

1.5.7.1 UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES Y USOS DE LA TIERRA EN FUNCIÓN AL NÚMERO DE CURVA (CN)

El tipo de cobertura vegetal y el uso del suelo influyen en la estabilidad del terreno mediante mecanismos hidrológicos, que se reflejan en la capacidad de infiltración en el suelo y la humedad del mismo, y mediante diversos mecanismos que generan el aumento de resistencia por la presencia de raíces y la protección frente a la erosión. 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, al mismo tiempo que favorecen una mayor infiltración del agua de lluvia.

El área urbanizada produce impermeabilidad en el terreno, beneficiando la estabilidad si se cuenta con una correcta canalización y disposición de aguas lluvias y negras, 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.

Así mismo el tipo de material influye intrínsecamente en la estabilidad del talud, en este caso dando referencia del grado de permeabilidad y porosidad de la misma lo que se evidencia en el grado de consistencia tanto de las rocas como de los suelos producto de la meteorización de las mismas

Determinación del nivel de agua máximo por celda

De acuerdo a la metodología propuesta por el Servicio Geológico Colombiano (SGC, Servicio Geológico Colombiano, 2015), se puede determinar el nivel de la tabla de agua a partir del número de curva (CN) que a su vez depende del tipo de cobertura.

El Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de Estados Unidos establece una metodología para la estimación del denominado número de curva (CN, por su sigla en inglés), del método lluvia-escorrentía, el cual se ha incorporado para estimar el aporte de la lluvia en términos de nivel freático, lámina o altura de agua, al considerar la lluvia como un detonante de movimientos en masa; para tal fin se ha tenido en cuenta el efecto del componente de las abstracciones.

El cálculo de la tabla de agua, se establece de acuerdo a los mapas de cobertura y uso del terreno, que se elaborarán mediante con la metodología Corinne Land Cover, adaptada para Colombia por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM I. d., (2010).) Describa en el ítem correspondiente.

El valor de CN depende de la cobertura y uso del terreno, al igual que de la clasificación hidrológica del suelo superficial (A, B, C y D), la cual tiene en cuenta la textura, espesor y origen de los suelos.

El Departamento Agrícola de Estados Unidos determinó cuatro grupos a partir de sus propiedades hidrológicas. Los suelos hidrológicos se clasifican de acuerdo a los cálculos de su potencial de escorrentía definido por el índice de infiltración; dicho índice varía cuando el suelo no está protegido por vegetación, está completamente húmedo o recibe precipitaciones de tormentas de larga duración.

Los suelos hidrológicos se dividen en cuatro grupos (A, B, C y D) divididos de la siguiente manera (U.S Department of Agriculture, 2005):

Grupo A: suelos que tienen un alto índice de infiltración (bajo potencial de escorrentía) cuando están completamente húmedos. Están formados principalmente por arenas profundas, bien drenadas o excesivamente drenadas, o arenas de textura gruesa. Estos suelos presentan una tasa elevada de transmisión de agua.

Grupo B: suelos que tienen un índice de infiltración moderado cuando están completamente húmedos. Son principalmente suelos moderadamente profundos o profundos, moderadamente bien drenados o bien drenados con una textura de moderadamente fina a moderadamente gruesa. Estos suelos tienen una tasa moderada de transmisión de agua.

Grupo C: suelos que tienen un índice de infiltración lento cuando están completamente húmedos. Son principalmente suelos con una capa que impide el movimiento descendente del agua o suelos de textura moderadamente fina o fina. Estos suelos tienen una tasa de transmisión de agua lenta.

Grupo D: suelos que tienen un índice de infiltración muy lento (alto potencial de escorrentía) cuando están completamente húmedos. Se trata fundamentalmente de arcillas con alta capacidad para expandirse y contraerse, suelos con un elevado nivel freático, suelos que presentan una capa de arcilla o claypan en la superficie o cerca de la superficie, y suelos poco profundos sobre material casi impermeable. Estos suelos tienen una tasa de transmisión de agua muy lenta.

Para obtener el valor de CN es necesario tomar como referencia el valor que indica la tabla propuesta por Chow (1994) donde se establece un valor de CN a partir de la cobertura y el grupo de suelo hidrológico (Ver Tabla 20).

Tabla 20. CN a partir de cobertura y suelo hidrológico.

USO DE SUELO	GRUPO HIDROLÓGICO DE SUELO			
	A	B	C	D
Tierra cultivada				
Sin tratamiento de conservación	72	81	88	91
Con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales				
Condiciones pobres	68	79	86	89
Condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos	30	58	71	78
Bosques				
Troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas	45	66	77	83
Cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.				
Óptimas condiciones: cubierta en pasto (75 % o más)	39	61	74	80
Condiciones aceptables: cubierta en pasto (50 al 75 %)	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85 % impermeables)	89	92	94	95
Distritos industriales (72 % impermeables)	81	88	91	93
Residencial				
Tamaño promedio lote porcentaje promedio impermeable				
1/8 de acre 65	77	85	90	92
1/4 de acre 38	61	75	83	87
1/3 de acre 30	57	72	81	86
1/2 de acre 25	54	70	80	85
1 de acre 20	51	68	79	84
Parqueadero pavimentado, techos, accesos, etc.	98	98	98	98
Calles y carreteras				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados	98	98	98	98
Grava	76	85	89	91
Tierra	72	82	87	89

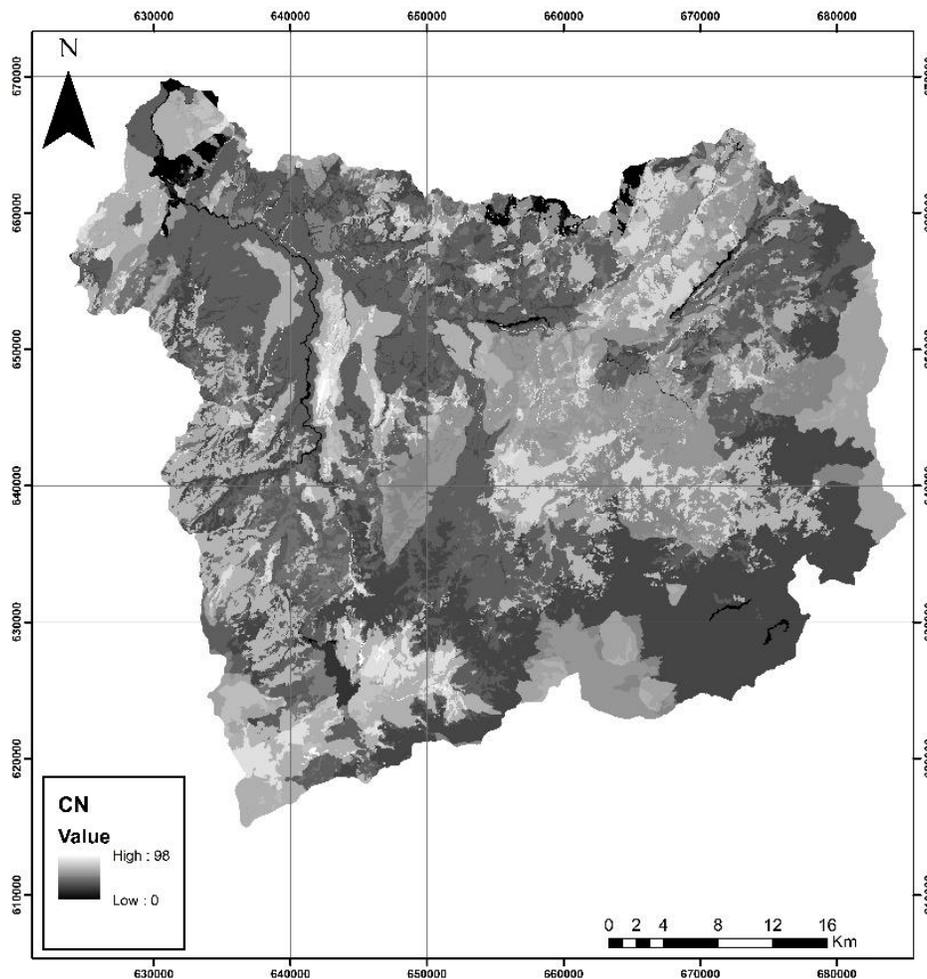
Fuente: Chow et al., 1994.

Fuente: UGS y Cobertura CORINE LAND COVER - Consorcio POMCA

El número de curva asignado a cada polígono de cobertura a partir de las UGS es utilizado en la generación de las capas de los escenarios de la tabla de agua de acuerdo a la precipitación de cada tiempo de retorno simulado. En la Figura 33, se presenta el mapa de número de curva.

Formato: Vector

Figura 33. Número de curva para la cuenca hidrográfica del río Juanambú.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.5.7.2 PRECIPITACIÓN

Hace referencia a la precipitación proyectada para determinado tiempo de retorno, mediante la medición de la cantidad de lluvia en milímetros reportadas por las diferentes estaciones ubicadas por el IDEAM a lo largo de la cuenca.

Fuente: Mediciones estaciones climáticas multiparamétricas - Consorcio POMCA.

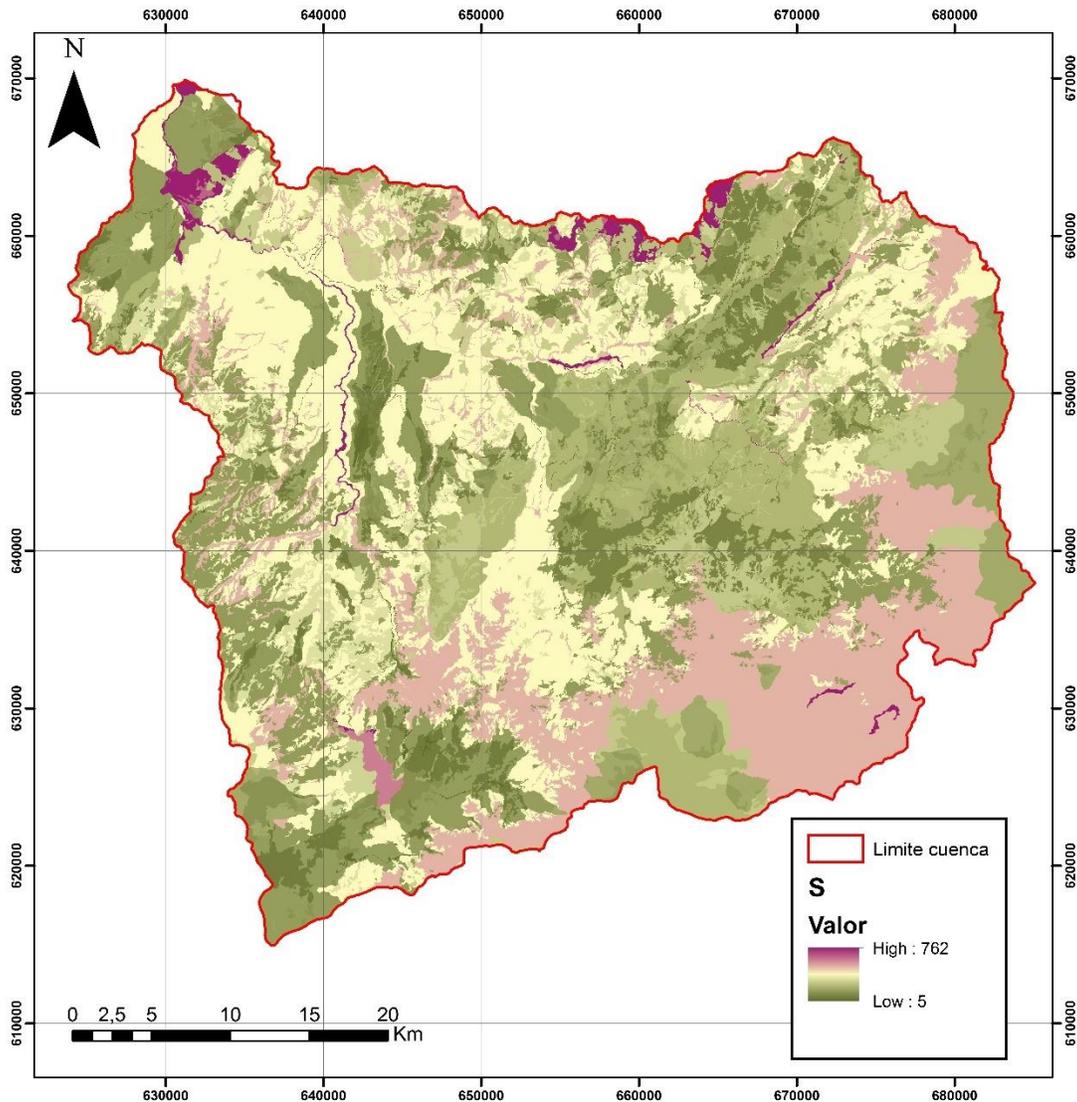
Formato: Ráster

Los tiempos de retorno utilizados en el presente numeral, fueron calculados a partir del índice de lluvias por 24 horas, la descripción completa de este apartado y la metodología utilizada, puede ser encontrada en el capítulo de Hidrología.

Para la cuenca del río Juanambú se observan los mayores valores de retención potencial (S), hacia la margen norte (Ver Figura 34), franjas paralelas al río Juanambú y algunas zonas al suroriente de la cuenca, correlacionables con los valores de infiltración muy marcados hacia el norte y oriente de la

cuenca en la zona de páramos que obedecen a los parámetros litológicos y de cobertura de las arenas porosas y los herbazales densos. También es importante analizar la distribución espacial de las precipitaciones donde también se pueden ver altos valores de precipitación en la zona para periodos de retorno cortos, lo que conduce también a que la altura de la lámina de agua esté más cercana a la superficie.

Figura 34. Retención potencial para la cuenca hidrográfica del río Juanambú.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

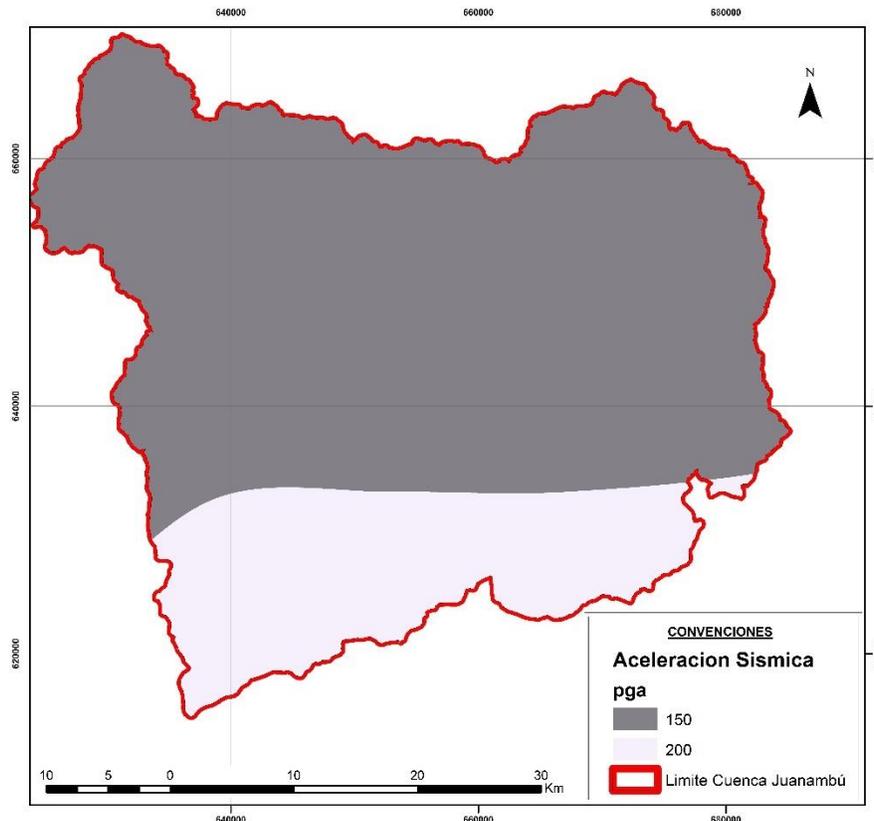
1.5.7.3 AMPLIFICACIÓN SÍSMICA

Los coeficientes de aceleración sísmica, corresponden a la determinación de la intensidad de un evento sísmico, en función de las características del terreno. La aceleración máxima del suelo medida en (PGA) está relacionada con la fuerza de un terremoto en un sitio determinado. Entre mayor es este valor, mayor es la probabilidad de ocurrencia de un evento de remoción en masa con un detonante sísmico.

Generada a partir del mapa de amplificación sísmica de Colombia y corroborada con los coeficientes de amplificación sísmica dados por AIS, 2009 en (SGC - SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, (2012))(Ver Figura 35).

- Formato: Vector

Figura 35. Coeficiente de Aceleración Sísmica.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

El coeficiente de aceleración sísmica representa un modelo probabilístico para el movimiento del terreno que podría esperarse por la ocurrencia de sismos en Colombia (SGC). El movimiento del terreno se calcula en términos de aceleración horizontal máxima en roca (PGA), y se estima para probabilidades del 2%, 10% o 50% de ser sobrepasado en un tiempo de 50 años, tiempo estimado de vida útil de una construcción corriente. Estas probabilidades se asocian con la frecuencia de ocurrencia (o período de retorno) de los sismos potencialmente destructores: de ocurrencia excepcional (período de retorno de 2475 años), frecuentes (período de retorno de 475 años) o muy frecuentes (período de retorno de 75 años) (SGC - SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, (2012)).

De acuerdo a la información reportada por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, el área de estudio presenta dos valores principales de aceleración máxima del suelo (PGA), el sector Norte de la cuenca presenta valores de 150 pga que representan el 73,3 % del total de la cuenca; mientras que

el sector Sur de la cuenca corresponde a valores de 200pga abarcando el 26,7% del total de la área estudiada.

Dichos valores de aceleración sísmica horizontal, son mayores en el sector sur de la cuenca, dada la presencia de estructuras volcánicas y litológicas asociadas a los mismos. La población de San Juan de Pasto se encuentra en el bloque sur de la distribución de aceleración máxima horizontal con valor de 200pga

Parámetros geomecánicos para unidades de roca y unidades de suelo

Los parámetros geotécnicos necesarios para el modelamiento de amenaza por movimientos en masa corresponden a los cálculos realizados mediante ensayos de laboratorio y asignados a cada polígono dentro de la capa vectorial de unidades geológicas superficiales cuantitativas UGS clasificadas 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).

Para el presente modelamiento se tiene en cuenta los parámetros geotécnicos que tienen injerencia dentro del cálculo del factor de seguridad para cada pixel de las capas que conforman el área de estudio; dichos parámetros son: cohesión, Angulo de fricción y peso específico:

Cada unidad geológica superficial contiene los siguientes atributos:

- Phi Roca
- Phi Suelo
- C Roca
- C Suelo
- Gamma Roca
- Gamma Suelo
- Profundidad del límite roca – suelo

Dichos parámetros geomecánicos utilizados para el modelamiento, son obtenidos de las Unidades Geológicas Superficiales (UGS), e incluidos en el modelo determinístico de acuerdo a la fórmula de factor de seguridad.

A continuación en la Tabla 21, se muestran los valores utilizados de los parámetros geomecánicos obtenidos para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú, cuya descripción y análisis de encuentra en el apartado de UGS cuantitativas.

Tabla 21. Parametros geomecánicos Unidades Geológicas Superficiales de la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.

TIPO DEPOSITO	Nomenclatura	Cohesion (Mpa)	Phi (°)	Gamma (Kn/m3)
Roca blanda de la Formación Esmita en ambiente denudacional	Rbesmad	0,0097	28,57	18,77

TIPO DEPOSITO	Nomenclatura	Cohesion (Mpa)	Phi (°)	Gamma (Kn/m3)
Roca blanda de la Formación Esmita ambiente estructural	Rbesmae	0,0750	24,35	17,79
Roca moderadamente blanda del Grupo Dagua en ambiente estructural	Rmbgdae	0,0042	28,03	18,58
Roca moderadamente blanda de la Formación Mosquera en ambiente denudacional	Rmbmoa d	0,0092	25,11	17,53
Roca moderadamente blanda de la Formación Mosquera en ambiente estructural	Rmbmoa e	0,0087	24,33	17,47
Roca moderadamente blanda de la Formación Quebradagrande en ambiente denudacional	Rmbqgad	0,0108	27,19	17,58
Roca moderadamente blanda de la Formación Quebradagrande en ambiente estructural	Rmbqgae	0,0158	27,57	18,29
Roca moderadamente blanda de la Formación Quebradagrande en ambiente volcanico	Rmbqgav	0,0096	26,23	18,31
Roca moderadamente dura de rocas hipoabisales dacíticas y andesíticas en ambiente denudacional	Rmddaad	0,0115	28,23	18,61
Roca moderadamente dura de rocas hipoabisales dacíticas y andesíticas en ambiente estructural	Rmddae	0,0128	28,01	18,01
Roca moderadamente dura de rocas hipoabisales dacíticas y andesíticas en ambiente volcanico	Rmddaav	0,0108	24,06	18,07
Roca moderadamente dura de diabasas, basaltos y lavas picricas en ambiente denudacional	Rmddbada	0,0085	28,96	18,33
Roca moderadamente dura de diabasas, basaltos y lavas picricas en ambiente estructural	Rmddbade	0,0086	28,86	18,20
Roca moderadamente dura de diabasas, basaltos y lavas picricas en ambiente volcánico	Rmddbav	0,0067	28,44	18,50
Roca moderadamente dura de avalanchas ardientes, flujos de lava y lahares en ambiente denudacional	Rmdflaad	0,0172	25,97	17,85
Roca moderadamente dura de avalanchas ardientes, flujos de lava y lahares en ambiente estructural	Rmdflaae	0,0106	27,44	18,82
Roca moderadamente dura de avalanchas ardientes, flujos de lava y lahares en ambiente glacial	Rmdflaag	0,0072	25,24	17,67
Roca moderadamente dura de avalanchas ardientes, flujos de lava y lahares en ambiente volcánico	Rmdflaav	0,0077	28,18	17,19
Roca moderadamente dura de avalanchas ardientes, flujos de lava y lahares explotada en canteras	Rmdflac	0,0057	28,19	17,24
Roca moderadamente dura de gabros de grano fino en ambiente denudacional	Rmdgfaad	0,0103	24,32	17,60
Roca moderadamente dura de la secuencia metamórfica de Buesaco en ambiente denudacional	Rmdmba d	0,0096	26,38	17,98
Roca moderadamente dura de la secuencia metamórfica de Buesaco en ambiente estructural	Rmdmba e	0,0076	26,58	18,33
Roca moderadamente dura de la secuencia metamórfica de Buesaco en ambiente volcánico	Rmdmbav	0,0084	27,35	17,85
Roca moderadamente dura de rocas intrusivas en ambiente denudacional	Rmdriad	0,0143	25,16	17,93
Roca moderadamente dura de rocas intrusivas en ambiente volcánico	Rmdriav	0,0103	25,37	17,94
Roca moderadamente dura del Ultramáfico de San Bernardo en ambiente estructural	Rmdusba e	0,0108	24,21	17,92
Suelo transportado fluvial (llanura de inundación)	Stf2	0,1740	29,66	18,35
Suelo transportado fluvial (terrazas)	Stf3	0,0120	28,70	17,42

TIPO DEPOSITO	Nomenclatura	Cohesion (Mpa)	Phi (°)	Gamma (Kn/m3)
Suelo transportado fluvial (Depósitos fluviotorrenciales)	Stf6	0,0061	29,37	17,80
Suelo transportado fluvioglacial	Stfg	0,0167	25,16	16,79
Suelo transportado coluvial	Strc1	0,0114	24,12	17,50
Suelo transportado volcánico (Depósitos de ceniza y lapilli),	Stv1	0,0135	20,05	16,32

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.5.8 Análisis de la zonificación de la amenaza a movimientos en masa

El cálculo final del factor de seguridad se realizó mediante la implementación de la fórmula en la herramienta SIG, asignándole a cada unidad de trabajo su respectivo valor para cada uno de los escenarios. Los rangos de factor de seguridad, fueron agrupados en tres (3) categorías diferentes en función del grado de amenaza (Ver Tabla 22).

Tabla 22. Grados de estabilidad según los resultados del factor de seguridad.

RANGO DE FACTOR DE SEGURIDAD	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
> 1.5	Baja	1
1.2 – 1.5	Media	2
< 1.2	Alta	3

Fuente: Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los POMCA de acuerdo con los alcances técnicos del proyecto, Fondo Adaptación, 2014.

Finalmente, el escenario es cogido mediante el método de probabilidad de ocurrencia, dicho método consiste en el cálculo de la probabilidad de falla, definida como la probabilidad de que el factor de seguridad sea inferior o igual a 1.0.

La probabilidad de que el factor de seguridad sea menor que 1.0, se calcula de acuerdo a la media del escenario, junto a la desviación estándar del mismo mediante las siguientes expresiones:

$$pf = 1 - \Phi(\beta)$$

$$\beta = ((\mu_{FS} - 1.0)) / \sigma_{FS}$$

Dónde:

μ_{FS} : media del factor de seguridad.

σ_{FS} : desviación estándar del factor de seguridad.

$\Phi(\beta)$ es la confiabilidad, que es la probabilidad de no falla, que en este caso se calcula como la función inversa de la función Z (función de probabilidad acumulada normal estándar), calculada para un valor igual a β , el cual a su vez se obtiene como se muestra en la Tabla 23.

Tabla 23. Criterio para la clasificación de la amenaza en función de la probabilidad de falla.

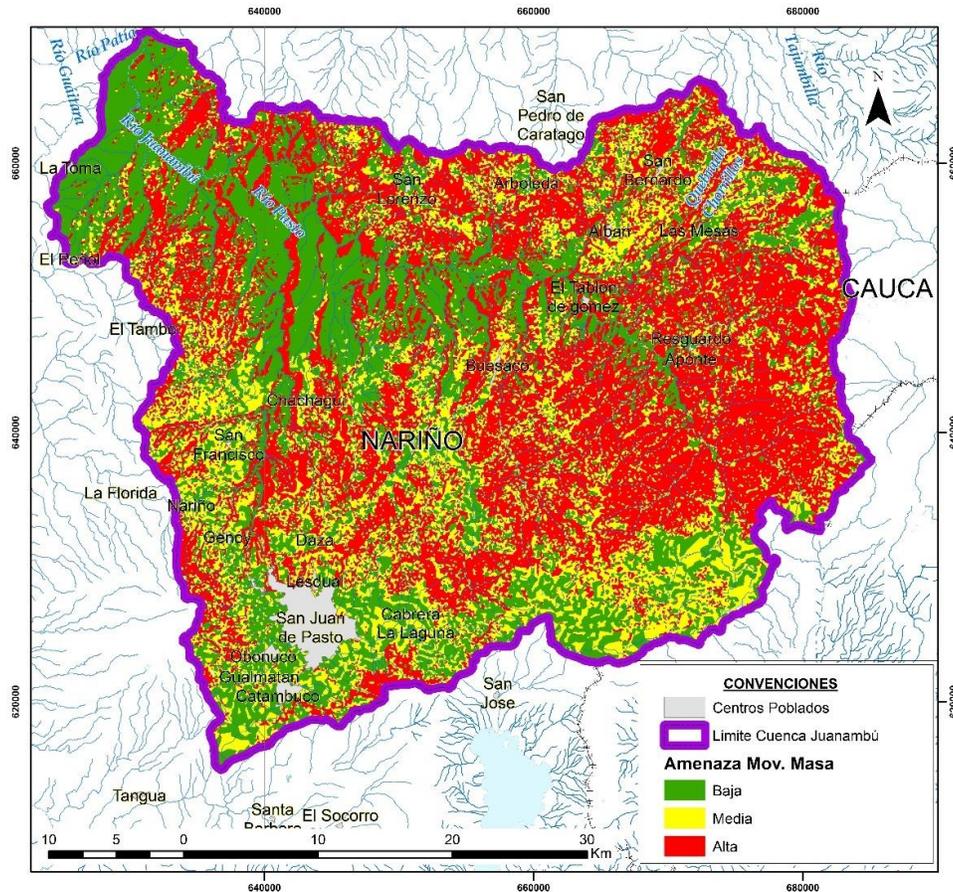
Escenario	Media	DesvEstand	Ajuste a la curva normal
2 años con sismo	0,962284	0,601751	0,524988178
20 años con sismo	0,962349	0,601797	0,524943266
50 años con sismo	0,962369	0,601811	0,524929454
100 años con sismo	0,962384	0,601822	0,524919075
seco con sismo	422,914763	808,876182	0,300972302
suelo completamente saturado	0,96237	0,600437	0,524985763
seco sin sismo	106,984166	201,752276	0,299680963
100 años sin sismo	106,858749	201,7889	0,29993014
2 años sin sismo	106,858703	201,788811	0,299930139
20 años sin sismo	106,858733	201,788868	0,299930139
sin sismo 50 años	106,858742	201,788887	0,29993014

Fuente: Consorcio POMCA 2015 053

La totalidad de los escenarios obtenidos (11) en el modelamiento de la amenaza por movimientos en masa y el cálculo de su probabilidad de ajuste a la curva normal, podrá ser encontrada en el Anexo Escenarios para amenaza por Movimientos en Masa en la Cuenca Hidrográfica Del Río Juanambú del presente documento.

Luego de analizar los resultados obtenidos en la probabilidad de ocurrencia de los escenarios, para el caso puntual de esta cuenca, el escenario seleccionado es el correspondiente a 2 años de tiempo de retorno en las precipitaciones y la ausencia de sismo, como detonantes de la amenaza final. Posterior a esto, se realizó un procesamiento intrínseco del SIG que, junto con la validación final de campo, permitió obtener una mejor aproximación de lo sucedido en la cuenca, en cuanto a esta amenaza refiere.

Figura 36. Zonificación de la amenaza a movimientos en masa.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

En general, se observa que los municipios de San Fernando, Catambuco, Cabrera, Mapachico, Tablón de Gómez, Albán, Las Mesas, San Bernardo, Albán, Arboleda San Lorenzo y las márgenes Norte y Oeste del casco urbano del municipio de San Juan de Pasto se encuentran en una zona alta de amenaza a movimientos en masa. En toda la cuenca se registra un área con amenaza alta a movimientos en masa de cerca de 38030 Ha, representando un porcentaje del total del área de la cuenca de 18,5% (Ver Figura 36). Estas zonas se distribuyen principalmente en la margen sur de la cuenca, seguido por la margen occidental, luego en algunas laderas con tendencia norte-sur en la zona central de la cuenca y por último en zonas aisladas de la margen norte y sectores de la esquina nororiental de la cuenca. El área con zonificación de amenaza media es alrededor de 54245 Ha, que representa el 26,4% del total de la cuenca. Estas zonas se ven representadas en el mapa como extensiones areales (buffers), alrededor de las zonas de amenaza alta en algunos sectores, y en otras como zonas aisladas, obedeciendo a la metodología empleada para realizarla, y se puede observar que su distribución, al igual que las zonas de amenaza alta, es mayor hacia los sectores sur y oriental de la cuenca, y se ven altamente disminuidas en la esquina noroccidental de la cuenca y en la zona

central. Finalmente, el área con zonificación de amenaza media ronda por las 113152 Ha, que representa el 55,1% de área total de la cuenca. Estas zonas se distribuyen de manera general en toda la cuenca, pero tiene una alta representatividad en la región central de la cuenca y en el cuadrante noroccidental.

Teniendo en cuenta el resultado del proceso metodológico, las variables que intervienen en el modelo de amenaza por movimientos en masa y el resultado de este ejercicio se concluye que:

- El factor detonante más relevante al momento de evaluar la amenaza por movimientos en masa es la lluvia.
- Para la cuenca del río Juanambú se observa una correlación moderada entre el inventario de procesos y las zonas de amenaza media y alta a eventos de remoción en masa, y obedece principalmente a que en éstas últimas juega un papel muy importante el número de curva. Igualmente, en las áreas donde se da una correlación muy fuerte, se puede ver que es debido al control litológico y geomorfológico donde los paquetes presentan una génesis principalmente volcánica.
- Aquellas zonas en donde predomina la amenaza alta por movimientos en masa se observan variaciones de pendientes entre 15° y 45° y picos de precipitación reflejados en altos valores de infiltración.
- La influencia sísmica también juega un papel relevante siendo la región muy activa tectónicamente por la geodinámica interna de los volcanes asociados a los complejos volcánicos Galeras y Doña Juana y a las fallas asociadas al sistema Silvia-Pijao.

1.5.9 Recomendaciones e Identificación de Necesidades de Información

Recomendaciones finales:

De acuerdo con la zonificación establecida para la amenaza por eventos de movimientos en masa, se observó la necesidad de información y recomendaciones que pueden aportar a tener un modelo más detallado del área de estudio.

- Se deben tener en cuenta las zonas establecidas como amenaza alta y media dentro del plan de ordenamiento territorial de cada uno de los municipios que conforman la cuenca hidrográfica del Río Juanambú, dado que el presente estudio, corresponde a una determinante ambiental superior a las zonificaciones municipales. De igual manera, debe tenerse en cuenta que el presente estudio está enfocado en zonas rurales, por lo que se sugiere realizar estudios detallados de movimientos en masa en los taludes urbanos que así lo requieran.
- Una de las mayores dificultades que se observa, es la carencia de información histórica precisa y de calidad, por tal razón y con el fin de continuar avanzando en el conocimiento de esta amenaza, se hace necesario seguir alimentando las bases de datos disponibles, con los eventos que se presenten en el futuro; de igual manera se debe hacer una caracterización detallada de cada uno de los tipos de movimientos que se presenten en la cuenta, para poder identificar el tipo de detonante presente y las condiciones que llevaron a su manifestación dentro de las laderas que conforman el área de estudio. Este tipo de trabajos se deben

desarrollar especialmente por las autoridades municipales y departamentales encargadas de atender este tipo de eventos.

- Es necesario generar espacios sociales en conjunto con las alcaldías municipales y entes territoriales, para socializar estas amenazas con las comunidades, y de esta manera involucrar a todos los actores en los procesos de planes de manejo ambiental de cuencas, acerca de los contribuyentes y detonantes, tanto antrópicos como naturales, que pueden desencadenarlas.

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

La Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú está compuesta por cuerpos de agua loticos (dentro de los que se destacan el cauce principal de los ríos Cascabel, Negro, Buesaquito, Salado, Tongosoy o Meneses, San Lorenzo, Aponte, Janacatu y Pasto, las quebradas, Charguayaco, El Salado, La Ovejera, Honda, El Tambillo, La Toma, Mazamorras, San Pablo, Sara Concha). Con un área de 209455,8 ha se encuentra compuesta por una cantidad de 54 subcuencas, las cuales muestran un dinamismo que está estrechamente relacionado con la litología, el relieve y las características estructurales del área. Es así como, en las regiones montañosas, esta zona presenta laderas escarpadas con tributarios de mediana y alta densidad, los cuales generan una erosión uniforme (rebajando las partes con mayor índice de relieve), y aportando progresivamente (ladera abajo) agua y sedimentos al cauce principal, formando un patrón de drenaje dendrítico. Puntualmente, la red de drenaje presenta en algunos sectores una variación en su patrón de drenaje (por efectos del diaclasamiento) presentando drenajes de tipo subparalelo de mediana densidad, con superficies estrechas, alargadas y profundas.

En particular, zonas con un alto índice de relieve generan superficies de morfología escarpadas y prominentes, que permite el desarrollo de cauces de menor tamaño con un único canal de flujo y patrón de drenaje dendrítico con un fuerte control litológico, reflejado en los comportamientos que se observan en el área de influencia de la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.

Como atributos generales, el Río Juanambú es un afluente del Río Patía, se levanta en la cordillera central en el departamento de Nariño, formando su afluente entre los municipios de El Tablón de Gómez, Buesaco, Arboleda y San José de Albán, fluye al oeste antes de unirse con el río Patía cerca al municipio de Policarpa.

1.6.3 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 geformas y relieves de ambiente fluvial, aluvial y lacustrino a partir de:

- a) Imágenes satelitales
- b) DTM
- c) Modelo de sombras y pendientes

d) 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). Posteriormente, esta información se complementó con un análisis de la frecuencia de ocurrencia de inundaciones históricas para cada geoforma, castigando la geoforma si esta contaba con más de un evento reportado por inundación.

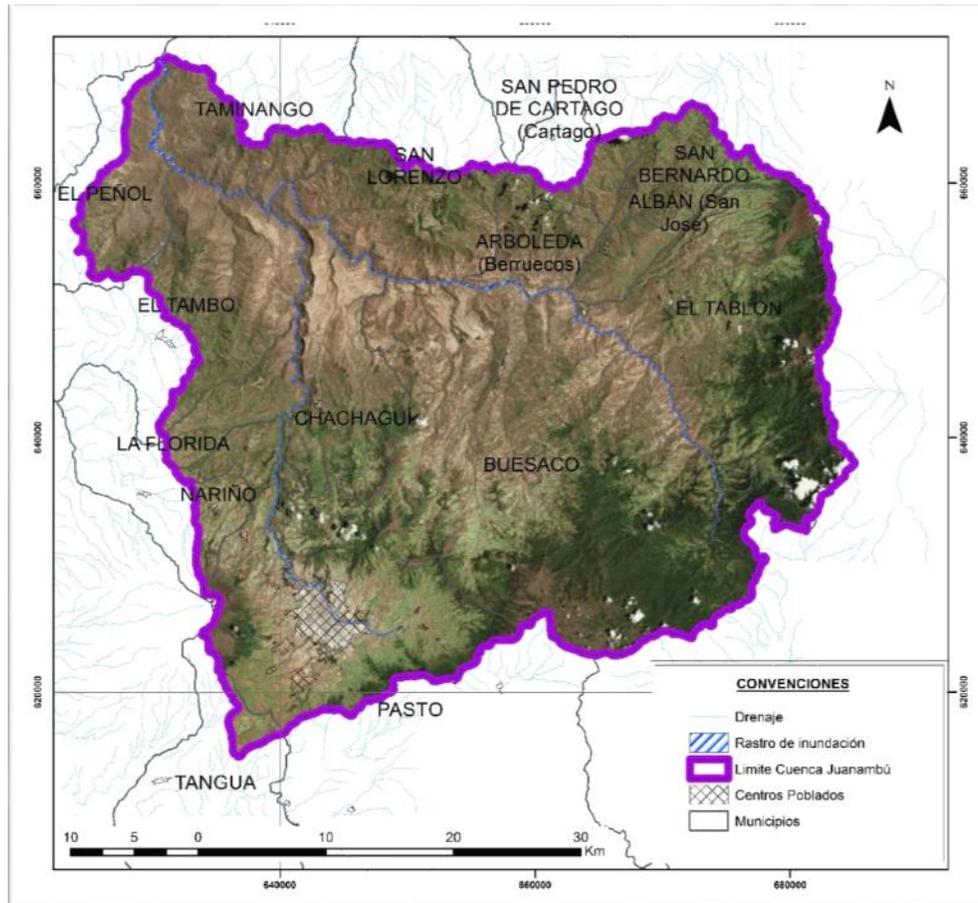
Análisis Multitemporal

El análisis de inundaciones para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú se realizó con base en los datos obtenidos a partir de información secundaria, evaluada junto con la información social y la información de campo pertinentemente recopilada; estos datos fueron respectivamente especializados y analizados por medio de herramientas SIG, lo cual permitió evaluar de forma óptima su relación espacial y dinámica. Complementario a esto, a través de un análisis multitemporal de imágenes de sensores remotos y modelos digitales, se realizó un estudio evolutivo del medio fluvial y una comparación temporal del trazado del cauce, reconociendo las zonas de divagación del Río Juanambú y uno de sus principales afluentes, el Río Pasto, de lo cual se evidenciaron leves cambios en los cauces, pequeñas zonas de desbordamiento con rasgos de inundaciones recientes y ausencia de meandros abandonados, indicándonos así una dinámica fluvial poco activa y mayormente un control litológico y estructural de la red de drenaje presente en la cuenca. Conocer las variaciones temporales que el cauce del Río Juanambú ha presentado es fundamental para entender la dinámica y relevancia de la principal fuente hídrica en la zona.

Como tendencia general, los fenómenos históricos reportados están dentro del área de influencia del Río Juanambú y el Río Pasto, así como en algunos tributarios como el Río San Bernardo. Adicionalmente se observan reportes de eventos en los centros urbanos más importantes como Pasto, Chachagüí, San Bernardo y el Peñol, estos originados generalmente por intensas lluvias y por insuficiencia y fallas de los sistemas de drenajes y alcantarillado.

Tanto el cauce del Río Juanambú como el del Río Pasto corresponden a un drenaje caracterizado por su moderada sinuosidad y poca movilidad, sus tributarios presentan diferentes orientaciones y patrones (siendo el dendrítico el principal de ellos). En el caso del Río Pasto, su curso principal esta significativamente orientado en sentido Sur-Norte, mientras que el del Río Juanambú lo está de oriente a occidente. Ambas corrientes muestran un cauce de tamaño homogéneo, desarrollado en un valle estrecho con laderas pendientes, socavadas principalmente sobre material volcánico. Estas corrientes presentan poco dinamismo y ligeras variaciones en algunos sectores donde el cauce se hace un poco más amplio y sinuoso.

Figura 37. Análisis multitemporal de imágenes satelitales del Río Juanambú, en donde se aprecia los rastros de inundación.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

En la Figura 37 se presentan las áreas en las que ha divagado el cauce del Río Juanambú. Además, se analizaron imágenes de diferentes años, en las que se evidencia la gran energía y la escasa migración que ha tenido el cauce principal de ambas corrientes. En términos generales, los procesos de erosión predominan sobre los de depósito en las cabeceras de ambas corrientes, con un descenso en la energía y un cambio en la dinámica a la altura del municipio de Chachagüí, lugar donde el Río Pasto tributa sus aguas al Río Juanambú permitiendo procesos de agradación tales como la formación de algunas barras de canal y depósitos orillales.

La gran energía de los cauces se relaciona con el caudal y la cantidad de material transportado por estos en el tramo concerniente a la cuenca hidrográfica del Río Juanambú, lugar donde erodan principalmente material volcánico muy reciente sobre el cual han socavado, disminuido su nivel base y desarrollando valles muy estrechos con diferencias topográficas significativas.

Análisis multitemporal del Río Pasto		
2005	2014	2015
		
1969	2014	2015
		
1969	2015	2016
		

Análisis multitemporal del Río Juanambú en su tramo inicial		
1969	2015	
		
1969	2015	2016

Análisis multitemporal del Río Pasto		
1969	2015	2016
Análisis multitemporal Río Juanambú en su tramo final (después de la desembocadura del Río Pasto)		
1969	2015	2016
1969	2015	2016

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.6.4 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 Juanambú fueron la localización de inundaciones (LIN) y los factores

condicionantes (Subunidades Geomorfológicas y Unidades de Terreno) como se ilustra en la Figura 38.

Figura 38. Variables que determinan a la zonificación de la susceptibilidad a la amenaza por Inundaciones.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.6.4.1 LOCALIZACIÓN DE INUNDACIONES (LIN)

Los fenómenos localizados y evaluados son todos aquellos que hacen parte del inventario de inundaciones de la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú. 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.

Las inundaciones históricas (INUNHIST) que fueron consideradas son el consolidado de la revisión de fuentes secundarias, en las que se describe su ubicación por asociación a proximidad de puntos o zonas de referencia (trabajadas en formato vector tipo polígono) y además se tiene en cuenta la información proveniente de la base de datos *Desinventar*, el Mapa de Cobertura, la cartografía social y la UNDGR.

En general, para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú, la mayor incidencia por inundaciones está estrechamente relacionada a las principales corrientes hídricas, tal y como se puede consultar con mayor detalle en la sección 0

1.6.4.2 FACTORES CONDICIONANTES

1.6.4.2.1 Subunidades geomorfológicas (SG)

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

Este parámetro fue analizado con base en las unidades geomorfológicas según Carvajal, definidas por el Consorcio POMCA para el área de la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú. La información se maneja en formato vector tipo polígono (Ver Tabla 24).

Tabla 24. Calificación de susceptibilidad de las subunidades geomorfológicas a inundaciones de la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú, según morfocronología.

Región	Unidad	Subunidad	Código	Susceptibilidad	
Serranías Estructurales	Lomos	Lomos	Sl	Baja	
		Lomo de Falla	Slf	Baja	
	Espolón	Espolón	Ses	Baja	
	Gancho de Flexión	Gancho de Flexión	Sgf	Baja	
	Sierras Estructurales		Sierra estructural	Ss	Baja
			Sierras y lomos de Presión	Sslp	Baja
			Escarpe de Línea de falla	Slfe	Baja
	Sierras Homoclinales		Sierra homoclinal	Ssh	Baja
			Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal	Sshlc	Baja
			Ladera estructural de sierra homoclinal	Sshle	Baja
	Sierras Sinclinales		Sierra Sinclinal	Sss	Baja
			Ladera de contrapendiente de sierra sinclinal	Ssslc	Baja
			Ladera estructural de sierra Sinclinal	Sssle	Baja
	Planicies Aluviales	Abanicos Aluviales	Abanicos Aluviales y Fluviotorrenciales	Faa	Media
		Terrazas	Terraza de Acumulación	Fta	Media
Escarpe de terraza de Acumulación			Ftae	Baja	
Planicies o de llanuras de inundación		Planicie y delta lacustrino	Fpla	Alta	
		Plano o llanura de inundación	Fpi	Alta	
Cuerpos de agua		Cauce Aluvial	Fca	Alta	
Barras	Barra longitudinal	Fbl	Alta		
Edificios Volcánicos	Flujos	Flujo de Lava	Vfl	Baja	
		Flujo Piroclástico Aterrazado	Vfp	Baja	
		Flujo Lahárico aterrazado	Vfla	Alta	
	Manto de Piroclastos	Manto de Piroclastos	Vmp	Baja	
	Escarpe de Flujo		Escarpe de flujo piroclástico aterrazado	Vfpe	Baja
			Escarpe de Flujo Lahárico Aterrazado	Vflae	Baja
			Escarpe de flujo de lava	Vfle	Baja
	Edificio Volcánico	Volcán o Edificio Volcánico	Ve	Baja	
	Cono Lahárico	Cono Lahárico	Vcl	Baja	
	Domo Volcánico	Domo Volcánico	Vd	Baja	
Cráter Volcánico	Cráter Volcánico	Vc	Baja		
Sierras Glaciadas	Artesa glacial	Gag	Baja		

Región	Unidad	Subunidad	Código	Susceptibilidad	
Serranías Glaciadas		Sierra Glaciada	Gsg	Baja	
		Flujo Volcánico Glaciado	Gfv	Baja	
		Circos Glaciales y de nivación	Gc	Baja	
		Conos glaciofluviales	Gcgf	Baja	
	Morrenas	Morrenas Glaciadas	Gmf	Baja	
		Morrenas Lateral	Gml	Baja	
Serranías Denudacionales	Montículos	Montículos y ondulaciones denudacionales	Dmo	Baja	
	Lomeríos	Lomeríos poco disectados	Dlpd	Baja	
		Lomeríos Disectados	Dldi	Baja	
	Escarpe de erosión	Escarpe de erosión Mayor	Deem	Baja	
		Escarpe de erosión Menor	Deeme	Baja	
	Laderas	Ladera ondulada	Dlo	Baja	
		Ladera Erosiva	Dle	Baja	
	Cerros	Cerro remanente o relicto	Dcrem	Baja	
	Lomo		Lomo denudado moderado de longitud larga	Dldeml	Baja
			Lomo denudado moderado de longitud media	Dldemm	Baja
			Lomo denudado bajo de longitud larga	Dldebl	Baja
			Lomo denudado alto de longitud larga	Dldeal	Baja
			Lomo denudado	Dlde	Baja
	Sierras		Sierra denudada	Dsd	Baja
			Sierra residual	Dsr	Baja
	Cima		Cima	Dc	
	Conos y lobulos de deslizamiento		Conos y lobulos de deslizamientos traslacional	Ddtr	Baja
	Conos y lóbulos Coluviales		Cono o lóbulo coluvial y de soliflucción	Dco	Baja
	Colina		Colina residual	Dcr	Baja
	Loma Denudada		Loma Denudada	Dld	Baja
Antropogénico	Canteras	Canteras	Ac	Baja	

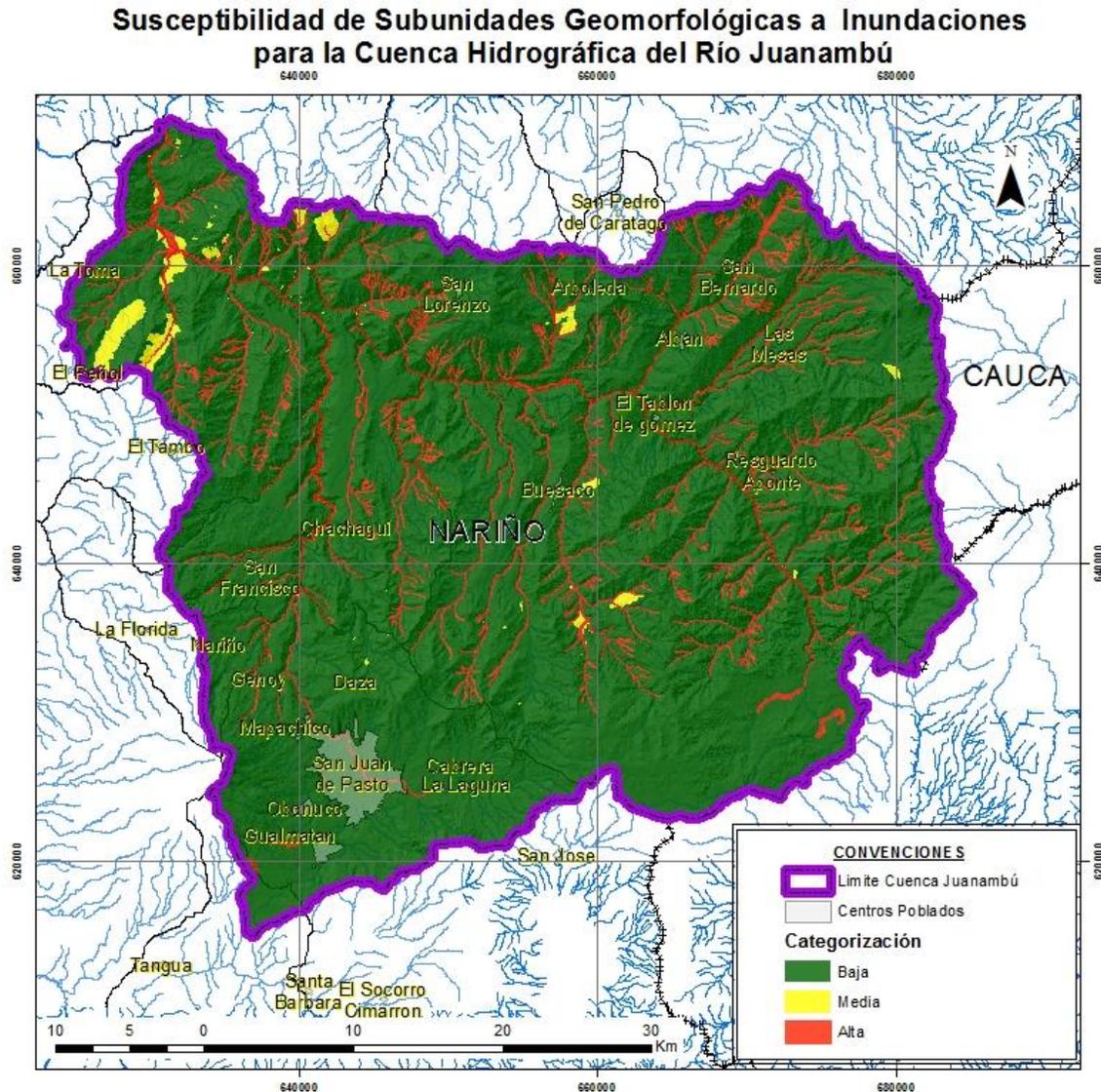
Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Las subunidades geomorfológicas presentes en el área de la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú que generalmente son susceptibles a inundarse, son aquellas que además de presentar bajas pendientes están ligadas en su desarrollo a un sistema fluvial. En el caso particular de los sistemas lenticos, presentes en la sub zona hidrográfica, estos son depósitos de agua de baja extensión cuya profundidad varía de acuerdo con las condiciones ambientales donde se localicen y su grado de colmatación, por lo que en temporadas de lluvias estos aumentan su cota de nivel sin generar impactos importantes en la región; sin embargo, el efecto de drenajes asociados puede llegar a ser relevante en el comportamiento y la afectación de los sistemas durante las temporadas de lluvias.

Por lo anterior, como se observa en la Figura 39, las unidades de regiones de serranías estructurales como: Lomos (Sl), espolón (Ses), Gancho de flexión (Saf), sierras estructurales (Ss), sierras homoclinales (Ssh) y sierras sinclinales (Sss); junto con subunidades de regiones de serranías denudacionales como

cono o lóbulo coluvial y de soliflucción (Dco), loma denudada (Dld), lomo denudado moderado de longitud larga (Dldeml), ladera erosiva (Dle), lomeríos poco disectados (Dlpd) se categorizan con una baja susceptibilidad a fenómenos de inundaciones, en virtud de su configuración y alta pendiente.

Figura 39. Mapa de Susceptibilidad de Subunidades Geomorfológicas a inundaciones, para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.

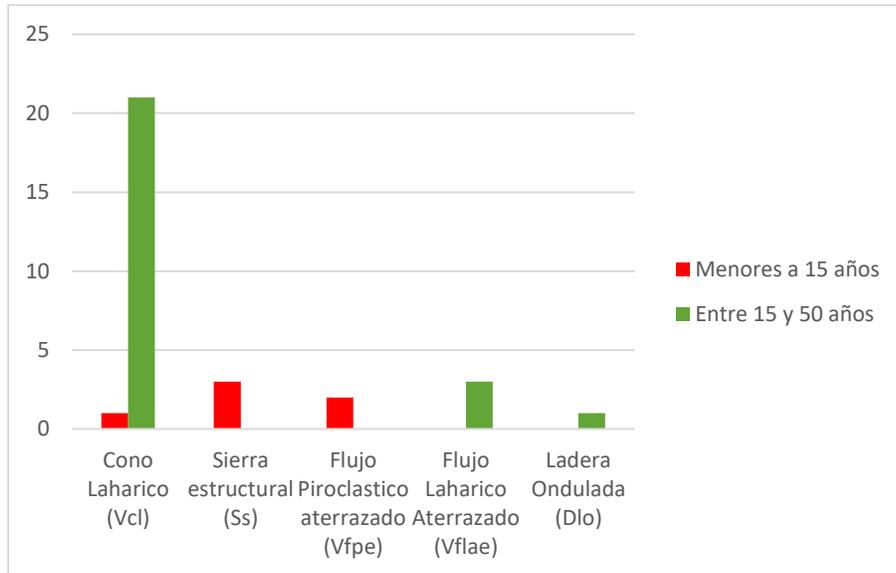


Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Las subunidades de flujos piroclásticos y edificios volcánicos como: Flujo piroclástico aterrazado, flujo lahárico aterrazado y cono Lahárico, se han desarrollado como resultado de procesos volcánicos correspondientes al volcán Galeras y Doña Juana que influenciados por la dinámica de corrientes en época de inundación y lluvias se convierten en zonas susceptibles a presentar inundaciones. También se registran zonas de Sierras estructurales y laderas onduladas como zonas de afectación por inundación.

En términos generales los conos laháricos (Vcl) presentan los mayores registros de eventos de inundación con susceptibilidad media (entre 15 y 50 años). Las subunidades nombradas a continuación: sierra estructural (Ss), flujo piroclástico aterrazado (Vfpe), flujo lahárico aterrazado (Vflae) y ladera ondulada (Dlo), representan zonas de alta susceptibilidad, pero es de considerar que son pocos eventos los que se registran en este caso.

Figura 40. Frecuencia de ocurrencia de eventos históricos de inundación registrados para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú discriminados según unidad geomorfológica que afectan.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

La mayor cantidad de registros por inundación (Ver Figura 40) están relacionados con Conos laháricos (en regiones geomorfológicas de edificios volcánicos), estas regiones (a pesar de ser topográficamente elevadas) han registrado históricamente inundaciones hacia el área de Pasto donde por efectos de la lluvia, colapsa y rebosa el sistema de alcantarillado. También se presentan flujos laháricos en Buesaco que traen como consecuencia inundaciones puesto que presenta algunas zonas planas. Los municipios de Albán, El Peñol, San Bernardo y Chachagüí también presentan reportes de inundaciones durante los últimos 15 años teniendo una susceptibilidad alta como consecuencia de presentar subunidades como laderas onduladas y sierras estructurales.

1.6.4.2.2 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 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 Juanambú por el Consorcio POMCA (Ver Tabla 25). La información se maneja en formato vector tipo polígono.

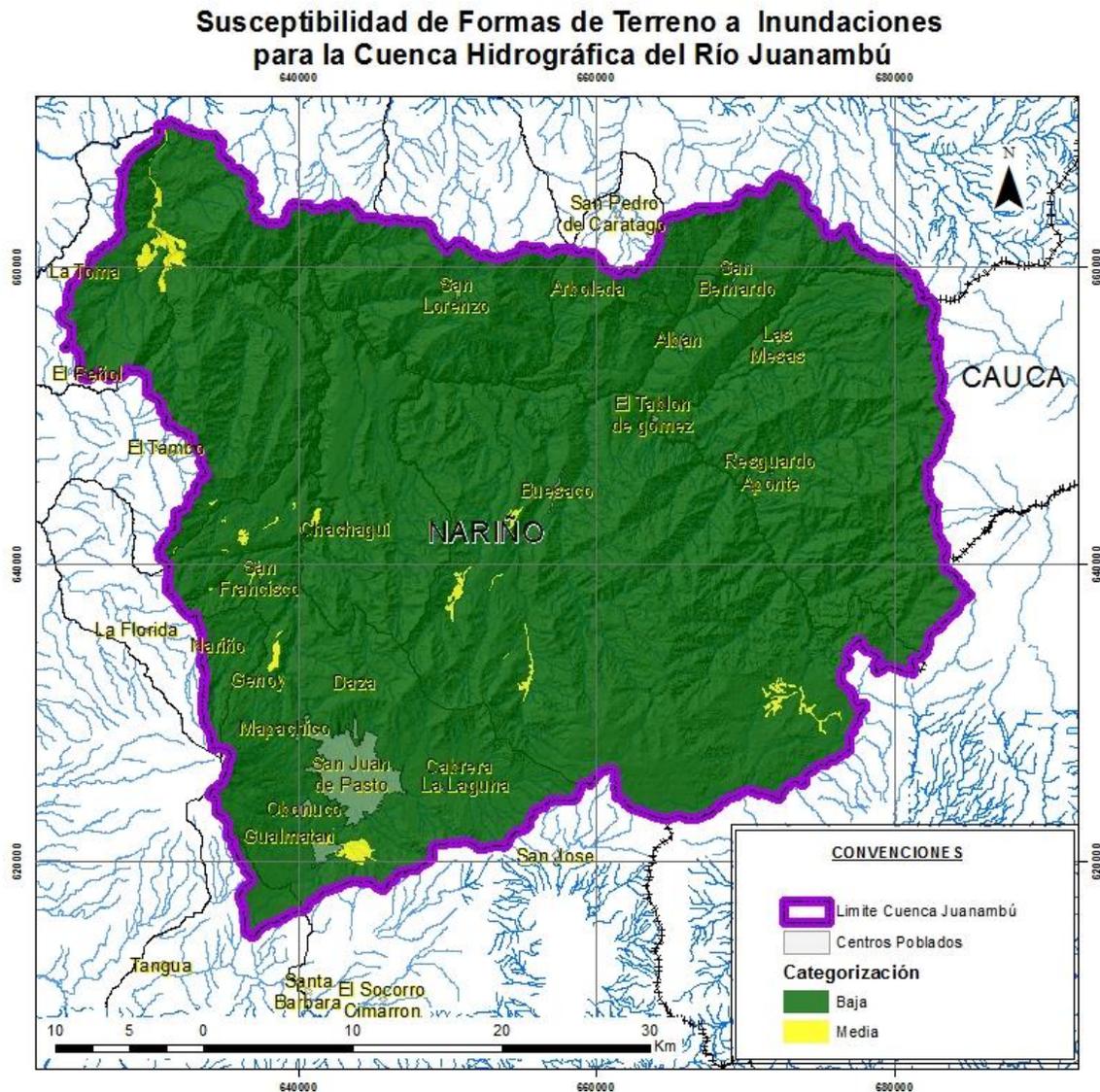
Tabla 25. Calificación de susceptibilidad a inundación de las unidades de terreno según morfocronología, registrados para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.

Paisaje morfogenético	Tipo de relieve	Forma del terreno	Símbolo	Susceptibilidad
Altiplanicie	Mesas	Cimas y Laderas	AMEcl	Baja
	Lomas	Bajos	AIOb	Baja
		Cimas y laderas	ALocl	Baja
	Cañones	Laderas	ACAI	Baja
Montaña	Artesas y campos morrenicos	Campos morrenicos	MAMcm	Baja
		Circos y paredes de artesas	MAMfa	Baja
		Fondo de artesas	MAMfa	Baja
	Coluvios	Cimas y depresiones	MCOcd	Baja
	Estrato-volcán	Cimas y Laderas	MEVcl	Baja
	Coladas de lava	Cimas, laderas y depresiones	MCLcs	Baja
	Anticlinal Excavado	Ladera Erosional	MAElr	Baja
		Ladera estructural	MAElS	Baja
	Crestón	Ladera erosional	MCRlr	Baja
		Ladera Estructural	MCRlS	Baja
	Cresta Homoclinal	Ladera erosional	MCHlr	Baja
		Ladera estructural	MCHlS	Baja
		Laderas	MCHI	Baja
	Filas y vigas	Laderas	MEVI	Baja
Vallecito	Vega	MVAv	Media	

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Como se puede observar en la 0, la mayoría de las formas de terreno presentes en la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú presentan una categorización de susceptibilidad baja a inundaciones. Sin embargo, hacia los municipios de El Tambo, El Peñol y Taminango se observa que la forma de terreno predominantes son los valles (Vega-MVAv), los cuales a su vez se encuentran atravesados por el Río Juanambú, por lo tanto, estas zonas se observan con una mayor categorización (Media) en la susceptibilidad a inundaciones y claramente para los municipios de su influencia. (Ver Figura 41).

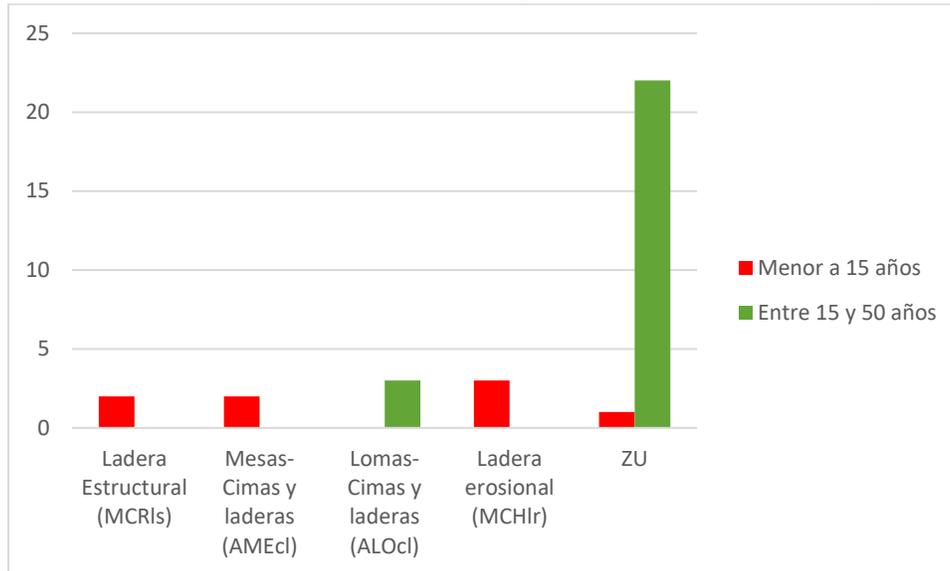
Figura 41. Mapa de Susceptibilidad de las Unidades de Terreno a inundaciones, para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

El municipio de Buesaco se encuentra categorizado como una zona con susceptibilidad alta a inundaciones, puesto que se encuentra cerca al afluente del Río Pasto y en época de lluvias suelen colapsar los alcantarillados y generarse inundaciones en la zona urbana. En San Bernardo el Río San Bernardo representa una alta susceptibilidad de inundaciones, influenciado por la presencia del sistema fluvial y por las laderas erosionales características de este sector, exponiendo la zona urbana a inundaciones en época de alta pluviosidad. Por último los municipios del Peñol y Taminango están expuestos a una alta susceptibilidad a inundaciones, causados por la presencia de uno de los sistemas afluentes del Río Juanambú y sumado a las unidades de terreno tipo Vega características en este sector, las cuales en época de lluvias aumentan el riesgo de inundación gracias a sus geometrías cóncavas.

Figura 42. Frecuencia de ocurrencia de eventos históricos por inundación para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú, discriminada según la unidad de terreno que afecta.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Las formas de terreno que históricamente han presentado una mayor cantidad de registros por inundaciones son las Zonas Urbanas (ZU), asociadas principalmente a los municipios de Buesaco, San Bernardo, Pasto, El Peñol y Taminango pues al aumentar el torrente de lluvias sus alcantarillados colapsan y se genera la emergencia. También es un factor importante que se encuentre cerca de grandes drenajes como los ríos Juanambú, Pasto, San Bernardo, sumados a laderas podría producir el aumento de la cota de nivel durante época de lluvias (Ver Figura 42).

Aunque la categorización de los grados de susceptibilidad a inundaciones en general es bajo, se han presentado eventos durante los últimos 15 años que aumentan la susceptibilidad de la zona puesto que están cerca a grandes afluentes y unidades de terreno mesas que muestran cimas y laderas, lomas con cimas y laderas y laderas erosiónales que en general aportan para que en época de lluvias los ríos aumenten su caudal y puedan desbordarse, esto sumado a la cercanía que se observa a zonas urbanas las cuales a su vez también colapsan por los rebosamientos de los sistemas de alcantarillado.

1.6.5 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 Río Juanambú, 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), por medio de un análisis geomorfológico – histórico, de las geofomas y relieves de ambiente fluvial presentes en el área que son producto de múltiples procesos geomorfológicos presentes en la zona como ríos, volcanes y procesos tectónicos que afectan toda el área (Ver Figura 43).

El relieve terrestre de la cuenca Juanambú ha venido evolucionando en la dinámica actual, mediante una serie de procesos constructores y transformadores que se ven afectados por la fuerza de la gravedad que actúa como equilibradora de los desniveles, es decir, hace que las zonas elevadas del cañón del Juanambú y sus corrientes principales, y las zonas de alta montaña (Galeras, Bordoncillo y Doña Juana) tiendan a caer y colmatar las zonas deprimidas, como valles, depresiones y planicies.

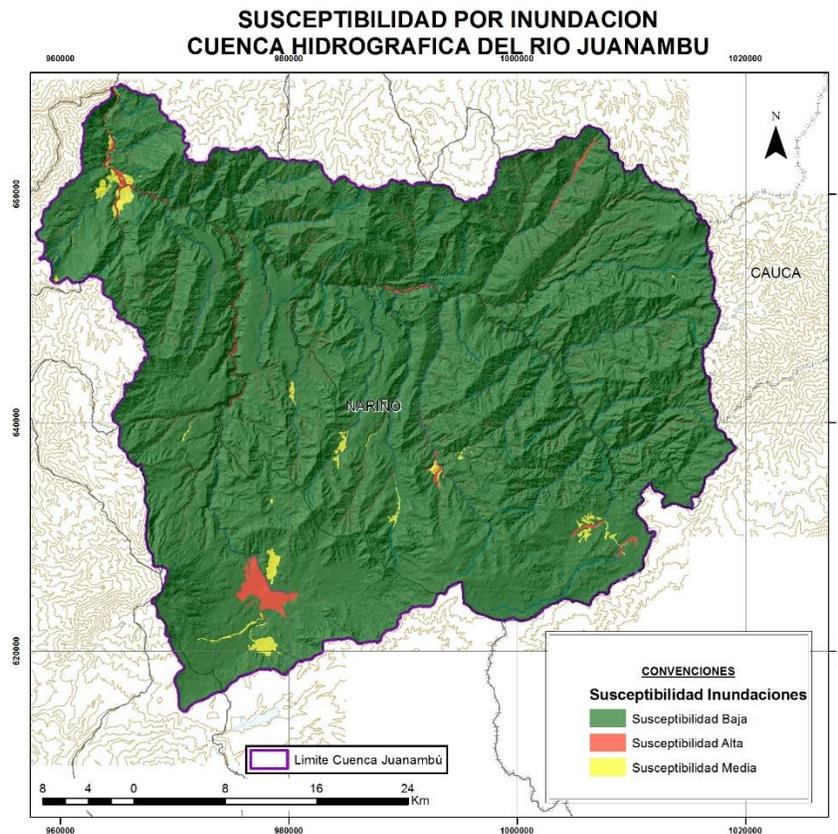
Los factores desencadenantes de los procesos geomorfológicos que se evidencian están relacionados con los factores físico – bióticos, tales como las condiciones del relieve considerado como abrupto para la generalidad de la cuenca, el suelo con un gran porcentaje de vocación protector, la biodiversidad del clima desde muy seco tropical hasta muy frío húmedo y su rica hidrografía compuesta por 53 corrientes (subcuencas) de orden 3, lo que permite una biodiversidad de cobertura y uso de la tierra, desde el bosque subxerofítico hasta vegetación de páramo, pasando por las diferentes coberturas arbóreas tropicales, subtropicales y andinas. Factores geológicos, tales como la tectónica afectada por 14 fallas de gran importancia por su actividad, la orogénesis y el vulcanismo activo (Galeras y Doña Juana) pasando por el vulcanismo antiguo (inactivo) y los factores antrópicos derivados de la acción de los pobladores y que depende de la actividad que se realice y que tiene gran importancia en la cuenca por su alto grado de poblamiento, incluida la ciudad de Pasto.

Los ambientes fluvio-aluvial y lacustrinos no son predominantes en la zona, la dinámica fluvial (con poca sinuosidad de los drenajes), la poca capacidad de infiltración de los suelos y depósitos, y las altas pendientes asociadas a geoformas escarpadas y prominentes, son condiciones que no favorecen la ocurrencia de eventos de inundación y que ayudaron a determinar las zonas de susceptibilidad a eventos de inundación.

Como resultado de lo anterior se obtiene el Mapa de Susceptibilidad a inundaciones para la sub zona hidrográfica (ver 0); este mapa ilustra como aproximadamente 202277 hectáreas (es decir el 96% del área total) se catalogan con una susceptibilidad baja a inundaciones. Las susceptibilidades bajas a fenómenos de inundación en la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú están asociadas a subunidades de regiones de serranías estructurales (ubicadas principalmente al norte de la sub zona hidrográfica, donde predominan las altas pendientes), como sierras homoclinales (Ssh) y sierras sinclinales (Ssan). Lo mismo sucede con las regiones de serranías denudacionales, toda ellas fueron categorizadas en general con baja susceptibilidad a inundaciones.

Por otro lado dentro del mapa de susceptibilidad a inundaciones, una pequeña parte (1796 ha) se ve catalogado como susceptibilidad media y 4765 ha se categorizan con susceptibilidad alta (0.86% y 2.28% respectivamente). Estos se observan principalmente en las zonas donde encontramos sierras estructurales, flujos piroclásticos, conos y zonas urbanas por donde pasan afluentes como el Río Pasto, Juanambú, San Bernardo y donde se desarrollan Valles a consecuencia de eventos ya sea glaciales o fluviales por la variabilidad de la geomorfología de la zona.

Figura 43. Mapa de Susceptibilidad a inundaciones para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.6.6 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 cruzó con la zonificación de susceptibilidad generada. La zonificación de la amenaza se efectuó en los siguientes pasos:

- Análisis geomorfológico – histórico: La categorización de amenazas se realizó teniendo en cuenta la temporalidad de los eventos de inundación, los cuales fueron clasificados en tres rangos según su fecha de ocurrencia. Posteriormente cada unidad geomorfológica fue castigada o condonada por la temporalidad que presentarán los históricos contenidos.
- Dicha zonificación se completó y se ajustó con la información de estudios realizados en los cuales se contempló la zonificación de amenaza por inundaciones realizada por el vigente POT de Nariño año 2014 y los diferentes estudios del CORPONARIÑO relativo al tema tratado.

1.6.7 Descripción de las variables de amenaza por inundaciones

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 y relacionarlas con la geomorfología permite definir la zonificación de la amenaza.

Este parámetro fue analizado con ayuda de la base de datos *Desinventar*, el Mapa de Cobertura y Cartografía Social, UNDGR. 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 26.

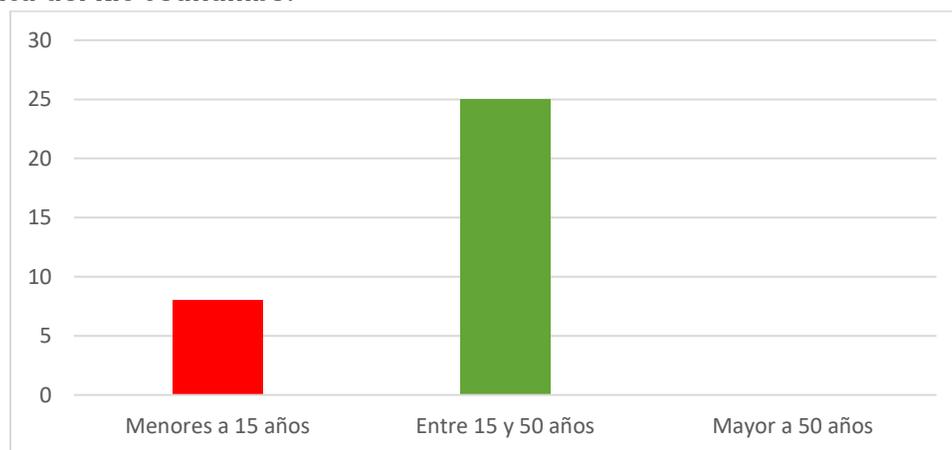
Tabla 26. Categorización de la recurrencia de los eventos de inundación.

Temporalidad del evento histórico	Clasificación
Menor a 15 años	Alta
Entre 15 y 50 años	Media
Mayor a 50 años	Baja

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

De acuerdo con la información disponible para el área de la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú los reportes por inundación están disponibles desde el año 1970; con base en lo anterior, los registros fueron agrupados en tres categorías (Eventos ocurridos hace menos de 15 años, eventos que sucedieron en el periodo comprendido entre 15 y 50 años, y eventos ocurridos hace más de 50 años). Como se observa en la Figura 44, la mayor ocurrencia de eventos esta para el periodo comprendido entre los 15 y 50 años y una menor ocurrencia en los que son menores de 15 años, para eventos de más de 50 años no se tiene reporte en este caso (Ver Figura 44).

Figura 44. Temporalidad de los eventos históricos por inundaciones, para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.

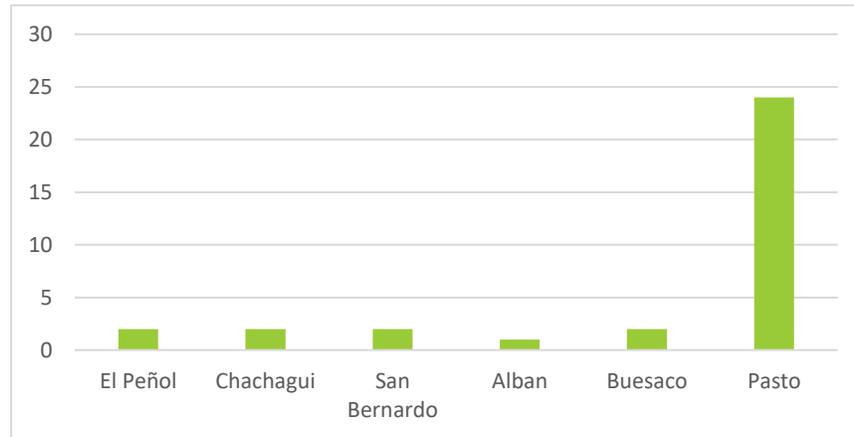


Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Particularmente los registros de inundación se han concentrado en los municipios de Pasto, El Peñol, Chachagui, San Bernardo, Alban y Buesaco (Ver

Figura 45).

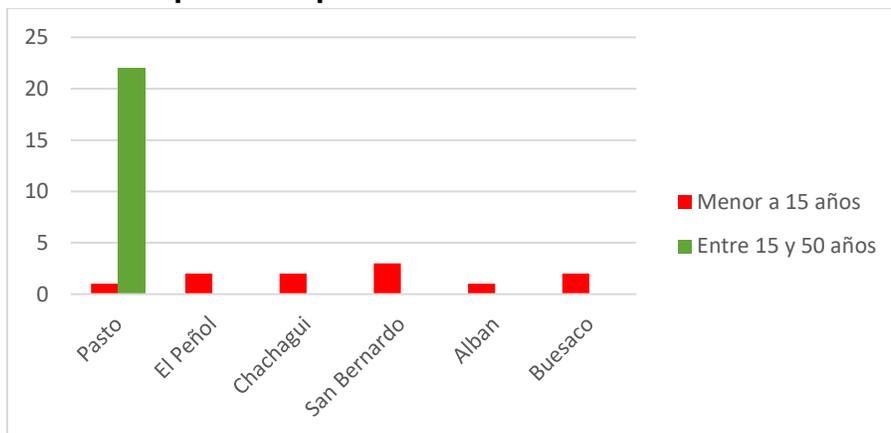
Figura 45. Registro de eventos históricos para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú, discriminados según los municipios que afectaron.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

El municipio que más presenta reportes de inundación es Pasto con 24 reportes entre los 15 y 50 años y 1 reporte durante los últimos 15 años, los demás municipios (El Peñol, Chachagüí, San Bernardo, Albán y Buesaco) presentan reporte para los últimos 15 años como se observa en la Figura 46.

Figura 46. Temporalidad de los eventos históricos para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú, discriminada por municipios.



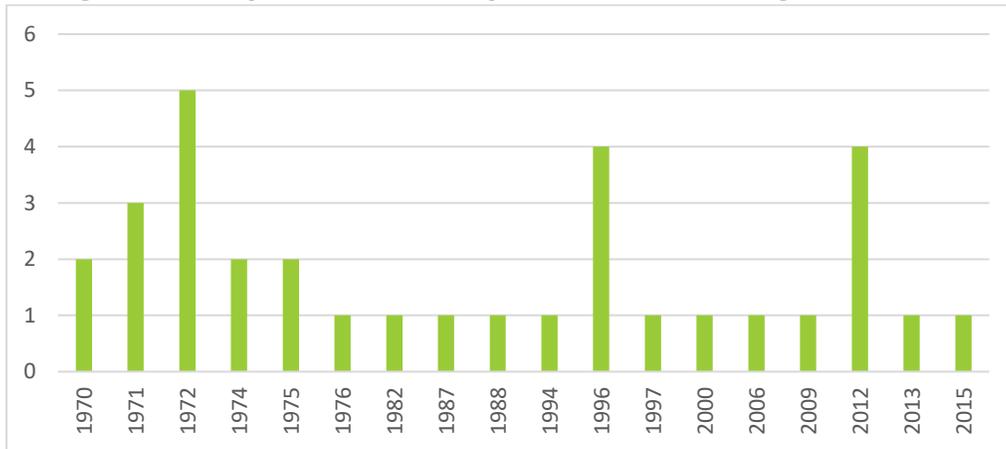
Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Aunque en algunos casos su origen es desconocido, la principal causa reportada para los fenómenos de inundación que se han presentado en área de la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú son las lluvias. En General, un aumento en el aporte de agua a los diferentes sistemas hídricos (en este caso, Ríos Juanambú, Pasto y San Bernardo desencadenan desbordamientos y también se suman que se

trata de zonas urbanas donde colapsan los diferentes sistemas de alcantarillado aumentando el riesgo de susceptibilidad por inundaciones.

Con base en la información recopilada se observa un ascenso y descenso relativamente periódico en los registros anuales, con una tendencia global estable (Ver Figura 47). Los mayores reportes, para eventos ocurridos entre 15 y 50 años fueron bajos (5 eventos) durante 1972; en los años 70 hubo un total de 10 eventos registrados por inundaciones; durante los siguientes 40 años (1980-2010) solo se presentaban uno o dos eventos por año. Para los últimos 7 años se incrementaron un poco los eventos de inundaciones puesto que el cambio climático trae consigo consecuencias como el Fenómeno del Niño más fuerte y por tanto fuertes lluvias que representan la mayor causa de inundaciones.

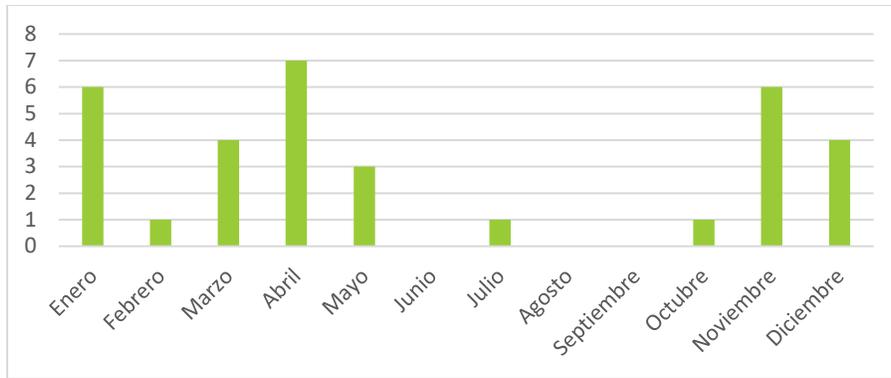
Figura 47. Registro anual por inundaciones para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Como tendencia general, en el registro interanual se observan dos períodos particularmente propensos a la ocurrencia de inundaciones, uno en la primera mitad del año (durante los meses de Enero, Marzo, Abril y Mayo) y otro en la segunda mitad del año (con un máximo en el mes de noviembre y Diciembre, con su máxima expresión entre los meses de Enero y Abril (en la primera mitad del año) y entre los meses de noviembre y Diciembre(en la segunda mitad del año), y con períodos de baja pluviosidad entre junio, Agosto, Septiembre y Febrero, que coinciden con las épocas donde históricamente las inundaciones han sido menos frecuentes (Ver Figura 48).

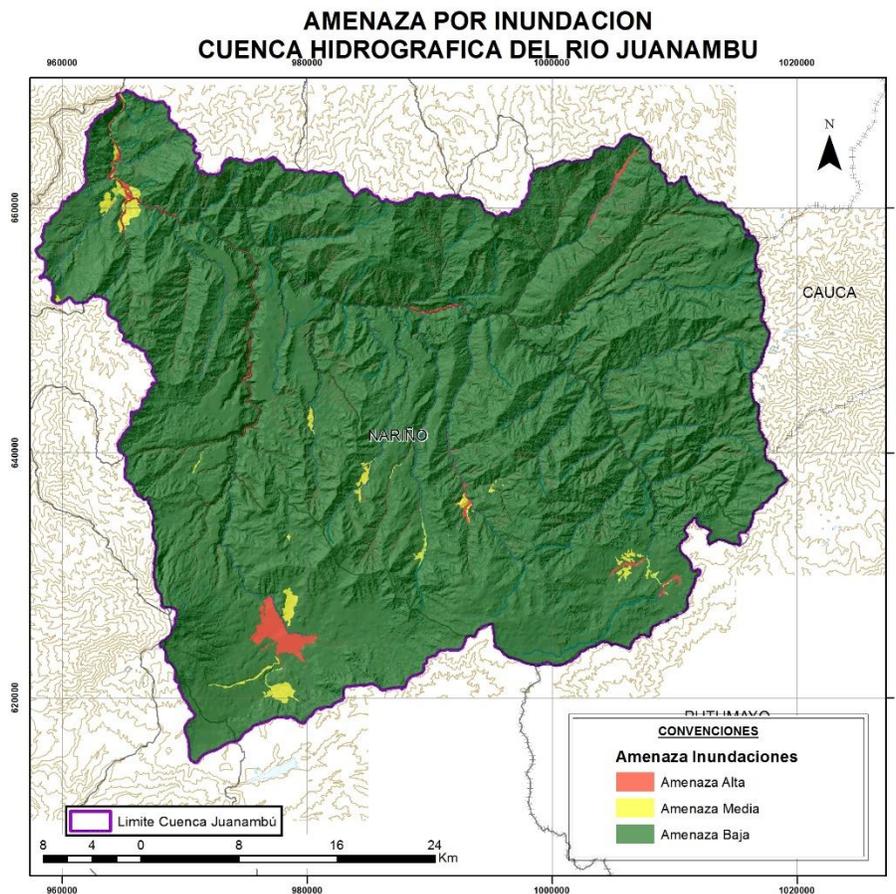
Figura 48. Registro interanual por inundaciones para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.6.8 Análisis de la zonificación de la amenaza a inundaciones

Figura 49. Mapa de Amenaza a inundaciones para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

En virtud de los eventos reportados por inundaciones para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú, son clasificadas 4765 hectáreas como zona de amenaza alta (que representan un 2.28% de la sub zona hidrográfica), al ser éstas, áreas de influencia inmediata del Río Juanambú, los ríos Cascabel,

Negro, Buesaquito, Salado, Tongosoy o Meneses, San Lorenzo, Aponte, Janacatu y Pasto, las quebradas Charguayaco, El Salado, La Ovejera, Honda, El Tambillo, La Toma, Mazamorras, San Pablo, Sara Concha (Ver Figura 49), los cuales en la cartografía geomorfológica están asociados a cauces aluviales, planos o llanuras de inundación, barras longitudinales, flujos aterrazados y planicies y deltas lacustrinos.

Durante la evaluación de la susceptibilidad algunos de los tramos de influencia de estas corrientes hídricas se habían catalogado como zonas de susceptibilidad media a inundaciones; no obstante, considerando que en la zona de los municipios de Chachagüí, Villa Loyola, Peña Cascajo, La Encaladura y cimarrones existen varios reportes de inundaciones en flujos piroclásticos aterrazados, que por su pendiente y sus características en este sector, promueven los fenómenos de inundación, se extendió el tramo de amenaza alta en este sector, de tal forma que abarcara la totalidad de los depósitos en este tramo.

En general, las zonas de amenaza media abarcan aproximadamente 1794 hectáreas (conformando el 0.85% del área total de la sub zona hidrográfica); las cuales están asociadas a los tramos de influencia un poco más distales de los principales cuerpos hídricos presentes en la sub zona hidrográfica y al área de los conos o lóbulos coluviales y de soliflucción y terrazas de acumulación (ubicados en su mayoría la zona noroeste de la cuenca). Las geoformas categorizadas con amenaza media a inundaciones en el sector sur de la cuenca no presentan una influencia directa por parte del río Juanambú.

Dejando finalmente 202279 hectáreas (es decir el 96% del área total de la sub zona hidrográfica) categorizadas como zonas de amenaza baja, las cuales coinciden con las regiones catalogadas con susceptibilidad baja a inundaciones, que en la cartografía geomorfológica están asociadas con sitios de altas pendientes en serranías estructurales y serranías denudacionales.

1.6.9 Recomendaciones e Identificación de Necesidades de Información

De acuerdo con la zonificación establecida para la amenaza por eventos de inundación, se observó la necesidad de información y recomendaciones que pueden aportar a tener un modelo más detallado del área de estudio.

- Una de las mayores dificultades que se observa, es la carencia de información histórica precisa y de calidad, por lo cual se recomienda generar y actualizar un sistema de registro completo de los eventos amenazantes por inundaciones que puedan dar información técnica de las causas de los eventos, como localización, origen del evento (antrópico como rompimiento de represas, diques o natural como aumento de las precipitaciones), procesos desencadenantes, zonas afectadas, duración. Este tipo de trabajos se deben desarrollar por las autoridades municipales y departamentales encargadas de atender este tipo de eventos.
- Se hace necesario con imágenes satelitales de alta resolución en diferentes periodos de tiempo para identificar con mayor precisión las geoformas asociadas a este tipo de eventos en zonas planas
- Considerando la importancia que tiene para el área el Río Juanambú y el Río Pasto, se debe realizar un modelo hidráulico o hidrodinámico que permita conocer con una mayor certeza

las zonas de amenaza por inundación, teniendo en cuenta diferentes tiempos de retorno máximo de los caudales, para las zonas críticas.

- Del mismo modo es importante actualizar la red hidrográfica y realizar levantamientos batimétricos y topográficos que permitan la medición de caudales y velocidades de cauce, profundidad y características de fondo e identificación de áreas potencialmente inundables a partir de caudales críticos.
- Realizar estudios donde se detalle la geología, la geomorfología, los modelos de elevación digital e hidrogeológicos, para poder prevenir futuros desastre por avenidas torrenciales e inundaciones.
- Es necesario realizar estudios de mayor detalle en las áreas con alta probabilidad de presentar inundaciones, donde las pendientes no son tan pronunciadas y cuentan con la mayor cantidad de factores condicionantes que propician la susceptibilidad a presentar inundaciones.
- Se recomienda evaluar para toda la zona de la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú un modelo de elevación del terreno con mejor resolución y evaluación topográfica, y si es posible generados a partir de tecnología LIDAR, los cuales son útiles para establecer áreas susceptibles de inundación, así como la adquisición de Imágenes satelitales de alta resolución en diferentes periodos de tiempo para identificar con mayor precisión las geoformas asociadas a este tipo de eventos en zonas planas.
- La Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú presenta como características notables una alta densidad de drenajes, los cuales aumentan la susceptibilidad de la misma a la ocurrencia de inundaciones, por lo cual es necesario generar espacios sociales en conjunto con las alcaldías municipales y entes territoriales, para socializar estas amenazas con las comunidades, y de esta manera involucrar a todos los actores en los procesos de planes de manejo ambiental de cuencas, acerca de los contribuyentes y detonantes, tanto antrópicos como naturales, que pueden desencadenarlas; así mismo espacios donde se propenda la conservación de los escenarios hídricos (ríos y cuerpos lenticos) entendiendo que estos juegan un papel fundamental en la dinámica del agua sobre la superficie terrestre y desempeñan un rol fundamental en la regulación de los sistemas hídricos.

1.7 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).

1.7.3 . Descripción metodológica para obtener susceptibilidad a incendios forestales

La susceptibilidad se determina mediante la integración de variables que se establecieron como condicionantes de éste tipo de amenaza, ya que favorecen la ocurrencia de procesos de ignición.

La zonificación de la susceptibilidad por la amenaza de incendios forestales se realizó a través de la integración de las variables condicionantes analizadas durante este capítulo. Para ello se realizaron las siguientes actividades:

1. El primer paso en este proceso es la determinación de variables, para esto de acuerdo al evento y a las características de las zonas de estudio, se establecieron las siguientes variables condicionantes a: Tipo de combustible predominante, Duración de los combustibles predominantes, Carga total de combustible. Las variables anteriores son tomadas según en el modelo de combustibles desarrollado para Colombia por Páramo, 2007 (IDEAM, Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal - Escala 1:100.000, 2011)
2. Una vez obtenido el modelo de mejor ajuste tanto de predicción como de validación, se reclasifica y se categorizan las zonas de susceptibilidad conforme la Tabla 27:

Tabla 27. Categorización de las zonas de susceptibilidad a incendios forestales.

Categoría	Calificación
Baja	< 0.35
Media	- 0.7
Alta	>0.7

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.7.4 Descripción de las variables de susceptibilidad a incendios forestales

Las variables para la ponderación de los factores condicionantes se presentan a continuación en la Figura 50.

Figura 50. Localización de Incendios en función a la susceptibilidad a incendios forestales.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.7.4.1 LOCALIZACIÓN DE INCENDIOS (LI) E INCENDIOS HISTÓRICOS (INCHIST)

Está asociado con el inventario de incendios forestales ubicados en la cuenca, y es la información base para la ponderación de variables que participan en el modelamiento de la susceptibilidad.

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 como vías, ríos, veredas, entre otros.

Formato: Vector tipo polígono.

Fuente: Base de datos *Desinventar*, mapa de cobertura y cartografía social.

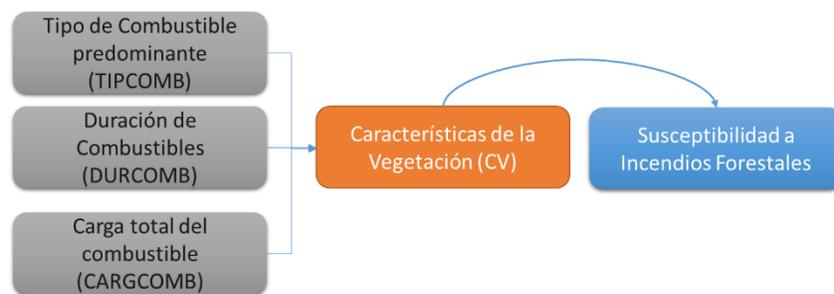
En el capítulo se detalla la recurrencia y frecuencia de este tipo de eventos al igual que su distribución espacial.

1.7.4.2 FACTORES CONDICIONANTES

1.7.4.2.1 Cobertura Vegetal (Cv)

Se entiende por susceptibilidad de las coberturas vegetales la característica intrínseca de la vegetación dada principalmente por la cantidad de combustible disponible, la disposición de éstos y el grado de combustibilidad que posee, el cual les brindan cierto grado de probabilidad tanto de sufrir daños como de resistir y de recuperarse a un incendio. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, s.f.). Por lo tanto se incluyen dentro de la evaluación, las características intrínsecas de la vegetación con respecto a su condición pirogénica, de acuerdo con la parametrización propuesta en la metodología del IDEAM (2011), realizada sobre la reclasificación del tipo de cobertura vegetal en la cuenca (Ver Figura 51).

Figura 51. Características de la vegetación en función a la susceptibilidad a incendios forestales.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

La susceptibilidad de la cobertura vegetal, se analiza mediante la identificación y valoración de las características que son representativas de una condición pirogénica: Tipo de combustible predominante (TIPCOMB), duración del combustible (DURCOMB) y carga total de combustible (CARGCOMB).

El tipo de combustible predominante (TIPCOMB) 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) (Ver Tabla 28).

Formato: Vector tipo Polígono.

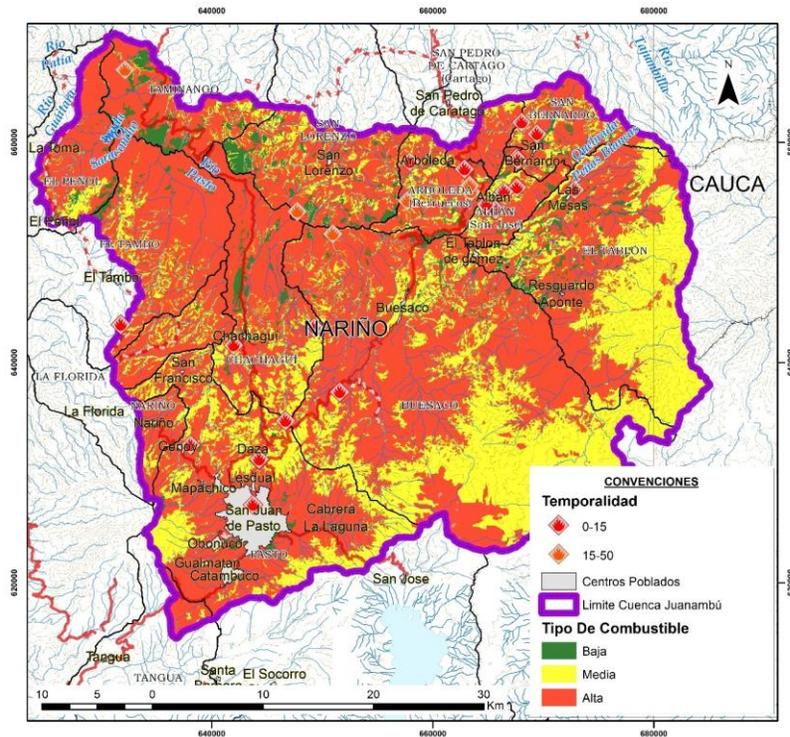
Fuente: clasificación del tipo de cobertura vegetal.

Tabla 28. Indicador Tipo de Combustible Predominante.

(CORINE LAND COVER NIVEL 3)	TIPO DE COBERTURA (Corine LC Nivel 3)	Tipo de combustible predominante	Categoría de amenaza Tipo	Calificación Tipo
111	Tejido urbano continuo	No combustibles	Muy Baja	0,2
112	Tejido urbano discontinuo	No combustibles	Muy Baja	0,2
121	Zonas industriales o comerciales	No combustibles	Muy Baja	0,2
122	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	No combustibles	Muy Baja	0,2
124	Aeropuertos	No combustibles	Muy Baja	0,2
211	Otros cultivos transitorios	Hierbas	Alta	0,8
222	Cultivos permanentes arbustivos	Árbusos	Alta	0,8
223	Cultivos permanentes arboreos	Árboles	Baja	0,4
231	Pastos limpios	Pastos	Muy Alta	1
232	Pastos Arbolados	Pastos	Muy Alta	1
233	Pastos enmalezados	Pastos	Muy Alta	1
241	Mosaico de cultivos	Hierbas	Alta	0,8
242	Mosaico de pastos y cultivos	Pastos/hierbas	Muy Alta	1
243	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Pastos/hierbas	Muy Alta	1
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	Pastos/hierbas	Muy Alta	1
245	Mosaico de cultivos y espacios naturales	Hierbas	Alta	0,8
311	Bosque denso	Árboles y arbustos	Moderada	0,6
312	Bosque abierto	Árboles	Baja	0,4
313	Bosque fragmentado	Árboles	Baja	0,4
314	Bosque de galería y ripario	Árboles	Baja	0,4
315	Plantación forestal	Árboles	Baja	0,4
321	Herbazal	Hierbas	Alta	0,8
322	Arbustal	Arbustos	Alta	0,8
323	Vegetación secundaria o en transición alta	Árboles y arbustos	Moderada	0,6
331	Zonas arenosas naturales	No combustibles	Muy Baja	0,2
333	Tierras desnudas y degradadas	No combustibles	Muy Baja	0,2
334	Zonas quemadas	Vegetación quemada	Alta	0,8
511	Ríos	No combustibles	Muy Baja	0,2
512	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	No combustibles	Muy Baja	0,2

Fuente: IDEAM, 2011

Figura 52. Duración de combustible Incendios Forestales.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

La Figura 52, nos muestra que en su mayoría la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú presenta un tipo de combustible pesado en casi toda la cuenca, una muy pequeña parte tiene combustible de mediana densidad y no es casi visto en la cuenca no combustible, todo lo anterior en relación con la resistencia que este puede tener a la combustión de acuerdo a su contenido de humedad, haciéndola muy susceptible a un incendio forestal en épocas donde tanto los factores antrópicos como los factores climáticos (aumento de temperatura de acuerdo a la época del año) acrecienten esta posibilidad.

La duración de los combustibles (DURCOMB) 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 1 hora de duración para su ignición (Parra Lara, 2011).

Formato: Vector tipo Polígono.

Fuente: clasificación del tipo de cobertura vegetal.

Tabla 29. Indicador duración de los combustibles.

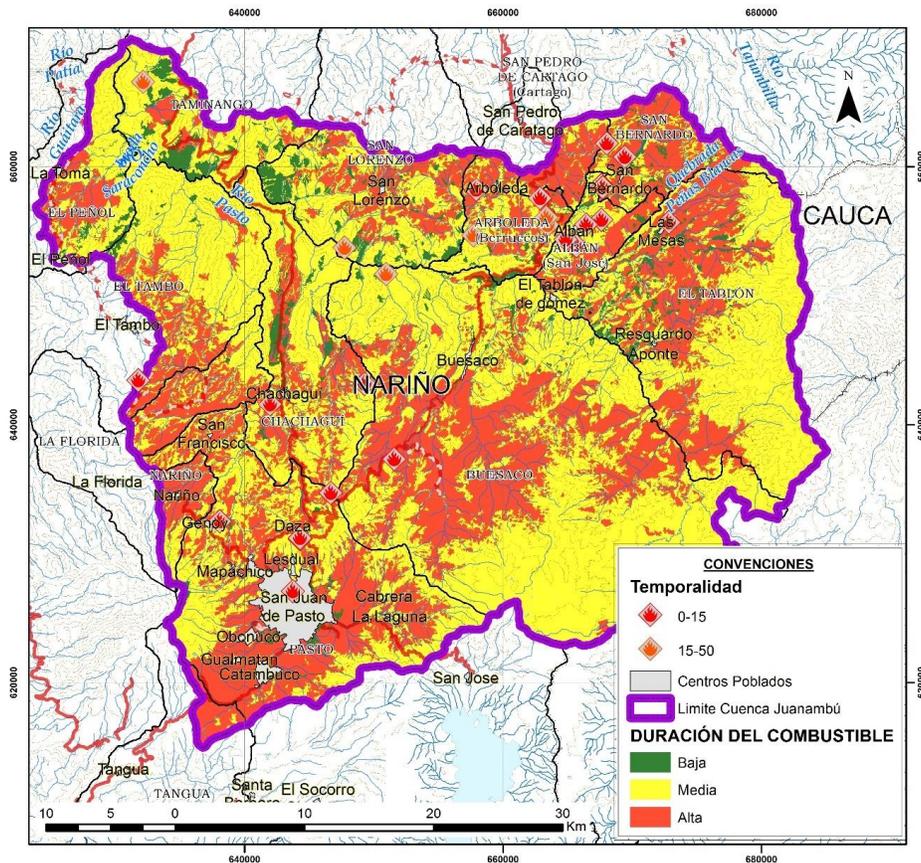
Clasificación CLC	TIPO DE COBERTURA (Corine LC Nivel 3)	Duración combustible predominante del	Categoría de amenaza Duración	Calificación Duración
332	Afloramientos rocosos	No combustibles	Muy Baja	0,2
311	Bosque denso	10 horas	Moderada	0,6
313	Bosque fragmentado	100 horas	Baja	0,4
314	Bosque de galería y ripario	100 horas	Baja	0,4
322	Arbustal	100 horas	Baja	0,4
243	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	1 hora	Alta	0,8
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	1 hora	Alta	0,8
242	Mosaico de pastos y cultivos	1 hora	Alta	0,8
241	Mosaico de cultivos	10 horas	Moderada	0,6
233	Pastos enmalezados	1 hora	Alta	0,8
231	Pastos limpios	1 hora	Alta	0,8
321	Herbazal	10 horas	Moderada	0,6
335	Zonas glaciares y nivales	No combustibles	Muy Baja	0,2
212	Cereales	10 horas	Moderada	0,6
223	Cultivos permanentes arbóreos	100 horas	Baja	0,4
224	Cultivos agroforestales	10 horas	Moderada	0,4
232	Pastos Arbolados	1 hora	Alta	0,8
245	Mosaico de cultivos y espacios naturales	10 horas	Moderada	0,6
312	Bosque abierto	100 horas	Baja	0,4
333	Tierras desnudas y degradadas	No combustibles	Muy Baja	0,2
111	Tejido urbano continuo	No combustibles	Muy Baja	0,2
112	Tejido urbano discontinuo	No combustibles	Muy Baja	0,2
121	Zonas industriales o comerciales	No combustibles	Muy Baja	0,2
122	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	No combustibles	Muy Baja	0,2
124	Aeropuertos	No combustibles	Muy Baja	0,2
131	Zonas de extracción minera	No combustibles	Muy Baja	0,2
132	Zona de disposición de residuos	No combustibles	Muy Baja	0,2
141	Otras zonas verdes urbanas	1 hora	Alta	0,8
142	Instalaciones recreativas	1 hora	Alta	0,8
211	Otros cultivos transitorios	10 horas	Moderada	0,6
222	Cultivos permanentes arbustivos	100 horas	Baja	0,4
315	Plantación forestal	100 horas	Baja	0,4

Clasificación CLC	TIPO DE COBERTURA (Corine LC Nivel 3)	Duración combustible predominante del	Categoría de amenaza Duración	Calificación Duración
323	Vegetación secundaria o en transición alta	10 horas	Moderada	0,6
331	Zonas arenosas naturales	No combustibles	Muy Baja	0,2
411	Zonas pantanosas	No combustibles	Muy Baja	0,2
413	Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	No combustibles	Muy Baja	0,2
511	Ríos	No combustibles	Muy Baja	0,2
512	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	No combustibles	Muy Baja	0,2
513	Canales	No combustibles	Muy Baja	0,2
514	Cuerpos de agua artificiales	No combustibles	Muy Baja	0,2
521	Lagunas costeras	No combustibles	Muy Baja	0,2
214	Hortalizas	10 horas	Moderada	0,6
215	Tubérculos	10 horas	Moderada	0,6
225	Cultivos confinados	10 horas	Moderada	0,6
334	Zonas quemadas	1 hora	Alta	0,8
221	Cultivos permanentes Herbáceos	10 horas	Moderada	0,6

Fuente: IDEAM 2011

Como se muestra en la Figura 53, la duración del tipo de combustible para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú que predomina es media a alta y en zonas muy pequeñas se observan duraciones de combustible cortas o bajas, haciendo referencia a el tiempo de ignición de la vegetación, siendo este factor uno de los influyentes para que la cuenca mantenga una susceptibilidad alta a incendios forestales.

Figura 53. Indicador de duración del combustible para incendios forestales en la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Cuando se habla de la carga total de combustible (CARGCOMB) 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 (Ver Tabla 30).

Formato: Vector tipo polígono.

Fuente: clasificación del tipo de cobertura vegetal.

Tabla 30. Indicador carga total de combustible.

Clasificación CLC	TIPO DE COBERTURA (Corine LC Nivel 3)	Carga Total del combustible predominante	Categoría de amenaza Carga	Calificación Carga
332	Afloramientos rocosos	No combustibles	Muy Baja	0,2
311	Bosque denso	Muy alta (más de 100 ton/ha)	Alta	0,8

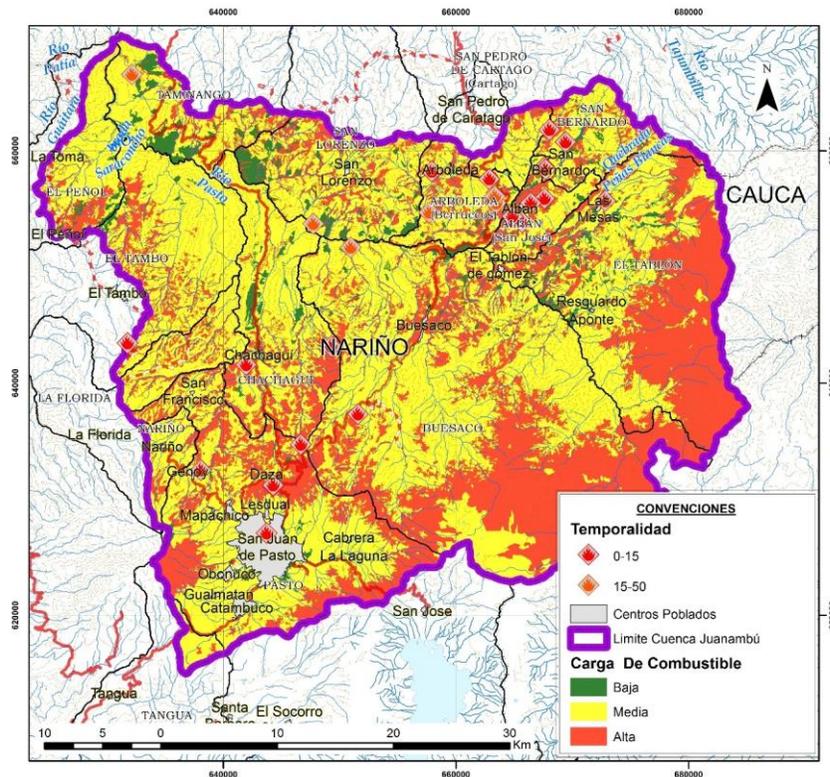
Clasificación CLC	TIPO DE COBERTURA (Corine LC Nivel 3)	Carga Total del combustible predominante	Categoría de amenaza Carga	Calificación Carga
313	Bosque fragmentado	Muy alta (más de 100 ton/ha)	Alta	0,8
314	Bosque de galería y ripario	Muy alta (más de 100 ton/ha)	Alta	0,8
322	Arbustal	Muy alta (más de 100 ton/ha)	Alta	0,8
243	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Moderada (50-100 ton/ha)	Moderada	0,6
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	Moderada (50-100 ton/ha)	Moderada	0,6
242	Mosaico de pastos y cultivos	Moderada (50-100 ton/ha)	Moderada	0,6
241	Mosaico de cultivos	Baja (1-50 ton/ha)	Baja	0,4
233	Pastos enmalezados	Baja (1-50 ton/ha)	Baja	0,4
231	Pastos limpios	Baja (1-50 ton/ha)	Baja	0,4
321	Herbazal	Baja (1-50 ton/ha)	Baja	0,4
335	Zonas glaciares y nivales	No combustibles	Muy Baja	0,2
212	Cereales	Baja (1-50 ton/ha)	Baja	0,4
223	Cultivos permanentes arbóreos	Muy alta (más de 100 ton/ha)	Alta	0,8
224	Cultivos agroforestales	Muy alta (más de 100 ton/ha)	Alta	0,8
232	Pastos Arbolados	Moderada (50-100 ton/ha)	Moderada	0,6
245	Mosaico de cultivos y espacios naturales	Baja (1-50 ton/ha)	Baja	0,4
312	Bosque abierto	Muy alta (más de 100 ton/ha)	Alta	0,8
333	Tierras desnudas y degradadas	No combustibles	Muy Baja	0,2
111	Tejido urbano continuo	No combustibles	Muy Baja	0,2
112	Tejido urbano discontinuo	No combustibles	Muy Baja	0,2
121	Zonas industriales o comerciales	No combustibles	Muy Baja	0,2
122	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	No combustibles	Muy Baja	0,2
124	Aeropuertos	No combustibles	Muy Baja	0,2
131	Zonas de extracción minera	No combustibles	Muy Baja	0,2
132	Zona de disposición de residuos	No combustibles	Muy Baja	0,2
141	Otras zonas verdes urbanas	Baja (1-50 ton/ha)	Baja	0,4
142	Instalaciones recreativas	Baja (1-50 ton/ha)	Baja	0,4
211	Otros cultivos transitorios	Baja (1-50 ton/ha)	Baja	0,4

Clasificación CLC	TIPO DE COBERTURA (Corine LC Nivel 3)	Carga Total del combustible predominante	Categoría de amenaza Carga	Calificación Carga
222	Cultivos permanentes arbustivos	Muy alta (más de 100 ton/ha)	Alta	0,8
315	Plantación forestal	Muy alta (más de 100 ton/ha)	Alta	0,8
323	Vegetación secundaria o en transición alta	Muy alta (más de 100 ton/ha)	Alta	0,8
331	Zonas arenosas naturales	No combustibles	Muy Baja	0,2
411	Zonas pantanosas	No combustibles	Muy Baja	0,2
413	Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	No combustibles	Muy Baja	0,2
511	Ríos	No combustibles	Muy Baja	0,2
512	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	No combustibles	Muy Baja	0,2
513	Canales	No combustibles	Muy Baja	0,2
514	Cuerpos de agua artificiales	No combustibles	Muy Baja	0,2
521	Lagunas costeras	No combustibles	Muy Baja	0,2
214	Hortalizas	Baja (1-50 ton/ha)	Baja	0,4
215	Tubérculos	Baja (1-50 ton/ha)	Baja	0,4
225	Cultivos confinados	Baja (1-50 ton/ha)	Baja	0,4
334	Zonas quemadas	Baja (1-50 ton/ha)	Baja	0,4
221	Cultivos permanentes Herbáceos	Baja (1-50 ton/ha)	Baja	0,4

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

En general, la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú muestra una carga de combustible media en la mayoría de su área (ver Figura 54), con una zona de alta carga hacia la parte sur de la cuenca y unas pequeñas zonas de carga baja (la carga hace referencia a la relación compactación y continuidad de la vegetación), haciéndola susceptible a una amenaza por incendios forestales ya que muestra en su mayoría combustibles pesados y zonas de carga de combustible medias y altas.

Figura 54. Indicador de carga total de combustible para incendios forestales en la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

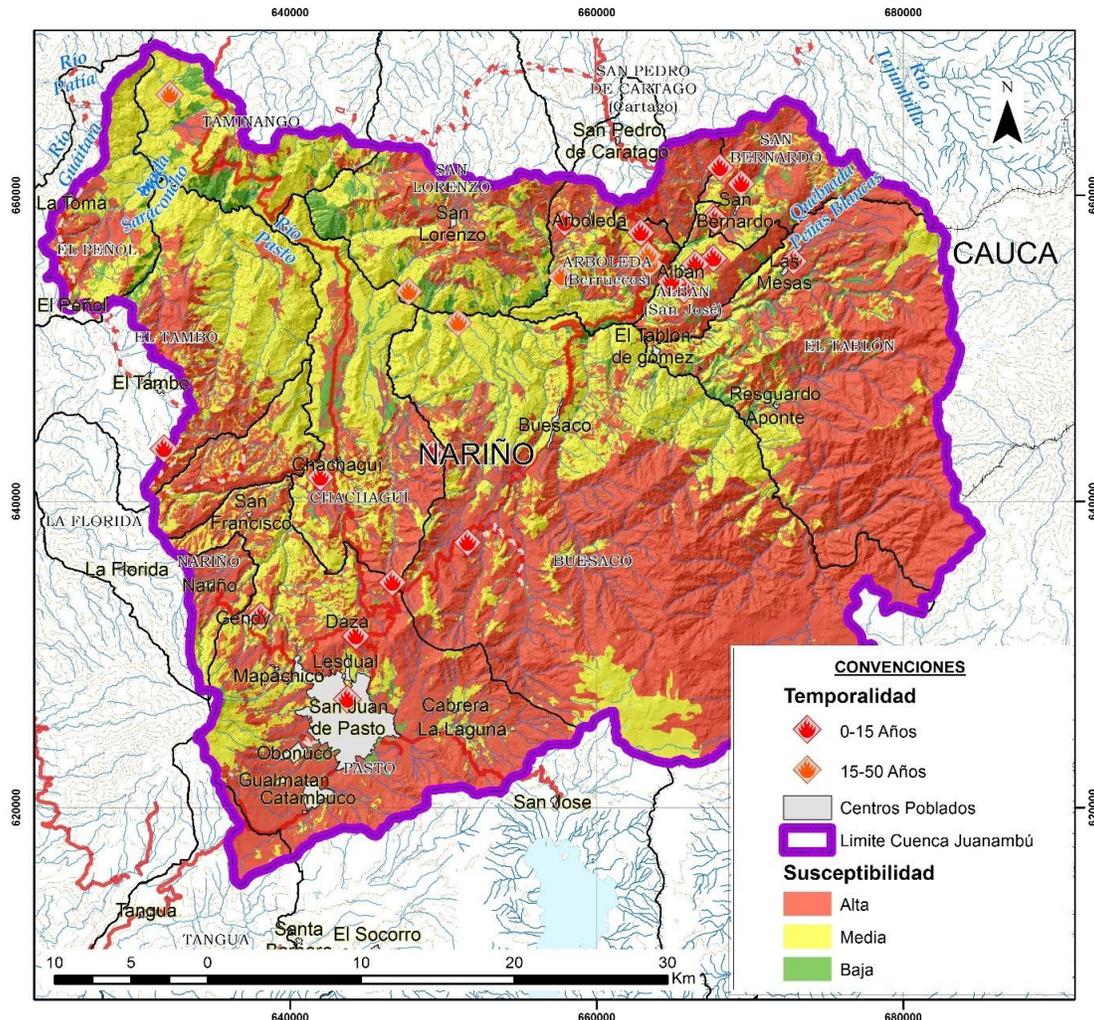
Realizada la calificación de la cobertura de la tierra a nivel tres de CORINE LAND COVER se procede a la realización de algebra de mapas aplicando la fórmula propuesta para susceptibilidad propuesta por protocolo.

$$Sv = Cal(tc) + Cal(dc) + Cal(ctc) \text{ (Fondo de Adaptación, 2014)}$$

- Sv Susceptibilidad de la vegetación
- Cal (tc): Calificación del tipo de combustible.
- Cal (dc): Calificación de duración
- Cal (tc): Calificación de combustible.

1.7.5 Análisis de la zonificación de la susceptibilidad a incendios forestales

Figura 55. Mapa de susceptibilidad a incendios forestales para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú, se genera una zonificación de la susceptibilidad a incendios forestales, ceñida por los diferentes eventos reportados y por propiedades de cobertura vegetal que fueron descritas anteriormente. Determinando de esta forma la diferenciación entre sectores de susceptibilidad baja, sectores de susceptibilidad media y sectores de susceptibilidad alta.

El resultado del mapa de susceptibilidad de incendios forestales (Ver Figura 55) indica que las zonas más propensas a eventos de ignición de la cobertura vegetal (susceptibilidad alta) ocupan 58% (121507,914736 Ha) de la totalidad del área de la cuenca, un 35% (73305,659346Ha) alcanza una susceptibilidad media hacia la parte noreste de la cuenca en los municipios de Taminango y El Tambo sin dejar de lado que los demás municipios presentan zonas de susceptibilidad media pero por pequeñas partes y tan solo un 7% (14869,869287 Ha) una susceptibilidad baja sobre todo en los

municipios de Chachagüí, San Lorenzo y Taminango, todo lo anterior como consecuencia que en la zona se presente vegetación pesada y que genera una carga de media a alta del combustible

1.7.5.1 DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA PARA OBTENER AMENAZA POR INCENDIOS FORESTALES

La determinación de la zonificación de amenaza se realizó a través de la integración de los factores detonantes con las zonas críticas identificadas (áreas con susceptibilidad media y alta). Una vez categorizadas las variables se procedió a la implementación de la amenaza mediante la metodología implementada por (Fondo de Adaptación, 2014).

$$At = Sv * (0.17) + P * (0.25) + T * (0.25) + P * (0.03) + F * (0.05) + A * (0.03) \quad (2)$$

(Fondo de Adaptación, 2014)

Donde,

- At: amenaza total
- Sv: susceptibilidad de la vegetación
- P: precipitación
- T: temperatura
- P: pendiente del terreno
- F: frecuencia de ocurrencia de incendios
- A: accesibilidad

Una vez obtenido el producto de la clasificación se procede a la normalización del raster y considerando las categorías expuestas para los Gestión del Riesgo en el POMCA se establecieron tres categorías para clasificar la amenaza considerando (Alta, Media, Baja) exponiendo como resultado final la amenaza por incendio forestales.

1.7.5.2 .DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES DE AMENAZA POR INCENDIOS FORESTALES

Estas son variables incluidas dentro de la descripción de la amenaza por su participación como factores detonantes en la ocurrencia de incendios, debido a que pueden presentarse como fuentes de ignición bajo determinadas condiciones.

1.7.5.2.1 *Temperatura (Temp)*

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. Para el área de estudio se presentan valores máximos de temperatura de 32°C y mínimos de 6°C, esto como causa de la gran variedad de pisos térmicos existentes en el área de estudio. La variación temporal de la temperatura es

de 2°C entre épocas calidas y frias, teniendo en cuenta que solo se presentan en el año dos épocas de abundante pluviosidad para los meses de Febrero a Mayo y Octubre a Diciembre. Es de aclarar que este indicador se asevera cuando se presentan los momentos de altas temperaturas en los meses de Enero, Junio, Julio, Agosto y Septiembre, aumentando la amenaza por incendio (Ver **Tabla 31**).

Tabla 31. Indicador de temperatura.

TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)	CATEGORIA DE AMENAZA	CALIFICACION
Extremadamente frio (< - 6)	MUY BAJA	1
Muy frio (6 - 12)	MODERADA	2
Frio (12 - 18)	MODERADA	3
Templado (18 - 24)	ALTA	4
Cálido (> 24)	MUY ALTA	5

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Tabla 32. Indicador de Precipitación.

PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (mm)	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
Húmedo (2000-3000)	MODERADA	3
Seco (1000-2000)	ALTA	4
Muy seco (500-1000)	MUY ALTA	5

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

El clima es un factor determinante para la evaluación de amenazas, ya que este interviene directamente sobre la humedad y la cantidad de combustible presente. La humedad permite que una capa vegetal sea más o menos resistente a la generación de procesos de ignición, lo que implica una disponibilidad mayor de un combustible que sea de fácil ignición. Como se menciona anteriormente, en la cuenca se presentan 5 pisos térmicos y esto influye en la variación tanto del clima como de temperatura puesto que nos encontramos en la zona ecuatorial y solo se presentan periodos de calor o de lluvias, siendo el periodo de calor el que más amenaza representa para que se genere un incendio forestal (Ver Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Tabla 32).

Indicador de Pendiente

PENDIENTE MEDIA (%)	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
0 - 7 %	MUY BAJA	1
7 - 12 %	BAJA	1
12 - 25 %	MODERADA	2
25 - 75 %	ALTA	3
> 75 %	MUY ALTA	4

2 Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.7.5.2.2 Factor Antrópico (Fa)

Se estima que un 95% de los incendios en Colombia se originan por causas antrópicas, derivadas del desarrollo de prácticas como la roza y quema en procesos agropecuarios (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2000), el descuido en actividades diarias (como fumadores, fogatas, pólvora y cacería de animales), accidentes (caída o roce de líneas eléctricas sobre materiales combustibles) y atentados terroristas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2002), de manera que constituyen

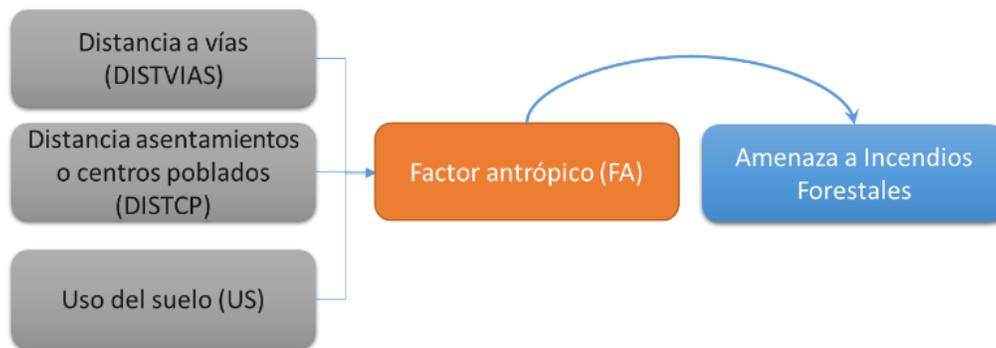
importantes fuentes de ignición para la generación de incendios, por lo tanto se tienen en cuenta las siguientes variables establecidas en el protocolo.

La Distancia a vías (DISTVIAS) corresponde a las zonas en las que por el paso de las vías se concibe presencia antrópica por la facilidad de acceso que genera, y el área es determinada mediante la obtención de la densidad vial de acuerdo con la influencia que esta presenta para cada pixel, adicionalmente se tiene en cuenta el tipo de vía, asignándole un peso de 5 a las de más alta categoría y disminuyendo una unidad por cada tipo. Este factor se considera parte de la amenaza, debido a que aumenta la probabilidad de que la población pueda llegar a las áreas de cobertura vegetal y generar focos de incendio (Ver Figura 56).

Formato: Vector tipo polígono.

Fuente: IGAC escala 25.000.

Figura 56. Factor antrópico en función a la amenaza a incendios forestales.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

La Distancia a vías (DISTVIAS) 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 10 a las de más alta categoría y disminuyendo una unidad por cada tipo. Este factor se considera parte de la amenaza, debido a que aumenta la probabilidad de que la población pueda llegar a las áreas de cobertura vegetal y generar focos de incendio (Ver Tabla 33).

Formato: Vector tipo polígono.

Fuente: IGAC escala 25.000.

Tabla 33. Indicador de Distancia Vías.

(Grosor del buffer en m)	Categoría de Amenaza	Calificación
0 – 500	MUY ALTA	5
500 – 1000	ALTA	4
1000 – 1500	MODERADA	3

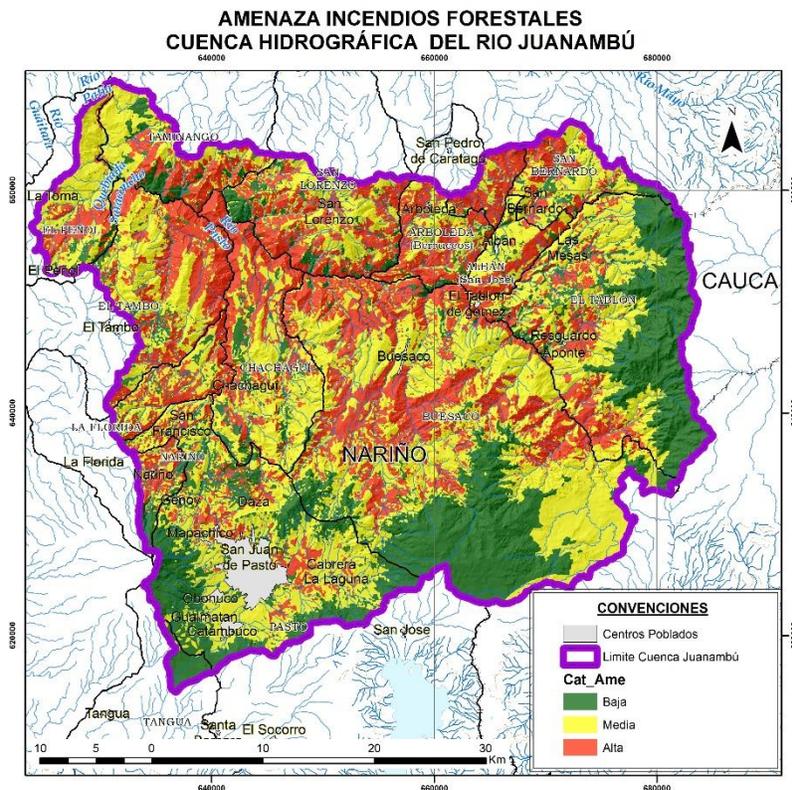
(Grosor del buffer en m)	Categoría de Amenaza	Calificación
1500 – 2000	BAJA	2
Más de 2000	MUY BAJA	1

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú se toma como factor antrópico guía la distancia de vías a poblaciones, con el fin de determinar qué tan factible es que se genere un foco de incendio forestal a causa de esto, los municipios más expuestos son Pasto por ser el centro urbano y el más poblado de toda la cuenca, seguido de los municipios de Albán (San José) y Buesaco donde pasan vías secundarias que están pavimentadas, para el resto de la cuenca se presentan vías terciarias en su mayoría al noreste de la cuenca.

1.7.6 Análisis de la zonificación de la amenaza a incendios forestales

Figura 57. Mapa de Amenaza a incendios forestales para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú se genera una zonificación de la amenaza a incendios forestales, ceñida por los diferentes eventos reportados, las variables de temperatura y el factor antrópico basado en las distancias a vías, determinando de esta forma una diferenciación entre sectores de amenaza baja, amenaza media y sectores con amenaza alta a incendios de la capa vegetal. Como resultado de obtiene el mapa de amenaza de incendios forestales de la Figura 57, con un 28%

(59592,30 Ha) del área total de la cuenca en amenaza alta a eventos de ignición de la cobertura vegetal son las condicionadas por la temperatura, localizadas en las zonas de llanura aluvial, con tasas de temperatura que logran alcanzar más de 24°C en los momentos de mayor exposición al sol y que adicionalmente presentan una fuerte intervención antrópica por las pequeñas distancias a vías importantes, a los cascos urbanos y en zonas de pastoreo intensivo. Las zonas catalogadas como amenaza baja de incendios forestales representan un 26% (55359 Ha) del área de la Cuenca y se observa en las regiones con topografía más alta, en los sectores SWy W.

De acuerdo a esto predominan zonas con amenaza media con un 49% (94503 Ha) del área total de la cuenca, donde tanto factores antrópicos como de temperatura sumado a la cercanía a vías mantienen una amenaza latente puesto que se encuentran cerca los centros urbanos como San Juan de Pasto.

El clima y la temperatura van de la mano, en este caso donde los incendios tienden a desatarse en épocas de sequía (Enero, Junio, Julio, Agosto y Septiembre) y donde los pisos térmicos que van de la mano con altas temperaturas (máxima reportada para la cuenca es 32°C) y el factor antrópico que es el que más propicia estos escenarios generan la amenaza para toda la cuenca como ya se expone anteriormente

1.7.7 Recomendaciones e Identificación de Necesidades de Información

De acuerdo con la zonificación establecida para la amenaza por eventos de incendios forestales, se observó la necesidad de información y recomendaciones que pueden aportar a tener un modelo más detallado del área de estudio.

- Con el fin de poder llevar a cabo un mayor control y un mejor modelamiento de los incendios forestales, se recomienda llevar un control detallado de los incendios forestales que se presenten en la zona. Es importante que se haga una georreferenciación de los espacios consumidos por la conflagración para poder determinar el tipo de evento presentado.
- Teniendo en cuenta las características del combustible, se deben evaluar las posibilidades de realizar obras civiles como la sectorización de combustibles mediante apertura de brechas cortafuego con herramienta manual o con maquinaria pesada, con el fin de interrumpir la continuidad del fuego y evitar que los incendios se propaguen rápidamente. Por otro lado, también se debe evaluar la posibilidad de implementar sitios de aprovisionamiento hídrico que en época de invierno proporcionen un soporte para el control de posibles incendios en épocas de verano.
- Las acciones tendientes a crear conciencia forestal mediante la educación y charlas de prevención, incentivan en las personas un carácter conservacionista y protector, esto se facilita mediante la utilización de los diferentes medios de comunicación.
- Dadas las características de la cobertura vegetal, la presencia de hojas, tallos y helechos secos, contribuyen a la ocurrencia de incendios forestales, se recomienda realizar la remoción de dichos productos vegetales secos, de las zonas catalogadas en amenaza Alta.

- Es importante considerar la instalación de mecanismos de monitoreo en las zonas que presentan recurrencia de incendios, con el fin de generar una correcta estrategia comunitaria de respuesta a la emergencia.
- Se recomienda de igual manera, controlar la limpieza de los pastos en las zonas rurales a través de semovientes u otros mecanismos con el fin de evitar tener coberturas susceptibles a la conflagración.

A pesar de que no todas las actividades antrópicas relacionadas con la ocurrencia de incendios forestales se pueden corregir mediante la aplicación de programas de concientización o recomendaciones ingenieriles, se debe difundir la respectiva legislación a manera de prevención, así como de acciones correctivas o de sanciones para modificar este tipo de indisciplina o negligencia.

La prevención es muy importante para evitar los incendios; pero a veces, con más frecuencia de lo esperado, estos se producen, y entonces entran en juego los equipos de extinción para apagar el fuego. La cuenca del Río Juanambú, no cuenta con los establecimientos ni maquinaria necesaria para atender de forma rápida y eficaz algún tipo de conato o incendio, aspecto importante por el cual se deben evaluar, de igual forma, las posibilidades de implementar una entidad presta a la reducción y control para el peligro inmediato que han venido ocasionado estos eventos.

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

1.8.1 Resumen

Las avenidas torrenciales hacen referencia a crecientes súbitas ocasionadas generalmente por lluvias severas, y que por condiciones hidrometeorológicas de la cuenca se puede presentar flujo de agua con alto contenido de materiales de arrastre, con un gran potencial destructivo debido a su alta velocidad y abarca generalmente una limitada extensión de área. Sus características son: corta duración, pequeña extensión de área de influencia, alto caudal pico y flujo rápido generalmente causantes de daños importantes a la propiedad. Ocurren a causa de tormentas de alta intensidad, en áreas de altas pendientes en las cuencas y cobertura vegetal pobre y se ven afectadas de manera importante cuando el índice de infiltración se reduce por tormentas previas. Se pueden subdividir de acuerdo con el material de arrastre de la corriente.

A partir de la definición de los conceptos correspondientes para la evaluación de las avenidas torrenciales, se realizó la zonificación de la susceptibilidad ante eventos de avenidas torrenciales valorada por subcuencas y microcuencas abastecedoras dentro del área de estudio, en donde se determinó las zonas en categoría de amenaza y susceptibilidad alta, media y baja.

Para la obtención de los resultados se realizó inicialmente la valoración de los insumos requeridos para la zonificación de la susceptibilidad, la evaluación de la amenaza y la identificación de las necesidades

de información para el avance en el conocimiento de las avenidas torrenciales en la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.

1.8.2 Introduccion

La Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú está compuesta por cuerpos de agua lóticos (dentro de los que se destacan el cauce principal de los Ríos Juanambú, Pasto y San Bernardo) y drenajes sencillos que acompañan toda la cuenca (Quebradas).

En las regiones montañosas que conforman el área de estudio, en el sector noroeste del área de estudio, se presentan laderas escarpadas con tributarios de mediana y alta densidad, los cuales generan una erosión uniforme (rebajando las partes con mayor índice de relieve), y aportando progresivamente (ladera abajo) agua y sedimentos al cauce principal. Puntualmente, la red de drenaje presenta un drenaje dendrítico, con cambios locales en el régimen hidrográfico controlado por geofomas de ambiente estructural con drenajes estrechos y alargados.

Existen reportes de eventos de diferentes fuentes analizados anteriormente, dentro de dichas fuentes e reportan eventos de avenidas torrenciales para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú desde el año 1972 hasta el año 2013. Dichos eventos se encuentran en su mayoría asociados a zonas con altos grados de pendiente, conformando valles profundos en las corrientes hídricas de la zona media del río Juanambú.

1.8.3 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 del Río Juanambú.

El objetivo de dicho análisis fue el determinar mediante los índices de Melton y de variabilidad a eventos torrenciales (IVET) aquellas microcuencas en las cuales el caudal y su morfometría puede generar eventos torrenciales y por ende presentan una susceptibilidad alta y muy alta a eventos torrenciales. Su resultado se obtuvo mediante el índice de Melton se calculó para las microcuencas que conforman la cuenca alta del Río Juanambú clasificando la torrencialidad de cada una de ellas; este cálculo hace parte del mapa de microcuencas.

El índice de Melton se calculó para las subcuencas que conforman la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú clasificando la torrencialidad de cada una de ellas; este cálculo se realizó a nivel de subcuencas. Cabe resaltar que el índice de Melton debe ser calibrado para condiciones específicas (estudios detallados). Sin embargo, en este estudio los rangos de parámetros fueron aplicados de manera estimativa para las subcuencas de análisis teniendo clara las limitaciones debido a la falta de calibración de los mismos. Este índice de Melton junto con la longitud de la cuenca permite diferenciar entre cuencas susceptibles a flujos y crecientes de detritos respecto a aquellas susceptibles a inundación, siendo las primeras las susceptibles a eventos torrenciales. Para ello, se consideró como

microcuencas con categoría de susceptibilidad media y alta eran aquellas que presentaran un índice de Melton superior a 0,3 según la clasificación de Wilford et al (2004).

Hay que aclarar que este índice no fue diseñado para cuencas en zonas ecuatoriales; sin embargo, se utilizó como índice de torrencialidad. (Medellín, 2009). En el presente estudio, se realizaron ajustes a la fórmula inicial del índice de Melton, con el fin de utilizar la herramienta SIG y calcular valores más detallados a nivel de pixel; puntualmente se utilizó la variable tipo raster ACUENCA derivada del DEM dada su capacidad de medir el potencial de acumulación de aguas y su respectiva dirección en el contexto regional de la cuenca, mediante algoritmos intrínsecos del SIG. Para cada subcuenca se empleó la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de Melton} = (H \text{ max} - H \text{ min}) \times (\text{ACUENCA})^{-0.5}$$

Donde Hmax y Hmin son la cota de altura máxima y mínima de la subcuenca y ACUENCA, corresponde a la cantidad de agua que es capaz de recoger en el terreno en determinado pixel. Una subcuenca presenta torrencialidad cuando el índice de Melton presenta valores superiores a 0.3.

1. El índice de variabilidad a eventos torrenciales (IVET) se calculó en éste caso para las microcuencas abastecedoras y para las subcuencas hidrográficas. Dicho indicador se obtuvo en función de dos índices tal y como se muestra en la Tabla 34.

Tabla 34. Clasificación del índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales (IVET)

IVET	Índice Morfométrico				
	MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
MUY BAJA	baja	Baja	media	Alta	Alta
BAJA	baja	Media	Media	Alta	Muy Alta
MEDIA	Baja	Media	Alta	Alta	Muy Alta
ALTA	Media	Media	Alta	Muy Alta	Muy Alta
MUY ALTA	Media	Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta

Fuente: (IDEAM, 2013)

- 1.1. En primera instancia se calculó para cada unidad de estudio el índice morfométrico que se obtiene de la matriz de relaciones de categorías morfométrico donde se evalúa la densidad del drenaje, pendiente media y coeficiente de compacidad:

El índice morfométrico se calcula teniendo en cuenta la matriz de relaciones de categorías del índice morfométrico descritas por (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, s.f.) Para la metodología ERA. (Ver Tabla 35).

Tabla 35. Relaciones para categorías de índices morfométricos.

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

Fuente: Rivas & Soto, 2009 en IDEAM, (2013)

1.2. El segundo índice, de variabilidad, se obtuvo en función de la aplicación de los gráficos de duración de caudal (CDC). Donde se calcula mediante relaciones espaciales la variabilidad del caudal principal en un determinado tiempo, dicho valor se categoriza mediante la tabla de vulnerabilidad (Ver Tabla 36).

El índice de variabilidad (IV) se estima así:

$$IV = (\text{Log } Q_i - \text{Log } Q_f) / (\text{Log } X_i - \text{Log } X_f), \text{ donde,}$$

Q_i y Q_f = Dos caudales tomados de la curva de duración de caudales.

X_i y X_f = Porcentajes de tiempo en que se exceden los caudales Q_i y Q_f

Tabla 36. Categorización según el índice de variabilidad.

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

Fuente: (IDEAM, 2013)

2. El IVET es el resultado de una matriz de decisión entre la categorización del índice morfométrico y la categorización del índice de variabilidad.
3. Finalmente, para zonificar la susceptibilidad se utilizan pruebas lógicas de tipo OR en dónde se seleccionan microcuencas con clasificación de Wilford de flujos y creciente de detritos y zonas que presenten calificaciones de IVET medias, altas y muy altas.

1.8.4 Variables de susceptibilidad a avenidas torrenciales

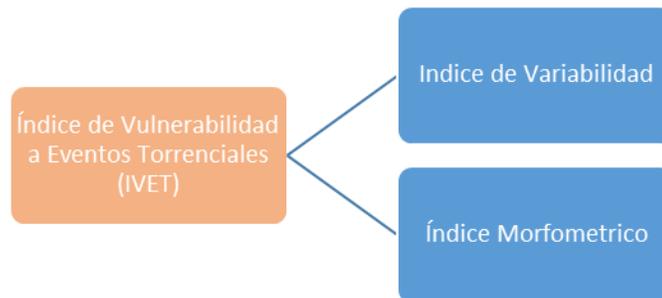
1.8.4.1 ÍNDICE DE VARIABILIDAD A EVENTOS TORRENCIALES (IVET)

Hace referencia al grado de susceptibilidad de una cuenca, o en este caso microcuencas y subcuencas, a presentar eventos torrenciales, su importancia radica en la influencia de la morfometría y los caudales en la existencia de un evento torrencial.

Formato: Vector

Fuente: Componentes morfometría, hidrología e hidrografía del Equipo Consorcio POMCA

Figura 58. Índices implícitos en el cálculo del índice de variabilidad a eventos torrenciales.



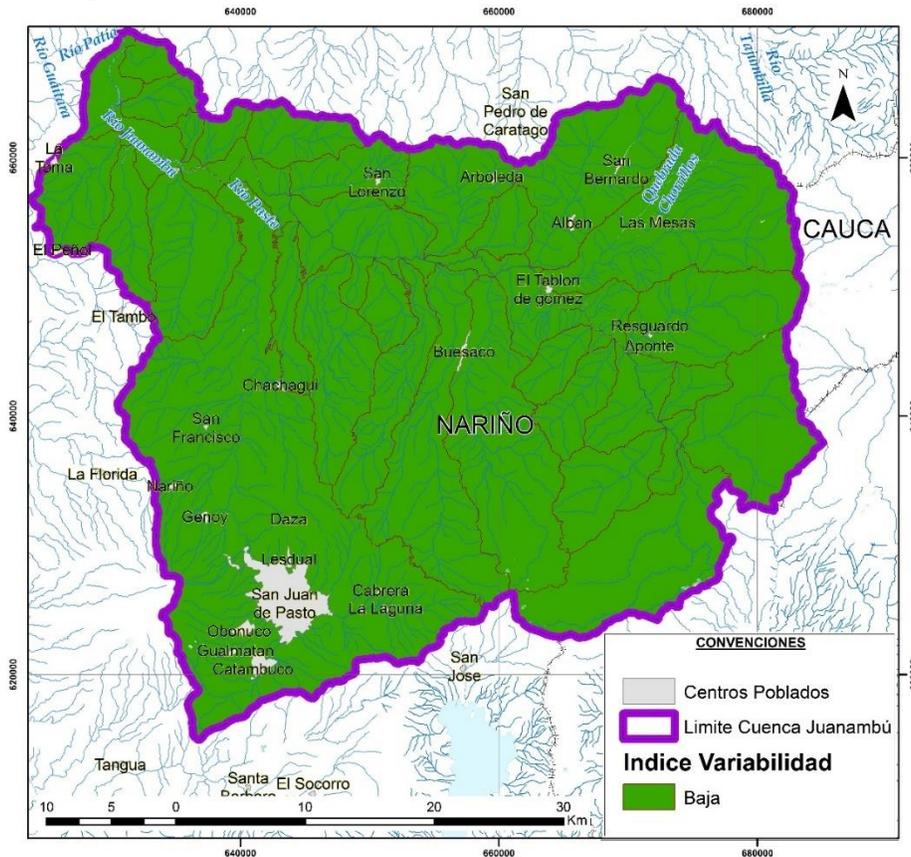
Fuente: IDEAM, 2013

Índice de Variabilidad

La Figura 59 muestra la categorización del índice de variabilidad para la Cuenca hidrográfica del Río Juanambú de acuerdo a los cambios registrados para los caudales y la diferencia de alturas. Los

valores más altos de este índice se presentan en el sector del cauce directo del río Juanambú entre las quebradas Charguayaco y Río Patía con valores de 28,23 sin embargo corresponde a la categoría más baja; por otro lado, se tiene el valor más bajo de 14,89 asociado a la subcuenca del río Negro en la misma categoría baja.

Figura 59. Índice de Variabilidad para Eventos Torrenciales.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Índice Morfométrico:

El índice morfométrico se calcula de acuerdo al comportamiento de tres variables principales dentro de la cuenca; se debe tener en cuenta para la determinación de este índice la geometría de la cuenca medida por el índice de compacidad, acompañado de la pendiente media de la subcuenca y por último la densidad de drenaje.

A continuación, se muestran los valores obtenidos junto con la categorización del índice:

Tabla 37. Índice morfométrico para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.

CODIGO U.H.	NOMBRE	DENSIDAD RED DE DRENAJE (KM/KM2)	PENDIENTE MEDIA (%)	COEFICIENTE DE COMPACIDAD (KC)		Categoría Índice Morfométrico.
204	Río Juanambú	3,432	20,33	1,52	Oval oblonga a rectangular	Muy Alta
520401	Dir.R.Juanambú entre Q. Charguayaco y R.Patía (m)	4,756	25,06	1,77	Rectangular - muy lobuladas	Muy Alta
520402	Quebrada Charguayaco	3,714	17,25	1,33	Oval redonda a oval oblonga	Alta
520403	Quebrada Saraconcho	3,814	25,18	1,66	Oval oblonga a rectangular	Muy Alta
520404	Quebrada La Ovejera	4,426	24,36	1,51	Oval oblonga a rectangular	Muy Alta
520405	Río Pasto	2,481	15,93	2,04	Rectangular - muy lobuladas	Moderada
520406	Río Buesaquito	3,171	19,08	2,32	Rectangular - muy lobuladas	Alta
520407	Río Negro	3,590	10,67	1,64	Oval oblonga a rectangular	Alta
520408	Río Cascabel	3,902	24,13	1,48	Oval redonda a oval oblonga	Muy Alta
520409	Río Aponte	4,237	24,86	1,39	Oval redonda a oval oblonga	Muy Alta
520410	Río Janacatu	4,018	21,80	1,67	Oval oblonga a rectangular	Muy Alta
520411	Río Quiña	3,622	21,36	1,48	Oval redonda a oval oblonga	Muy Alta
520412	Quebrada Mazamoras	3,826	23,22	1,42	Oval redonda a oval oblonga	Muy Alta
520413	Río San Lorenzo	3,758	23,55	1,59	Oval oblonga a rectangular	Muy Alta
520414	Quebrada Honda	2,811	25,05	1,55	Oval oblonga a rectangular	Alta
520415	Quebrada La Llana	3,055	26,31	1,43	Oval redonda a oval oblonga	Muy Alta
520416	Sin Toponimia 1	3,295	26,84	1,55	Oval oblonga a rectangular	Muy Alta
520417	Quebrada La Herradura O El Salado	3,709	23,68	1,40	Oval redonda a oval oblonga	Muy Alta
520418	Quebrada Hueco La Vega	3,737	16,54	1,29	Oval redonda a oval oblonga	Alta
520419	Dir.R.Juanambú entre Q.HuecoLaVega y R. Patía(mi)	1,746	31,56	1,25	Oval redonda a oval oblonga	Moderada
520420	Dir.R.Juanambú entre Q.Saraconcho y Q.Charguayaco(md)	5,741	8,30	1,15	Redonda a oval redonda	Alta
520421	Dir.R.Juanambú entre Q.Saraconcho y Q.LaOvejera(md)	6,132	26,10	1,58	Oval oblonga a rectangular	Muy Alta

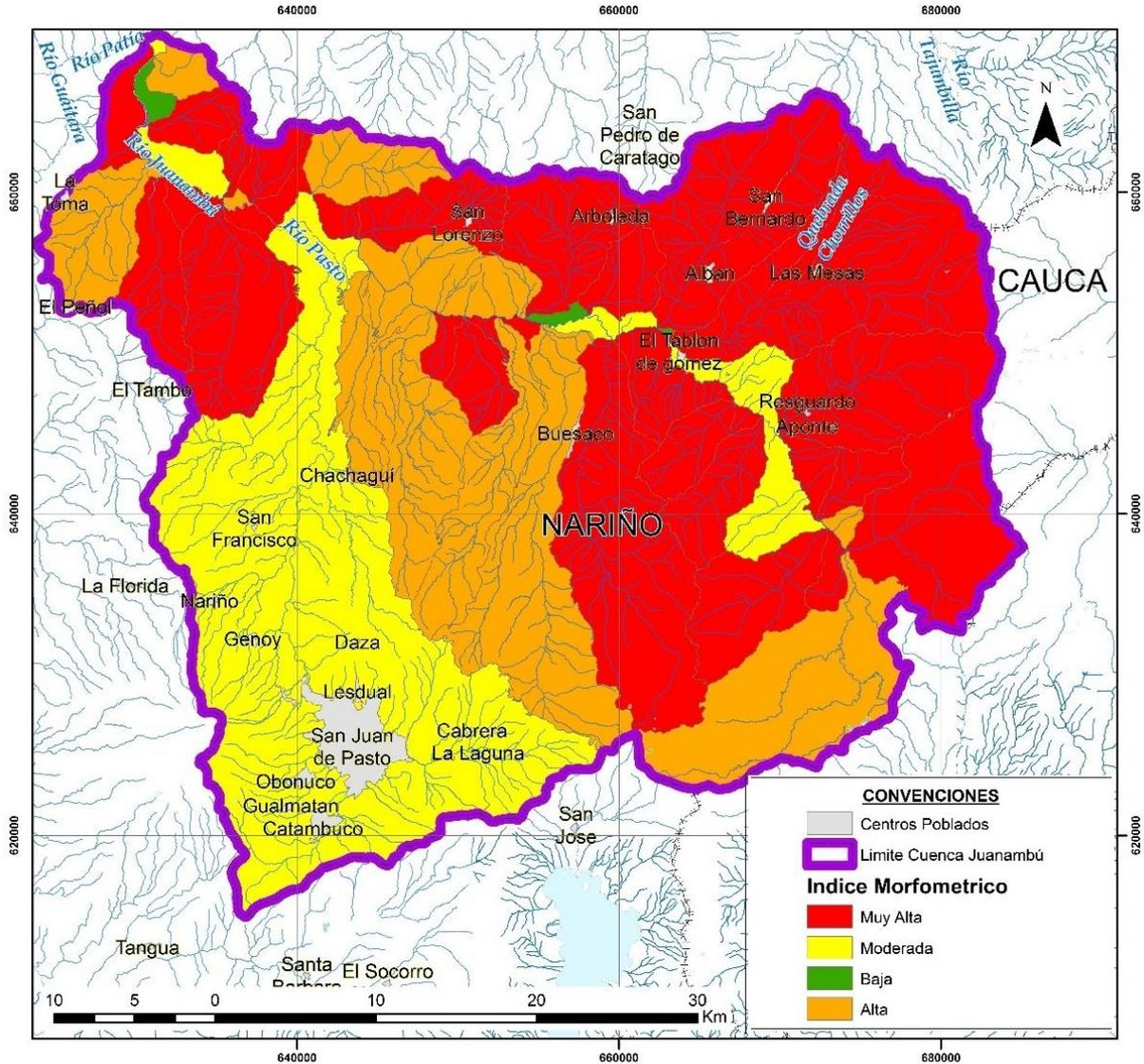
CODIGO U.H.	NOMBRE	DENSIDAD RED DE DRENAJE (KM/KM2)	PENDIENTE MEDIA (%)	COEFICIENTE DE COMPACIDAD (KC)		Categoría Índice Morfométrico.
520422	Dir.R.Juanambú entre R. Pasto y Q. La Ovejera (md)	3,495	31,17	1,47	Oval redonda a oval oblonga	Muy Alta
520423	Dir.R.Juanambú entre Q. La Toma y R. Pasto (md)	1,861	29,30	2,36	Rectangular - muy lobuladas	Moderada
520424	Quebrada La Toma	4,148	13,54	2,55	Rectangular - muy lobuladas	Alta
520425	Río El Salado	3,294	18,72	1,73	Oval oblonga a rectangular	Alta
520426	Quebrada Tongosoy O Meneses	3,267	18,50	2,25	Rectangular - muy lobuladas	Alta
520427	Río Isagui O Tasajera	3,797	20,98	1,88	Rectangular - muy lobuladas	Muy Alta
520428	Quebrada El Tambillo	4,560	24,43	1,60	Oval oblonga a rectangular	Muy Alta
520429	Dir.R.Juanambú entre R. Negro y Q. ElTambillo (md)	5,411	21,95	1,51	Oval oblonga a rectangular	Muy Alta
520430	Dir.R.Juanambú entre R.Cascabel yQ.Guaracayaco(mi)	2,020	29,83	1,40	Oval redonda a oval oblonga	Alta
520431	Quebrada Guaracayaco	4,691	27,82	1,51	Oval oblonga a rectangular	Muy Alta
520432	Dir.R.Juanambú entre Q.Guaracayaco y R.Aponte (mi)	5,888	27,68	1,54	Oval oblonga a rectangular	Muy Alta
520433	Dir.R.Juanambú entre R.Aponte y R.Janacatu (mi)	2,416	24,64	1,87	Rectangular - muy lobuladas	Moderada
520434	Dir.R.Juanambú entre R.Janacatu y R.Quiña (mi)	0,000	24,06	1,53	Oval oblonga a rectangular	Baja
520435	Dir.R.Juanambú entre R.Quiña y Q. San Pedro (mi)	1,708	24,54	1,88	Rectangular - muy lobuladas	Moderada
520436	Quebrada San Pedro	3,667	23,35	1,45	Oval redonda a oval oblonga	Muy Alta
520437	Dir.R.Juanambú entre Q.San Pedro yQ.Mazamorras(mi)	1,412	21,68	1,79	Rectangular - muy lobuladas	Baja
520438	Dir.R.Juanambú entre Q.MazamorrasyR.SanLorenzo(mi)	2,858	26,84	1,50	Oval redonda a oval oblonga	Alta
520439	Dir.R.Juanambú entre R.SanLorenzo y Q. Honda(mi)	4,838	30,62	1,33	Oval redonda a oval oblonga	Muy Alta
520440	Dir.R.Juanambú entre Q. Honda y Q. La Llana (mi)	3,403	31,07	1,55	Oval oblonga a rectangular	Muy Alta
520441	Dir.R.Juanambú entre Q.LaLlana y SinToponimia1 (mi)	2,564	31,79	1,47	Oval redonda a oval oblonga	Alta
520442	Dir.R.JuanambúentreSinToponimia1yQ.LaHerradura(mi)	1,678	25,49	1,67	Oval oblonga a rectangular	Moderada
520443	Dir.R.JuanambúentreQ.LaHerradurayQ.HuecoLaVega(mi)	1,353	22,72	1,74	Oval oblonga a rectangular	Baja
520444	Dir.R.Juanambú entre R.ElSalado y Q. La Toma (md)	5,391	17,63	1,95	Rectangular - muy lobuladas	Alta

CODIGO U.H.	NOMBRE	DENSIDAD RED DE DRENAJE (KM/KM2)	PENDIENTE MEDIA (%)	COEFICIENTE DE COMPACIDAD (KC)		Categoría Índice Morfométrico.
520445	Dir.R.Juanambú entre Q.ElSalado y R.ElSalado(md)	4,679	25,06	1,50	Oval redonda a oval oblonga	Muy Alta
520446	Quebrada El Salado O Las Palmas	5,887	21,98	1,49	Oval redonda a oval oblonga	Muy Alta
520447	Dir.R.Juanambú entre Q.Tongosoy y Q.ElSalado(md)	4,637	20,31	2,01	Rectangular - muy lobuladas	Muy Alta
520448	Dir.R.Juanambú entre R.Buesaquito y Q.Tongosoy(md)	4,746	24,24	1,69	Oval oblonga a rectangular	Muy Alta
520449	Dir.R.Juanambú entre R.Isagui y R.Buesaquito (md)	1,759	25,66	2,06	Rectangular - muy lobuladas	Moderada
520450	Dir.R.Juanambú entre Q.Saraconchay R.Isagui (md)	3,146	22,65	1,54	Oval oblonga a rectangular	Muy Alta
520451	Quebrada Saraconcha	4,348	25,75	1,33	Oval redonda a oval oblonga	Muy Alta
520452	Quebrada San Eugenio O San Pablo	3,503	26,29	1,61	Oval oblonga a rectangular	Muy Alta
520453	Dir.R.Juanambú entre Q.ElTambillo y Q.SanEugenio(md)	2,020	27,72	1,64	Oval oblonga a rectangular	Moderada
520454	Dir.R.Juanambú entre Q.Saraconchay Q.SanEugenio(md)	3,538	25,45	1,48	Oval redonda a oval oblonga	Muy Alta

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Según la **Tabla 37** se establece 30 subcuencas en categoría muy alta, 13 cuencas en categoría alta, 8 subcuencas en categoría moderada y 3 en categoría baja. Las subcuencas que se registran la mayor densidad de drenaje se agrupan en las categorías altas y muy altas; de igual forma las subcuencas con mayores pendientes fueron categorizadas como muy alta, alta y modera: finalmente el comportamiento del índice de compacidad que refiere a la geometría de la subcuenca, no parece tener un patrón de comportamiento en relación a las demás variables que influyen en la determinación del índice morfométrico (Ver Figura 60).

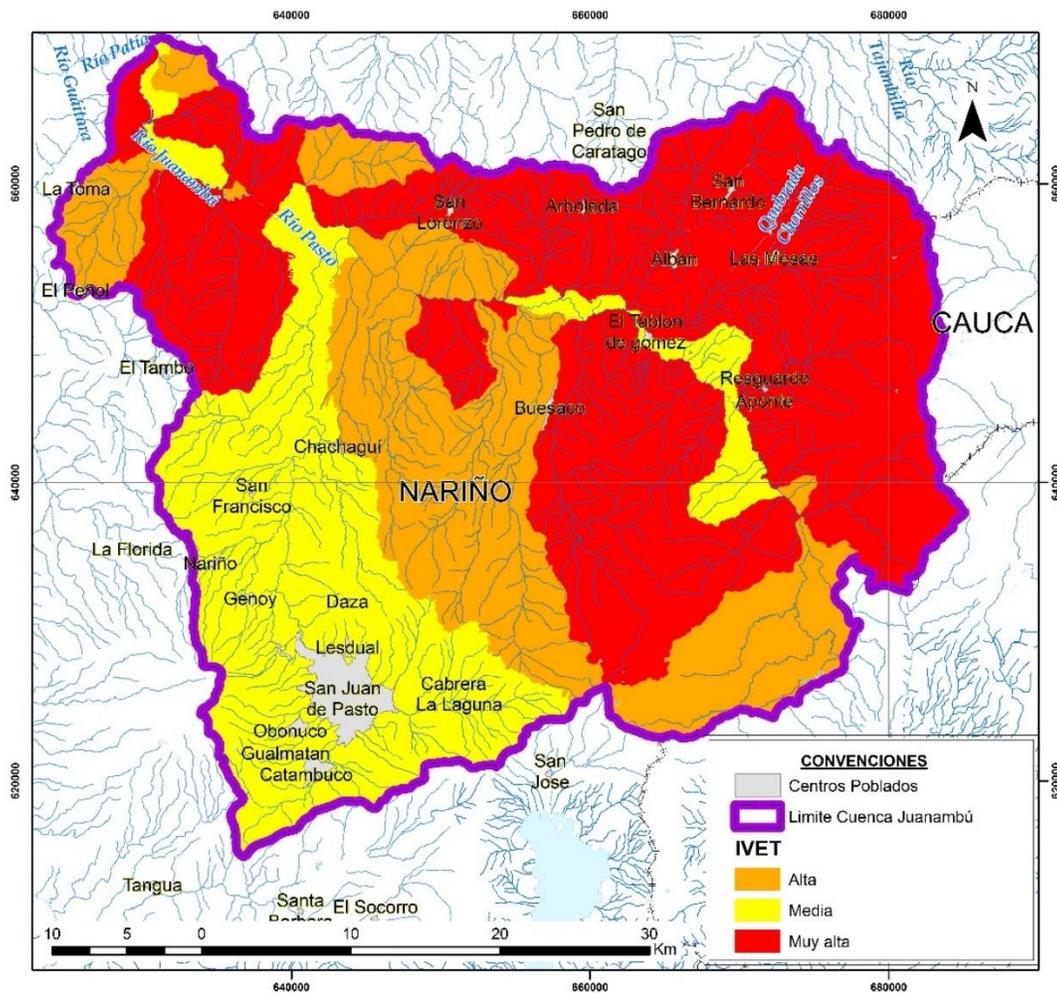
Figura 60. Índice Morfométrico para avenidas torrenciales.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Una vez determinados los índices de variabilidad y morfométricos para cada una de las subcuencas que componen la cuenca hidrográfica del Río Juanambú, se establece el valor del IVET teniendo en cuenta la matriz de decisión anteriormente establecida. Dicho cruce categoriza la cuenca en zonas de vulnerabilidad muy alta, alta y media como lo muestra la Figura 61.

Figura 61. Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales.

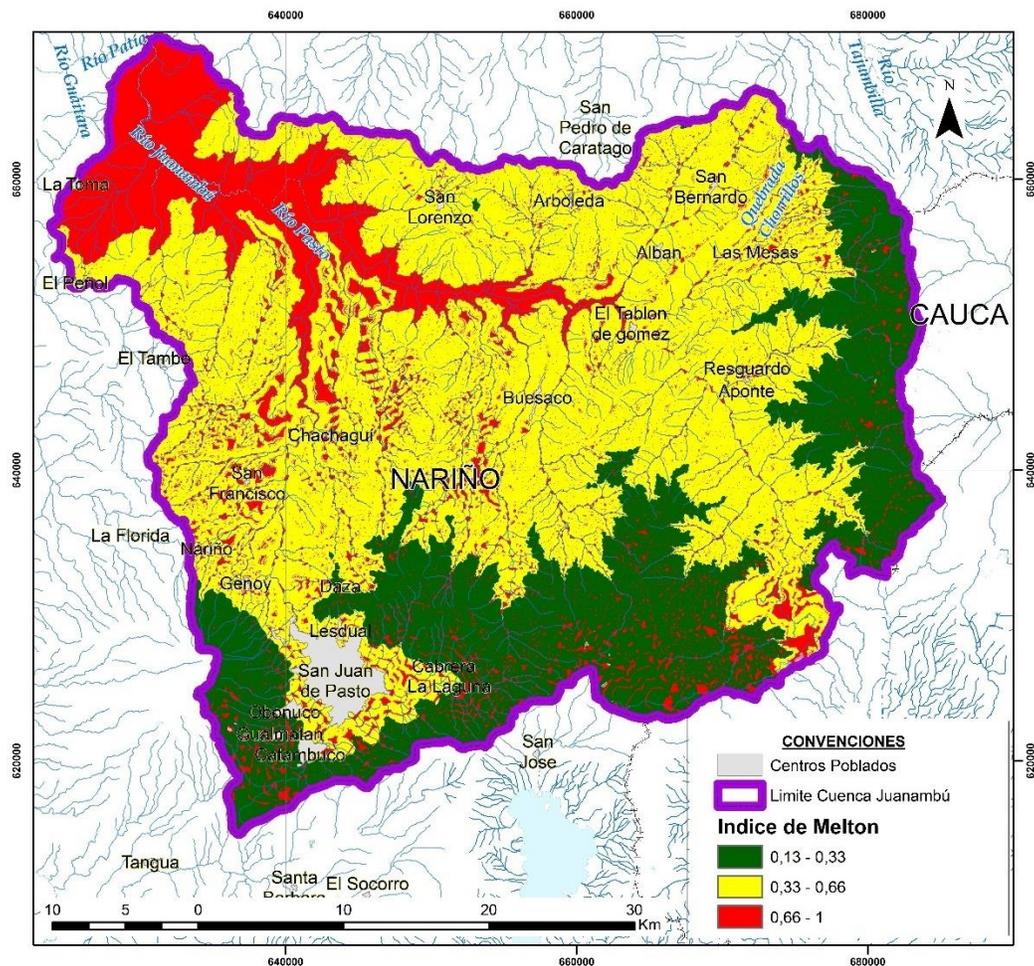


Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.8.4.2 ÍNDICE DE MELTON (IM)

Hace referencia al grado de susceptibilidad de una cuenca, o en este caso microcuencas, a presentar eventos torrenciales, su importancia radica en la influencia de la morfometría en la existencia de un evento torrencial (Ver Figura 62).

Figura 62. Índice de Melton para avenidas torrenciales.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

El cálculo del índice de melton permitió tipificar el flujo eventual, a lo largo de la cuenca Hidrográfica del Rio Juanambú. El resultado del índice de Melton, muestra los menores valores y susceptibilidades a avenidas torrenciales en el sector sur este de la cuenca donde predomina la categoría baja; la mayor parte del área de estudio, se encuentra categorizada como susceptibilidad media. La categoría alta se encuentra localizada en la zona baja del rio Juanambú y sus principales afluentes, principalmente en los sectores de mayor pendiente

Formato: Vector

Fuente: Componentes morfometría, hidrología e hidrografía del Equipo Consorcio POMCA

1.8.4.3 ANALISIS GEOMORFOLOGICO (IM)

De acuerdo a la bibliografía existente, algunos de los principales factores que favorecen la ocurrencia de las avenidas torrenciales son las características geomorfológicas tales como la morfometria y la

morfodinamica, teniendo como referencia que este fenómeno natural se genera en cuencas con grandes diferencias de pendiente junto a grandes caudales.

Las unidades geomorfológicas establecidas en la línea base del estudio, permiten determinar zonas donde la probabilidad de ocurrencia de una avenida torrencial pueda ser más alta; en las geoformas asociadas a flujos o abanicos fluviales, se pueden asociar fenómenos de avenidas torrenciales. Adicionalmente, se generan en zonas montañosas, escarpadas y de piedemonte, en donde se configuren notorios cambios de la pendiente del cauce. En Colombia las regiones más propensas sufrir este fenómeno se hallan en la región Andina, en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta y en la parte media del Piedemonte Llanero. A nivel más local, la torrencialidad es común en frentes donde predomina la erosión sobre la sedimentación, en cañones en “V” y morfologías que configuren relieves abruptos (Ver Figura 63).

Figura 63. Valle en V, con actividad erosiva sobre una ladera en la cuenca hidrográfica del río Juanambú. Se evidencia el aporte de material al cauce, aumentando su densidad y su energía.

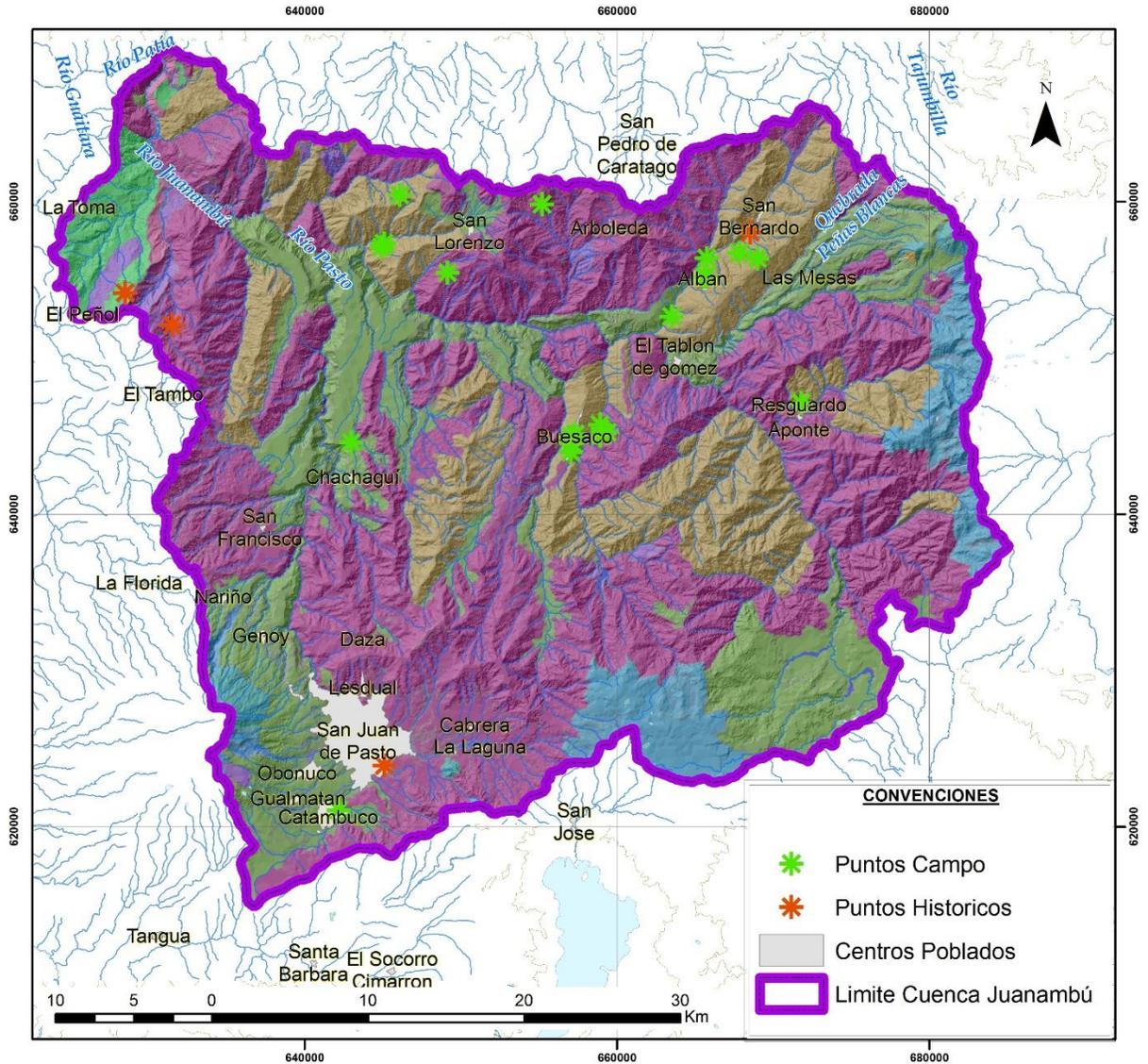


Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Para la identificación y caracterización de las áreas del territorio susceptibles a avenidas torrenciales se revisan principalmente geoformas como abanicos torrenciales, planicies de inundación, terrazas fluvio-torrenciales, flujo de tierra, flujo de detritos, flujo de lodo, Alud (lava) torrencial, y zonas de avulsión o pérdida de confinamiento, además de canales por donde se puedan transportar flujos desde movimientos en masa (Ver Figura 64).

Figura 64. Unidades geomorfológicas en función de la ocurrencia de avenidas torrenciales.

UNIDADES GEOMORFOLOGICAS FRENTE A AVENIDAS TORRENCIALES



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Durante los trabajos realizados en campo, se pudo evidenciar que, en ciertas zonas de la cuenca, existen condiciones favorables para la ocurrencia de avenidas torrenciales. Algunas de las características que favorecen la ocurrencia de este fenómeno, es la alta actividad erosiva en laderas de alta pendiente en cercanía a cauces aluviales. Es así como a partir del material aportado por las actividades erosivas en las laderas y la energía de la corriente dada por los cambios de altura, se tiene una avenida torrencial (Ver Figura 65).

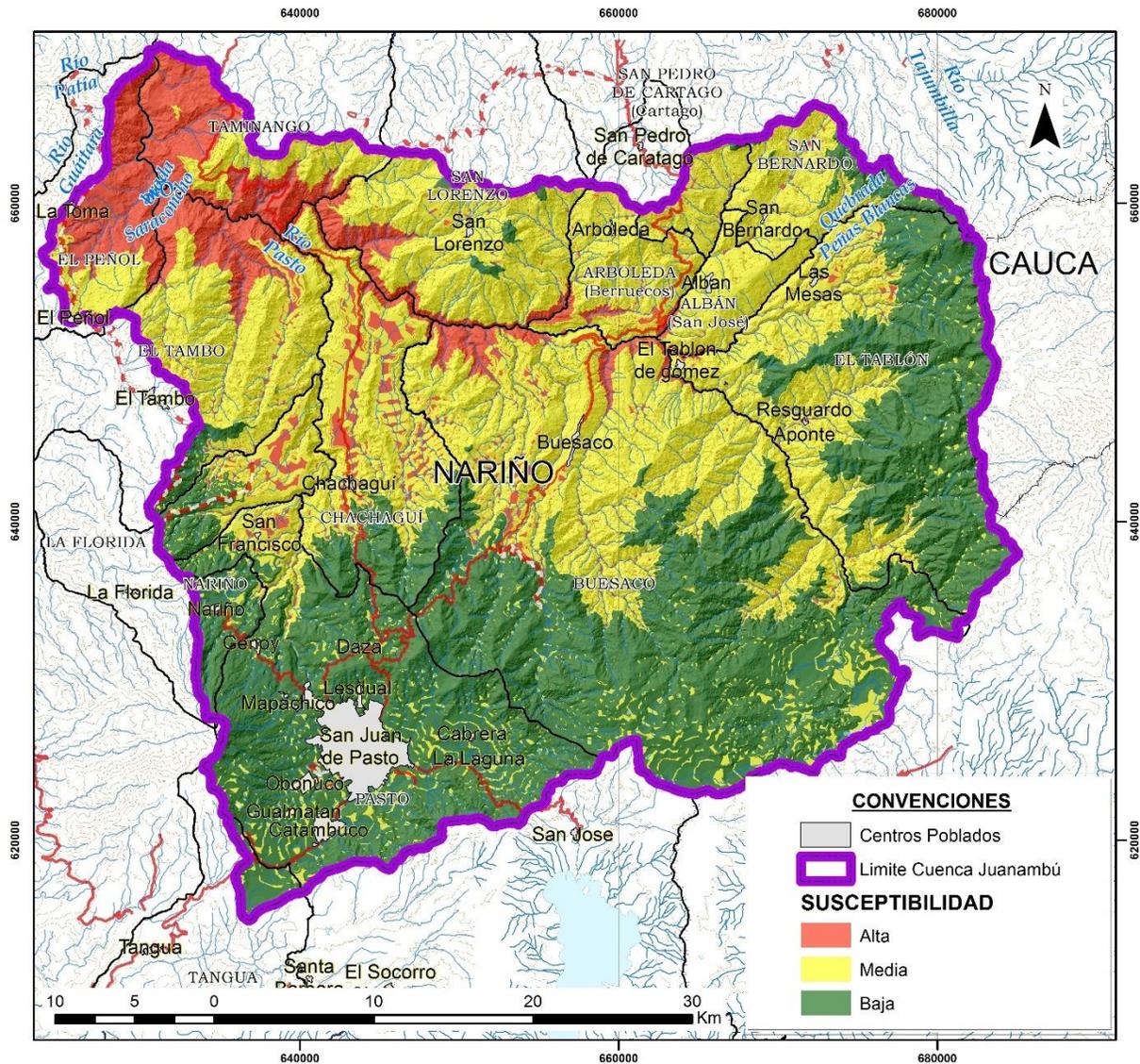
Figura 65. Material fluvio-torrencial, aportado a un cauce aluvial de un afluente del Rio Juanambú.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.8.5 Análisis de la zonificación de la susceptibilidad a avenidas torrenciales

Figura 66. Susceptibilidad a eventos torrenciales para la Cuenca hidrográfica del río Juanambú.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el índice de melton, junto a las clasificaciones determinadas del IVET, se obtiene el mapa de susceptibilidad a avenidas torrenciales dentro de la cuenca hidrográfica del Río Juanambú tal y como se observa en la Figura 66, cabe resaltar que predomina el valor del índice de Melton, dado que permite determinar un valor para cada pixel dentro de las capas tipo ráster, mientras que los datos para el IVET hacen referencia a un valor para toda una subcuenca.

Las zonas con mayor susceptibilidad a avenidas torrenciales se concentran en la zona noroeste del área de estudio donde se presenta los valles más pronunciados del cauce principal del río Juanambú en el sector limítrofe de los municipios

La Tabla 38 muestra las categorías de las subcuencas de acuerdo a su susceptibilidad a Avenidas Torrenciales.

Tabla 38. Subcuencas con susceptibilidad a Avenidas Torrenciales.

Susceptibilidad a Avenidas Torrenciales	Subcuencas	IVET	Índice de Melton
	Q. Charguayaco	Alta	Media – Alta
	Q. El Salado o las Palmas	Muy alta	Media – Alta
	R. El Tambillo	Muy Alta	Baja – Media
	R. Guaracayaco	Muy Alta	Baja – Media
	Q. Honda	Alta	Media – Alta
	Q. Hueco la Vega	Alta	Alta
	Q. La Herradura	Muy Alta	Alta – Media
	Q. La Llana	Muy Alta	Media – Alta
	Q. La Ovejera	Muy Alta	Media – Alta
	Q. La Toma	Alta	Media – Alta
	Q. Mazamorras	Muy Alta	Media – Alta
	Q. San Eugenio o San Pablo	Muy Alta	Baja – Media
	Q. San Pedro	Muy Alta	Media
	Q. Saraconcha	Muy Alta	Media
	Q. Saraconcho	Muy Alta	Media- Alta
	Q. Tongosoy o Meneses	Alta	Baja – Media
	Q. Aponte	Muy Alta	Baja – Media
	Q. Buesaquillo	Alta	Baja – Media
	Q. Cascabel	Muy Alta	Baja – Media
	Q. El Salado	Alta	Baja – Media
	Q. Isagui o Tasajera	Muy Alta	Media
	R. Janacatu	Muy Alta	Baja – Media
	R. Negro	Alta	Baja – Media
	R. Pasto	Media	Baja – Media
	R. Quiña	Muy Alta	Media
	R. San Lorenzo	Muy Alta	Media – Alta
	R. Juanambú entre Q. Charguayaco y R. Patía (md)	Muy Alta	Alta
	R. Juanambú entre R. Negro y Q. El Tambillo (md)	Muy Alta	Media
	R. Juanambú entre R. Cascabel y Q. Guaracayaco (mi)	Alta	Media
	R. Juanambú entre Q. Guaracayaco y R. Aponte (mi)	Muy Alta	Baja – Media
	R. Juanambú entre Q. El Tambillo y Q. San Eugenio (md)	Media	Baja – Media
	R. Juanambú entre Q. Saraconcha y Q. San Eugenio (md)	Muy Alta	Media

Susceptibilidad a Avenidas Torrenciales	Subcuencas	IVET	Índice de Melton
	R. Juanambú entre R. Aponte y R. Janacatu (mi)	Media	Media
	R. Juanambú entre R. Janacatu y R. Quiña (mi)	Media	Media – Alta
	R. Juanambú entre Q. Saraconcha y R. Isagui (md)	Muy Alta	Media – Alta
	R. Juanambú entre R. Quiña y Q. San Pedro (mi)	Media	Alta
	R. Juanambú entre R. Isagui y R. Buesaquito (md)	Media	Media – Alta
	R. Juanambú entre Q. San Pedro y Q. Mazamorras (mi)	Media	Alta – Media
	R. Juanambú entre R. Buesaquito y Q. Tongoy (md)	Muy Alta	Alta – Media
	R. Juanambú entre Q. Tongosoy y Q. El Salado (md)	Muy Alta	Alta – Media
	R. Juanambú entre Q. El Salado y R. El Salado (md)	Muy Alta	Alta – Media
	R. Juanambú entre R. El Salado y Q. La Toma (md)	Alta	Media – Alta
	R. Juanambú entre Q. Mazamorras y R. San Lorenzo (mi)	Alta	Alta – Media
	R. Juanambú entre R. San Lorenzo y Q. Honda (mi)	Muy Alta	Alta – Media
	R. Juanambú entre Q. La Toma y R. Pasto (md)	Media	Alta
	R. Juanambú entre Q. La Honda y Q. La Llana (mi)	Muy Alta	Alta- Media
	R. Juanambú entre Q. La Llana (mi)	Alta	Alta – Media
	R. Juanambú entre R. Pasto y Q. La Ovejera (md)	Muy Alta	Alta
	R. Juanambú entre Q. Saraconcho y Q. La Ovejera (md)	Muy Alta	Alta – Media
	R. Juanambú entre Q. Saraconcho y Q. Charaguayaco (md)	Alta	Alta
	R. Juanambú entre Q. La Herradura (mi)	Media	Alta
	R. Juanambú entre Q. La Herradura y Q. Hueco la Vega (mi)	Media	Alta
	R. Juanambú entre Q. Hueco La Vega y R. Patía (mi)	Media	Alta - Media

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

La clasificación por Subcuencas se ubica en su mayoría en zonas de susceptibilidad media con un 46% (96349,6777 Ha) con respecto al área total de la cuenca y baja con 43% (90066 Ha) como se puede apreciar en la figura anterior. Hacia la parte nororiental se presentan algunas Subcuencas con susceptibilidad Alta a Avenidas Torrenciales como: Q. Chaguayaco, Q. La Herradura, Q. La Llana, Q. La Ovejera, Q. La Toma, Q. Saraconcho, Q. Isagui o Tasajera, R. Pasto, R. Quiña, R. San Lorenzo

y algunos puntos donde el Río Juanambú se cruza con quebradas, ya que se encuentran cerca de un cauce principal (Río Juanambú) y se presentan diferentes impactos por movimientos en masa, sumado al factor que por geoformas como conos aluviales se presentan laderas que contribuyen a un fenómeno por avenidas torrenciales. Por último, se obtuvo un porcentaje de susceptibilidad alta de 11% (23040,1403 Ha) con respecto al área total de la cuenca.

1.8.5.1 VALIDACIÓN DE LA FUNCIÓN Y MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD PARA AVENIDAS TORRENCIALES

La validación de la función corresponde a la generación de una nueva malla regular sin los valores de celda susceptibles a avenidas torrenciales tomados y obtenidos mediante el geoprocesamiento. Con el restante de eventos de avenidas torrenciales, se hará la validación, los puntos serán objeto de agrupación por cada uno de los niveles de susceptibilidad y con la cantidad de eventos por rango, obtendremos el índice de fiabilidad, expresado de la siguiente forma:

$$\text{Índice de fiabilidad} = \frac{(n/N)}{\Sigma(n/N)} * 100$$

Siendo n el número de eventos y N el número de celdas de una categoría de susceptibilidad, como segundo factor se encuentra $\Sigma (n/N)$ definida como la suma de todos los niveles de susceptibilidad, finalmente serán multiplicados por 100 para manejar los valores como porcentajes. Los valores más altos de este índice implicarán a categorías de susceptibilidad con gran cantidad de deslizamientos en el escenario.

Del mismo modo se realiza una validación del modelo, teniendo en cuenta la cantidad de puntos que se encuentran asociados a cada una de las zonificaciones realizadas, en función del número total de eventos reportados.

Para la susceptibilidad de avenidas torrenciales se planteó la siguiente tabla mostrando tanto el coeficiente de confiabilidad como la verificación por puntos tal y como se observa en la Tabla 39.

Tabla 39. Tabla de comparación de Coeficiente de fiabilidad y verificación de puntos para avenidas torrenciales en la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.

Susceptibilidad	Nº de Puntos	Nº de celdas	Coeficiente de fiabilidad	Verificación por puntos
Alta	1	3272693	18,586372	5,555556
Media	16	3272693	76,113204	88,888889
Baja	1	3272693	5,300424	5,555556

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

De acuerdo a lo expuesto en la tabla la cuenca presenta una susceptibilidad media para avenidas torrenciales donde se obtuvo para el coeficiente de fiabilidad un 76%, comparado con la verificación de puntos que arroja 88,88 se muestra que el modelo es altamente confiable. La verificación por puntos y el coeficiente de fiabilidad para calificaciones altas y bajas tienen los mismos valores en cantidades inferiores, lo que muestra que la cuenca es susceptible a este tipo de amenaza por su hidrografía y el factor de movimientos en masa.

1.8.6 Descripción metodológica para obtener amenaza por avenidas torrenciales

La zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales se realizó a partir del grado de sedimentación que presenta cada unidad de estudio, ya que el material producido podría convertirse en el aportado dentro de una avenida torrencial, limitando la zona de estudio por medio de su pendiente de quiebre permitiendo identificar hasta donde se desplazaría el material transportado. La zonificación de la amenaza se efectuó en los siguientes pasos:

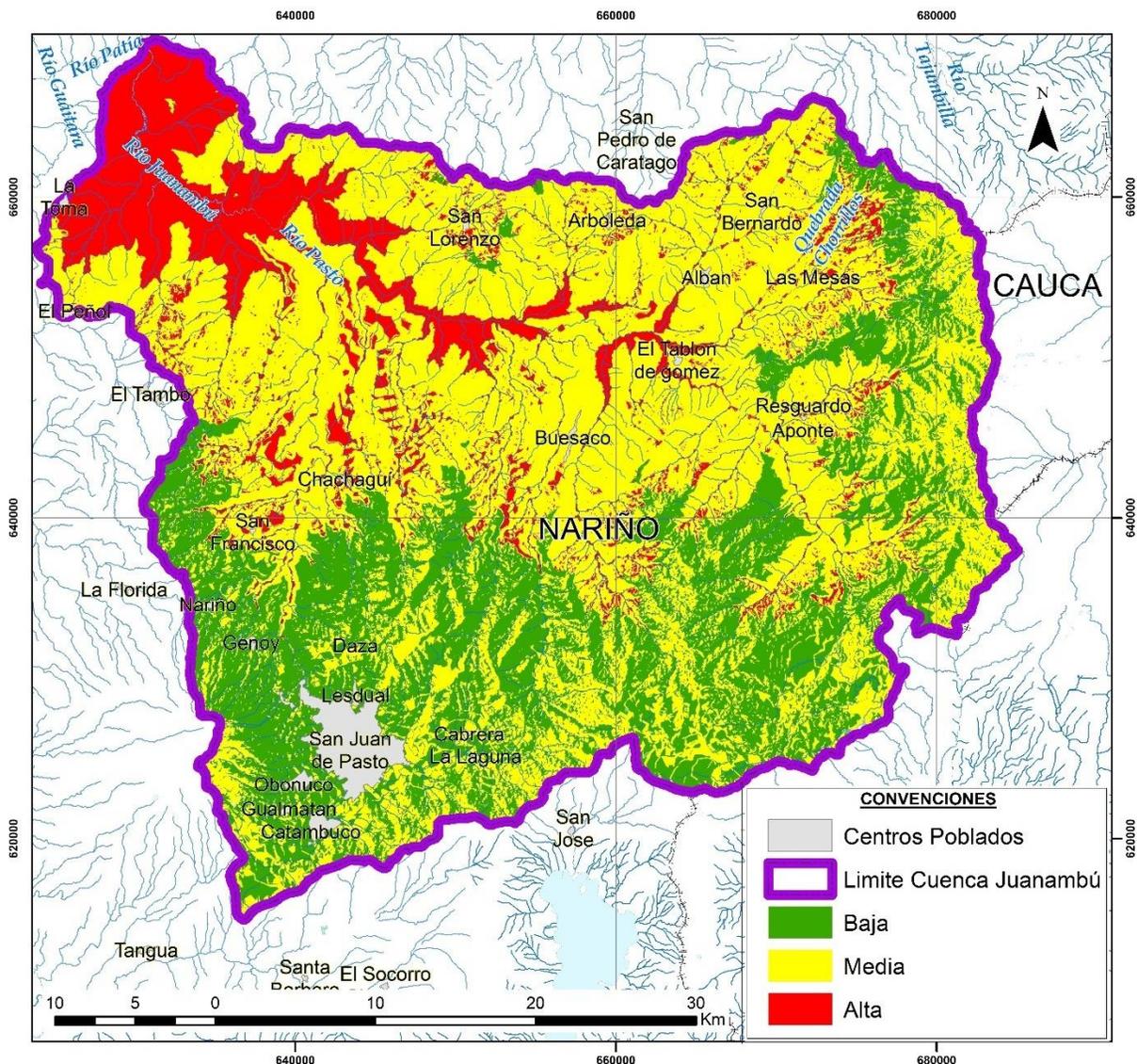
1. Se calificaron los drenajes que conforman las susceptibles a eventos torrenciales se calificó según la zonificación de la amenaza por movimientos en masa, como factor que permite identificar la existencia de carga de sedimentación que podía contribuir a la ocurrencia del fenómeno estudiado, considerándose dentro del modelo que la alta posibilidad de ocurrencia de movimientos en masa dentro de cuencas con morfometría torrencial es directamente proporcional a la amenaza generada por una avenida torrencial (los movimientos en masa es considerado como factor detonante de este fenómeno).

2. No se contempla dentro del modelo como factor detonante las precipitaciones ya que esta variable es involucrada dentro del cálculo del índice de variabilidad; un caudal torrencial es producido por una lluvia torrencial o por la obstrucción de este como consecuencia de los procesos de generación de sedimentos, para el primer caso el índice de variabilidad mide dicho cambio a través de la medición de caudales directos por estaciones meteorológicas o por medio del modelo de lluvia – caudal, de forma que se involucra indirectamente las precipitación de forma indirecta dentro de la zonificación.

1.8.7 Análisis de la zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales

En términos generales la cuenca presenta una zonificación de amenaza para avenidas torrenciales donde la mayor parte está calificada como media con un porcentaje de 58% (121484,3762 Ha) frente a la totalidad del área de la cuenca, calificación baja con un 36% (75404,0956 Ha) y por último la calificación de amenaza alta con 6%, (12567,3492 Ha) que presenta un patrón que va de NE a SW iniciando en el Río Juanambú y extendiéndose por los límites de los municipios Taminago, San Lorenzo, Buesaco, Arboleda y Chachagüí. Cada uno de los drenajes que conforman las subcuencas susceptibles a eventos torrenciales se calificó según la zonificación de la amenaza por movimientos en masa, como factor que permite identificar la existencia de carga de sedimentación que podía contribuir a la ocurrencia del fenómeno estudiado y la condición de pendiente evalúa hasta donde podría haber energía para el transporte del material torrencial generado en cuencas con morfometría torrencial como se observa en la Figura 67.

Figura 67. Amenaza por avenidas torrenciales.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

A continuación en la Tabla 40 se muestra la comparación de coeficiente de fiabilidad y verificación por puntos para avenidas torrenciales en la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.

Tabla 40. Comparación de coeficiente de fiabilidad y verificación por puntos para avenidas torrenciales en la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.

Amenaza	Nº de Puntos	Nº de celdas	Coefficiente de fiabilidad	Verificación por puntos
Alta	18	14542518	41,113333	14,285714
Media	18	14542518	52,369899	80,952381
Baja	18	14542518	6,516768	4,761905

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Las áreas con una amenaza media se encuentran distribuidas de sur a norte bordeando las zonas de alta amenaza, siguiendo el patrón del drenaje de la cuenca. Las zonas con una baja amenaza a

avenidas torrenciales, son las áreas del territorio que se encuentran ubicadas en los bordes sur, este y oeste de la cuenca, donde se ubican a su vez los altos topográficos del territorio.

1.8.8 Recomendaciones e Identificación de Necesidades de Información

Recomendaciones Finales:

De acuerdo a los resultados obtenidos en el modelamiento final de la amenaza para avenidas torrenciales, fueron identificadas las siguientes falencias y las siguientes necesidades de profundizar en el conocimiento de la amenaza.

- Con el fin de tener un mejor monitoreo de las variaciones en los caudales de las zonas catalogadas con amenaza alta y media, es necesario tener un monitoreo constante de los niveles de energía que llevan los afluentes anteriormente mencionados.
- Es importante complementar las bases de datos existente de los registros de avenidas torrenciales presentadas en el área de estudio; por lo tanto se sugiere desarrollar un sistema de registro completo de los eventos amenazantes por inundaciones y avenidas torrenciales que pueda dar información técnica del lugar y la causa de los eventos. Este sistema debe incluir información como: localización, origen del evento (antrópico, como por ejemplo rompimiento de represas, natural como por ejemplo aumento de las precipitaciones), procesos desencadenantes, zonas afectadas, duración del evento, etc.
- De igual manera se recomienda realizar estudios a escala detallada (1:2.000) de avenidas torrenciales en las zonas de amenaza alta, en donde se debe incluir topografía, cobertura de suelos, toma de datos de caudales. Adicionalmente es importante hacer una verificación en algunos cauces activos para saber si estos cuentan con estructuras de mitigación (como gaviones, muros, etc...) que protejan a centros poblados que están junto a los márgenes de los principales drenajes de eventos de inundación y avenidas torrenciales.

Es necesario generar espacios sociales en conjunto con las alcaldías municipales y entes territoriales, para socializar estas amenazas con las comunidades, y de esta manera involucrar a todos los actores en los procesos de planes de manejo ambiental de cuencas, acerca de los contribuyentes y detonantes, tanto antrópicos como naturales, que pueden desencadenarlas.

1.9 IDENTIFICACIÓN, CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FENÓMENOS AMENAZANTES Y EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR EVENTOS VOLCÁNICOS, TSUNAMIS, DESERTIZACIÓN Y EROSIÓN COSTERA

Históricamente para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú no se tienen reportes por amenazas de erosión costera, ni tsunamis y por lo tanto su análisis no se consideró en el presente documento.

La Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú, presenta una amenaza evidente por eventos volcánicos, debido a su configuración y localización geográfica cercana a estos, y se evidencian fenómenos amenazantes de los Complejos Volcánicos del Galeras y Doña Juana.

El concepto de amenaza, de acuerdo a la ley 1523 de 2012, es: “El peligro latente de un evento físico de origen natural [en este caso, volcánico] [...] se presente con la severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdida en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y recursos ambientales” (Congreso de Colombia, 2012). En el caso de los volcanes Galeras y Doña Juana se considera una amenaza activa puesto que tienen un comportamiento predominantemente explosivo y con actividad eruptiva intermitente.

Para la Cuenca del Río Juanambú, la cual se encuentra en el departamento de Nariño, instituciones gubernamentales como el Servicio Geológico Colombiano (SGC) han realizado estudios diagnósticos que tienen en cuenta como principal amenaza el cráter principal del cono activo del volcán (tanto para el complejo volcánico del Galeras como el de Doña Juana) y los componentes que abarcan las erupciones volcánicas (flujos piroclásticos, caídas de ceniza lapilli, proyectiles balísticos, lahares, ondas de choque y sismos volcánicos), las cuales se enumeran a continuación:

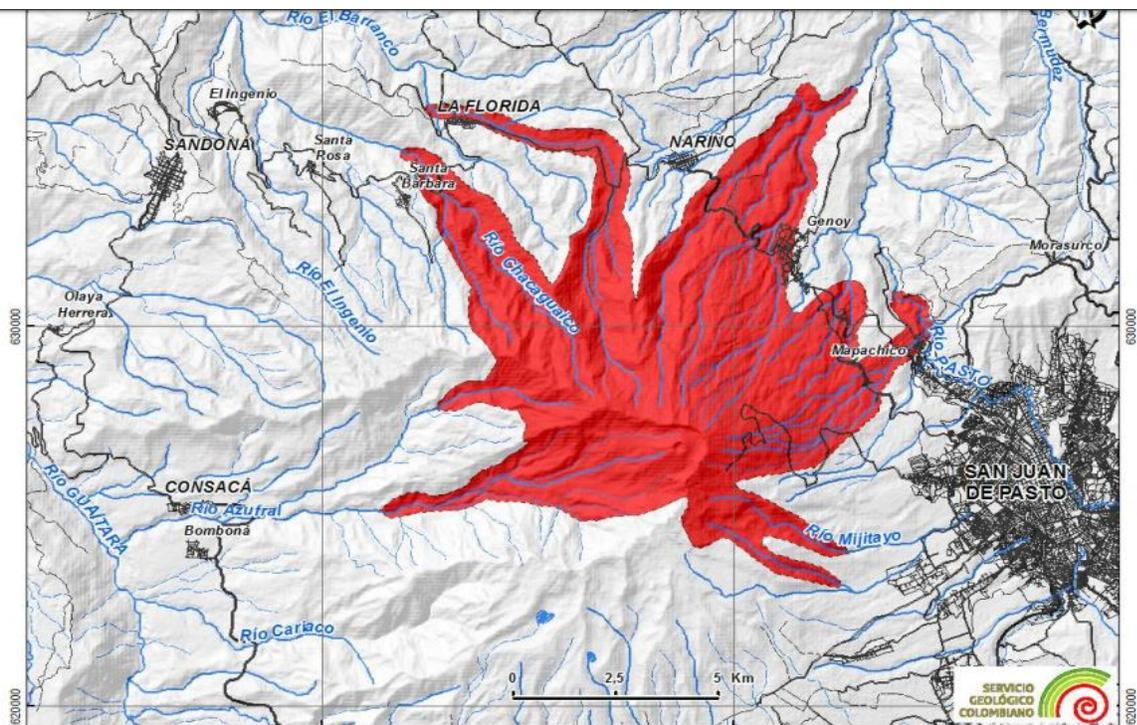
1.9.1 Complejo Volcánico Galeras

El volcán Galeras se localiza en el Departamento de Nariño, aproximadamente a 9 km al occidente de la Ciudad de San Juan de Pasto, en las coordenadas $1^{\circ} 13' 43,8''$ N y $77^{\circ} 21' 33,0''$ W, y cuenta con una altura de 4276 msnm.

En la zona de influencia proximal al Volcán Galeras se encuentran los municipios de Pasto (cabecera municipal a 9 Km al este del cráter), La Florida (cabecera municipal a 10 Km al noroeste del cráter), Sandoná (cabecera municipal a 14 Km al noroeste del cráter), Consacá (cabecera municipal a 11,4 Km al oeste del cráter), Yacuanquer (cabecera municipal a 12,3 Km al sur del cráter) y Tangua (cabecera municipal a 14,5 Km al sur del cráter). (DANE, 2011 en (Servicio Geológico Colombiano SGC, 2015)). Este complejo volcánico presenta amenazas por Corrientes de densidad piroclástica, domos y flujos de lava, lahares, gases volcánicos, ondas de choque y sismos volcánicos según el Servicio Geológico Colombiano (2015).

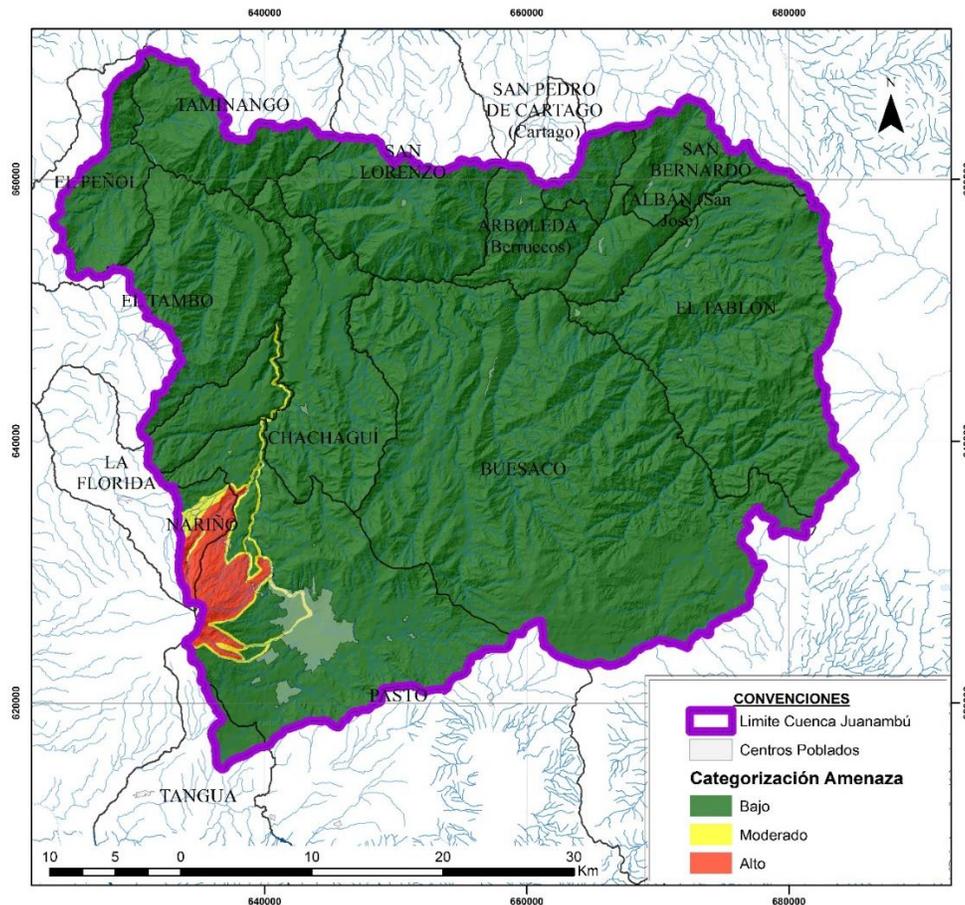
1. **Amenaza por corrientes de densidad piroclástica (flujos piroclásticos y oleadas piroclásticas):** Las CDP (Corrientes de densidad piroclástica concentradas a diluidas) son nubes de material incandescente compuestas por fragmentos de rocas, cenizas y gases calientes (de 300°C a > 800°C) que se mueven a grandes velocidades (de decenas a varios centenares de km/h) desde el centro de emisión por los flancos del volcán. Las CDP con mayor densidad y concentración de partículas y fragmentos sólidos (flujos piroclásticos) tienden a encausarse por los valles de los ríos; se originan principalmente a partir del colapso gravitacional de columnas eruptivas y por colapso o explosión de domos. Las oleadas piroclásticas (CDP diluidas) son más turbulentas, poseen una menor densidad (mayor contenido de gases) y presentan una mayor distribución, desplazándose en los valles y sobrepasando incluso altos topográficos (Dufek, et al., 2015; Cole et al., 2015; Brown & Andrews, 2015). Los flujos piroclásticos pueden ser de varios tipos y a ellos generalmente se encuentran. Históricamente esta es la mayor amenaza pues es la que más ha cobrado vidas y causado desastres (Actualización del mapa de amenaza volcánica del volcán Galeras-Colombia, Servicio Geológico Colombiano, 2015) (Ver Figura 68).

Figura 68. Zona que podría ser afectada por CDP (flujos y oleadas piroclásticas) generadas en erupciones del volcán Galeras.



Fuente: Actualización del mapa de amenaza volcánica del volcán Galeras-Colombia, Servicio Geológico Colombiano, 2015.

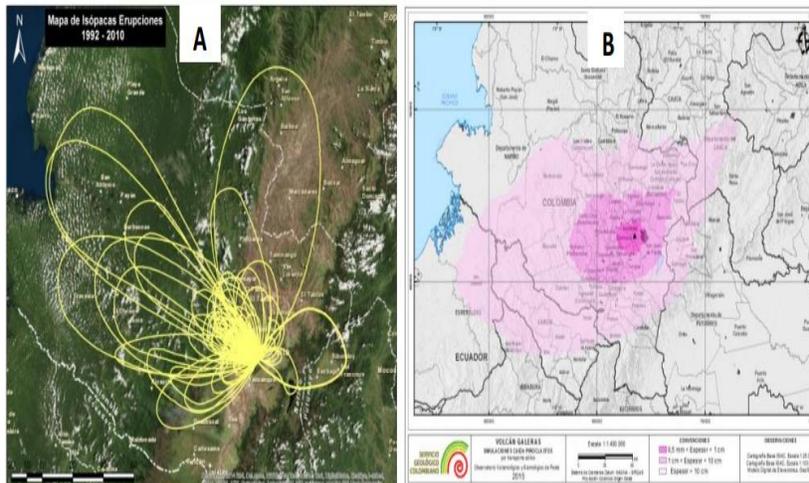
Figura 69. Salida Cartográfica de la Amenaza Volcánica para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú



Fuente: Modificado Actualización del mapa de amenaza volcánica del volcán Galeras-Colombia, Servicio Geológico Colombiano, 2015.

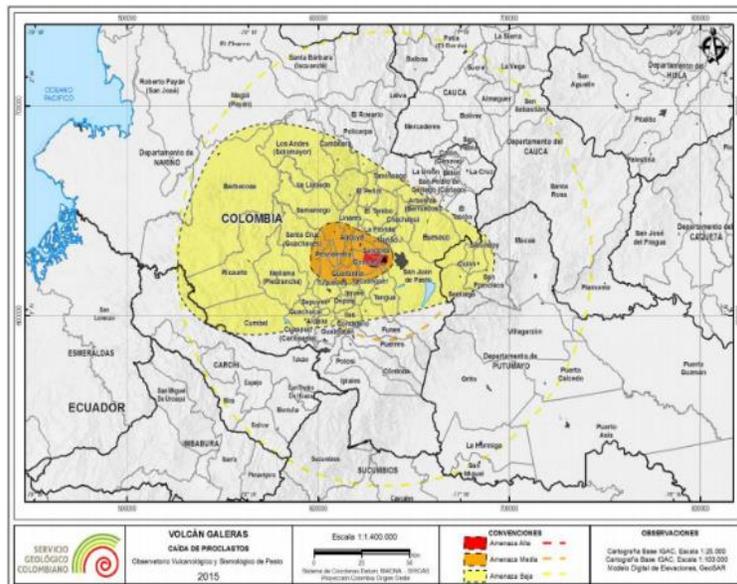
2. **Amenaza por caída de piroclastos:** Durante una erupción volcánica, los piroclastos que son emitidos a través de una columna eruptiva, son transportados eólicamente (por acción del viento) si son de tamaños hasta 64 mm (ceniza y lapilli); los mayores a este tamaño son emitidos como proyectiles balísticos (bloques y bombas volcánicas) (Actualización del mapa de amenaza volcánica del volcán Galeras- Colombia, Servicio Geológico Colombiano, 2015) (Ver Figura 69).
- 2.1. **Amenaza por caída de piroclastos transportados eólicamente:** Como consecuencia de las erupciones explosivas, los volcanes emiten a la atmósfera, a través de una columna eruptiva, partículas fragmentadas (piroclastos) que debido a su tamaño (ceniza, menor de 2 mm; lapilli, de 2 a 64 mm), son transportadas por el viento hasta zonas alejadas del volcán (cientos o miles de kilómetros) y depositadas por efecto de la gravedad, formando capas que siguen la topografía preexistente cubriendo áreas extensas. (Actualización del mapa de amenaza volcánica del volcán Galeras- Colombia, Servicio Geológico Colombiano, 2015) (Ver Figura 70 y Figura 71).

Figura 70. A. Integración de los mapas de isópacas (1992 a 2010), reflejando la distribución de los piroclastos de caída en diferentes direcciones, debido principalmente a la variación en altura de columnas eruptivas y en la dirección del viento. B. Resultado de las simulaciones computacionales



Fuente: Actualización del mapa de amenaza volcánica del volcán Galeras-Colombia, Servicio Geológico Colombiano, 2015.

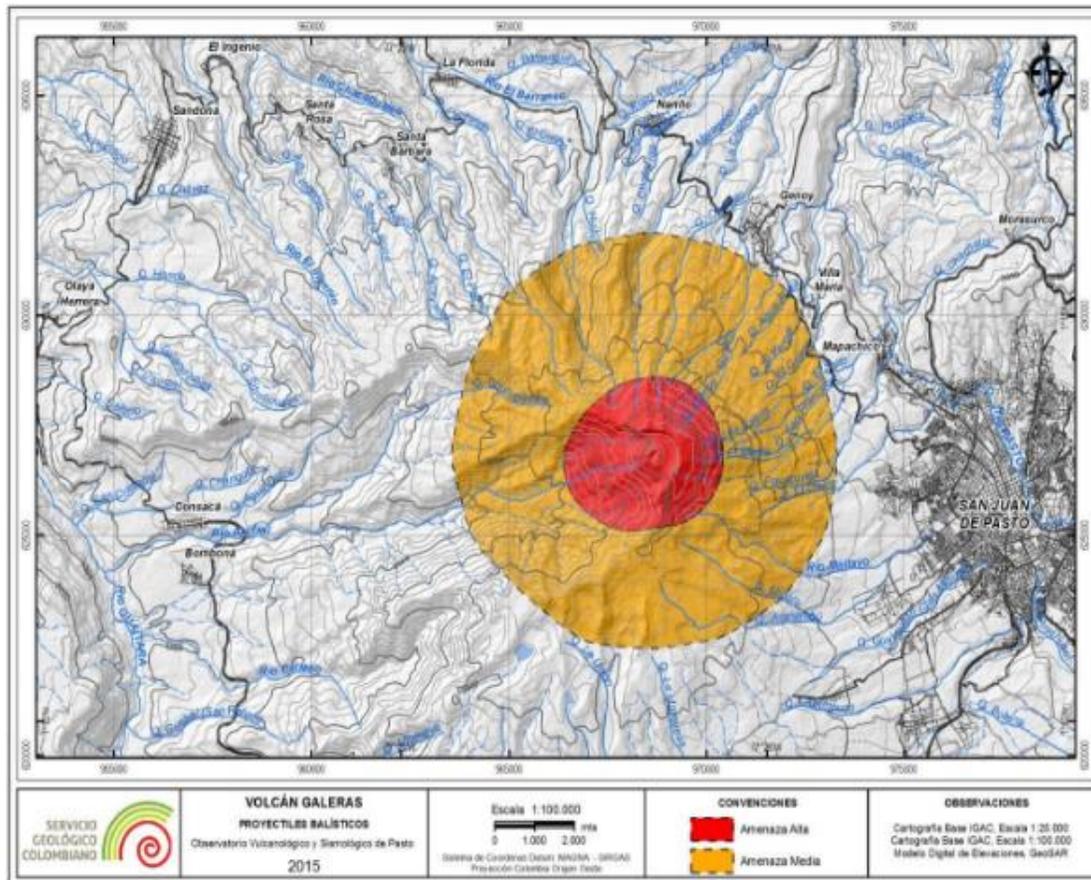
Figura 71. Zonificación de amenaza por piroclastos de caída transportados eólicamente para la dirección predominante de los vientos (colores sólidos), mostrando los círculos (en línea punteada) que delimitan las zonas de amenaza que contemplan, adicionalmente, áreas que no se encuentran en la dirección preferencial de los vientos.



Fuente: Actualización del mapa de amenaza volcánica del volcán Galeras-Colombia, Servicio Geológico Colombiano, 2015.

- 2.2. **Amenaza por caída de piroclastos de proyección balística:** En una erupción volcánica, piroclastos de caída con tamaños mayores a 6,4 cm (bloques y bombas volcánicas) son emitidos a altas temperaturas, siguiendo trayectorias balísticas; la distancia que pueden alcanzar depende de su velocidad inicial, densidad y tamaño. Los fragmentos de orden métrico, al caer, pueden producir cráteres de impacto incluso mayores a 10 m de diámetro. (Actualización del mapa de amenaza volcánica del volcán Galeras- Colombia, Servicio Geológico Colombiano, 2015). (Ver Figura 72).

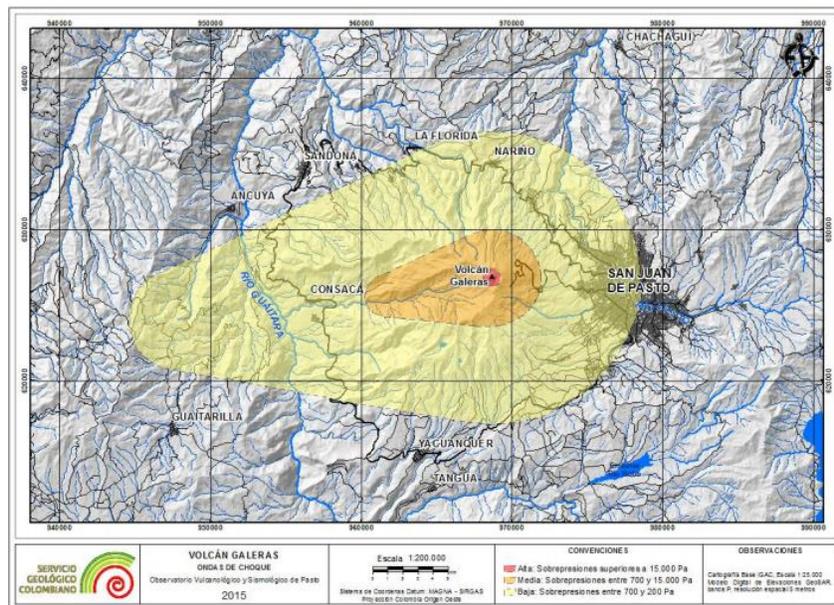
Figura 72. Zonificación de la amenaza por proyectiles balísticos.



Fuente: Actualización del mapa de amenaza volcánica del volcán Galeras-Colombia, Servicio Geológico Colombiano, 2015.

3. **Amenazas por ondas de choque:** Las explosiones generadas en las erupciones volcánicas son producidas por la descompresión del sistema, ocasionando efectos de ondas de choque que viajan a velocidades mayores a la del sonido y pueden ser sentidas a varios kilómetros de distancia, produciendo vibraciones, rompimiento de vidrios, fisuras en paredes y conmoción de las personas afectadas por este fenómeno, entre otros (Actualización del mapa de amenaza volcánica del volcán Galeras-Colombia, Servicio Geológico Colombiano, 2015). (Ver Figura 73).

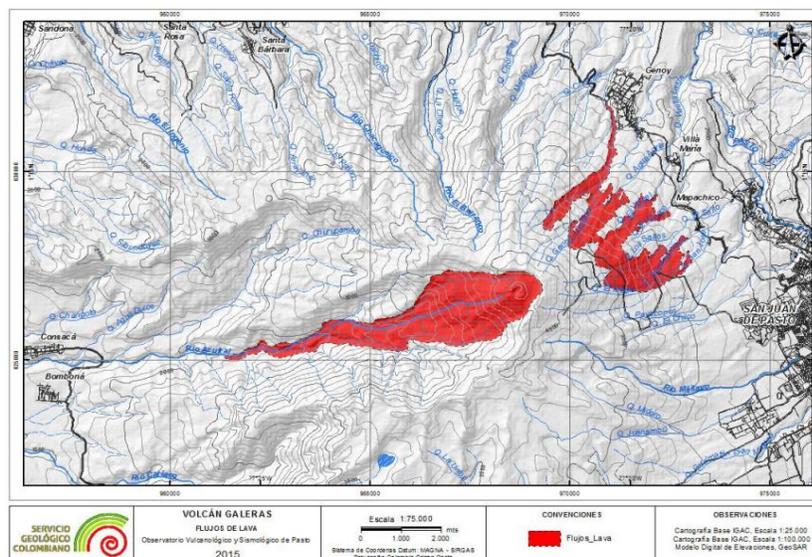
Figura 73. Zonificación para ondas de choque producidas por explosiones en el volcán Galeras.



Fuente: Tomado de Córdoba y del Risco (1998).

- 4. Amenazas por flujos de lavas:** Los flujos de lava son corrientes de roca fundida que se transportan a lo largo de los valles de ríos y quebradas que nacen en los volcanes, destruyendo todo a su paso, dando lugar a enterramiento y quemas, entre otros efectos. Cuando presentan una alta viscosidad, alcanzan cortas distancias desde su fuente y se mueven lentamente, permitiendo que las personas se alejen de su paso (USGS, 2015b) (Actualización del mapa de amenaza volcánica del volcán Galeras-Colombia, Servicio Geológico Colombiano, 2015.) (Ver Figura 74).

Figura 74. Zonas de amenaza alta por flujos de lava en el volcán Galeras.



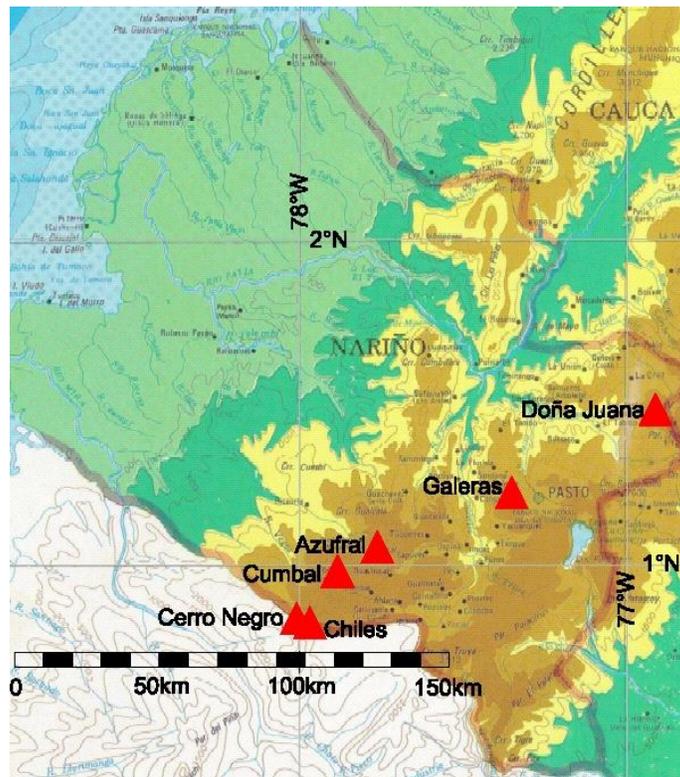
Fuente: Actualización del mapa de amenaza volcánica del volcán Galeras-Colombia, Servicio Geológico Colombiano, 2015.

La Cuenca Hidrográfica de Juanambú se ubica en las zonas de amenaza media a grandes rasgos según el último mapa actualizado de amenaza por el volcán Galeras en la zona afectada principalmente por caída de piroclastos con espesores de depósito entre 10cm y 1cm de ceniza y lapilli, según la tendencia predominante de los vientos en el área (para una columna hasta de 12 km de altura). Adicionalmente, se podría presentar caída de proyectiles balísticos de tamaño centimétrico que afectaran un radio aproximado de 5km alrededor del cráter, ondas de choque, emisión de gases y sismos volcánicos (modificado de: Actualización del mapa de amenaza volcánica del volcán Galeras-Colombia, Servicio Geológico Colombiano, 2015).

1.9.2 Complejo Volcánico Doña Juana

Este complejo volcánico actualmente se encuentra catalogado como un volcán activo de comportamiento estable, y se encuentra ubicado al nororiente del Departamento de Nariño con una altitud máxima de aproximadamente 4160 m.s.n.m (Ver Figura 76 y Figura 77). Se trata de un estratovolcán andesítico, con un diámetro del cráter cercano a 4 Km, sin glaciares, con registro de depósitos asociados con flujos de lava, flujos piroclásticos y cenizas (Ver Figura 76 y Figura 77).

Figura 76. Volcanes activos, Departamento de Nariño.



Fuente: Observatorio vulcanológico y sismológico de Pasto, Servicio Geológico Colombiano.

Figura 77. Fotografía del Complejo volcánico Doña Juana, sobrevuelo SGC (2008).



Fuente: Observatorio vulcanológico y sismológico de Pasto, Servicio Geológico Colombiano

Las amenazas que la actividad de este volcán puede acarrear se relacionan principalmente con ocurrencia de flujos piroclásticos, flujos de lodo o lahares y caídas de ceniza. Sin embargo, el mapa de amenaza volcánica del complejo volcánico Doña Juana se encuentra actualmente en fase de elaboración por parte del servicio Geológico Colombiano y se espera su fecha de publicación a finales del presente año.

No obstante, existen reportes de eventos asociados con su actividad volcánica. Su registro de actividad histórica se remonta al período entre 1897 y 1936, con la ocurrencia de varias erupciones explosivas que causaron la muerte de más de un centenar de personas y grandes pérdidas económicas.

Durante el periodo de tiempo mencionado fueron registrados numerosas explosiones menores, flujos piroclásticos (lluvias de bloques incandescentes), caída de cenizas y sismos asociados a la actividad volcánica, ocasionando varias muertes humanas y animales en la región, así como danos materiales en el área de influencia del volcán.

Particularmente, para el área de influencia de la cuenca del río Juanambú, fueron registrados dos eventos importantes. El primero de ellos ocurrió en Noviembre de 1899, donde un represamiento en la quebrada el resino, consecuencia de una lluvia incandescente de bloques, ocasionó danos a fincas aledañas y la destrucción de un puente antiguo sobre el río Juanambú. Posteriormente, en Agosto de 1936, se registró una explosión y flujo de lodo (Lahar) por la quebrada anteriormente mencionada, alcanzando los 200 metros de altura, y ocasionando la destrucción del puente sobre el río Juanambú, un campamento de obras públicas y varias viviendas de la región, así como la muerte de más de 15 personas (Figura 78).

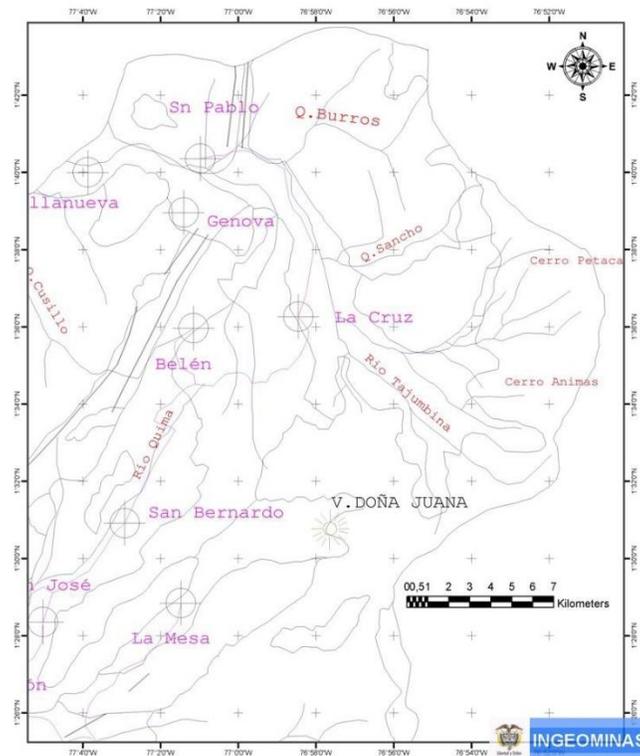
Figura 78. Imagen del Puente afectado por la avalancha, y área afectada por el flujo de lodo, cercanías al municipio de Buesaco, Nariño



Fuente: Imagen tomada de <https://ingenieriambiental3.com/Informe+Ca%C3%B1on+del+Juanambu>

Las poblaciones de San Pablo, Villanueva, Genova, Belén, La Cruz, San Bernardo y La Mesa, y en general el sector nororiental de la Cuenca Hidrográfica del río Juanambú, pertenecen al área de influencia del complejo volcánico Dona Juana, por lo cual presentan una amenaza más alta a eventos de flujos piroclásticos, flujos de lodo o lahares y caídas de ceniza debido a su cercanía al cono volcánico y a las redes de drenaje que transportan este material en sus cauces. (Ver Figura 79).

Figura 79. Área de influencia del Complejo volcánico Dona Juana



Fuente: Observatorio vulcanológico y sismológico de Pasto, Servicio Geológico Colombiano

1.9.3 Recomendaciones e Identificación de Necesidades de Información

De acuerdo a la información recopilada referente a la identificación y localización de la actividad volcánica en la cuenca, se determinaron las siguientes recomendaciones que pueden aportar a tener caracterizaciones más detalladas en el área de estudio:

- La Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú, presenta como característica notable, una alta susceptibilidad a la ocurrencia de fenómenos amenazantes de origen volcánico, esto debido a su configuración geológica y localización geográfica cercana principalmente a los Complejos Volcánicos del Galeras y Doña Juan, los cuales se consideran una amenaza activa puesto que tienen un comportamiento predominantemente explosivo y con actividad eruptiva intermitente, por lo cual es necesario generar espacios sociales en conjunto con las alcaldías municipales y entes territoriales, para identificar, localizar, caracterizar y socializar estas amenazas con las comunidades, y de esta manera involucrar a todos los actores en los procesos de planes de manejo ambiental de cuencas.
- Una de las mayores dificultades que se observa, es la carencia de información histórica precisa y de calidad, por lo cual se recomienda complementar y actualizar los sistemas de registro de los eventos volcánicos y las bases de datos de emergencias que puedan brindar información técnica de los eventos, como localización exacta, fechas, origen e intensidad del evento, procesos desencadenantes, zonas afectadas, duración, inventarios de personas y elementos afectados. Este tipo de trabajos se deben desarrollar por las autoridades oficiales municipales, departamentales y nacionales, encargadas de atender este tipo de eventos.
- Se hace necesario, con la ayuda de herramientas como imágenes satelitales de alta resolución, en diferentes periodos de tiempo, identificar con mayor precisión las geoformas asociadas a este tipo de eventos, así como las afectaciones y cambios en los paisajes que se han generado históricamente.
- Para la Cuenca del Río Juanambú, instituciones gubernamentales como el Servicio Geológico Colombiano (SGC), ha realizado estudios diagnósticos que tienen en cuenta como principal amenaza en el sector, el cráter principal del cono activo de los volcanes (tanto para el complejo volcánico del Galeras como el de Doña Juana) y los componentes que abarcan las erupciones volcánicas (flujos piroclásticos, caídas de ceniza lapilli, proyectiles balísticos, lahares, ondas de choque y sismos volcánicos), sin embargo, se deben propiciar espacios investigativos donde se identifique y caracterice la relación que existe entre los demás fenómenos amenazantes que se pueden desencadenar como consecuencia de estos fenómenos volcánicos, tal como lo son las avenidas torrenciales, todo esto considerando la importancia que tiene para el área el Río Juanambú y el Río Pasto y lo afectados que estos se pueden ver en los momentos donde se presenten eventos volcánicos de gran magnitud.
- Se recomienda evaluar para toda la zona de la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú un modelo de elevación del terreno con mejor resolución y evaluación topográfica, así como la adquisición de Imágenes satelitales de alta resolución en diferentes periodos de tiempo para identificar con mayor precisión las geoformas susceptibles y originadas por este tipo de eventos.

1.10 ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad es un factor intrínseco del riesgo que permite analizar los respectivos escenarios de forma integral, pues cuando se analiza únicamente la amenaza quedan excluidos factores que caracterizan los actores del riesgo que permiten evaluar la afectación de manera que las posibles consecuencias no solo están relacionadas con el impacto del suceso, sino también con la capacidad para soportar el impacto en la zona de estudio, siendo determinada la zonificación de vulnerabilidad a través de tres indicadores: exposición, fragilidad y falta de resiliencia

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

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

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

Donde la vulnerabilidad a su vez se define como:

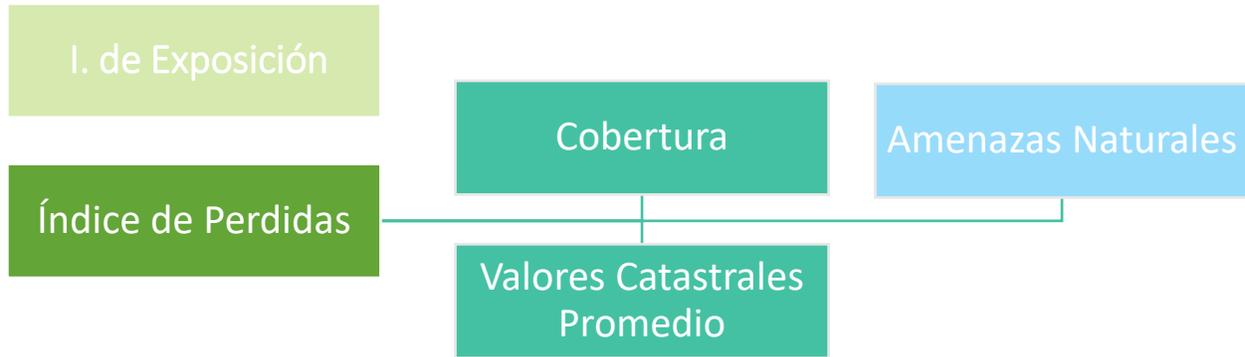
$$\text{Vulnerabilidad} = [\text{Exposición} \times \text{fragilidad} \times \text{falta de resiliencia}]$$

Posteriormente 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)

1.10.1 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 80:

Figura 80. Variables que incluyen la exposición de función a la vulnerabilidad.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.10.1.1 ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE PÉRDIDAS O EXPOSICIÓN.

Para cada una de las zonas homogéneas identificadas y delimitadas se calculará el índice de pérdidas a partir de la Ecuación (1).

$$IP = \frac{V_i - V_f}{V_i}$$

Fuente: Tomado de Leone, 1999. Concept de vulnerabilite applique a l'evaluation de risques generes par les phenomenes de mouvements de terrain.

Donde:

V_i : Valor de reposición inicial (antes del evento)

V_f : Valor de reposición final (después del evento)

La información catastral de precios unitarios promedio de las tierras permite la valoración inicial y final de un polígono, con base en la variación del área de un predio que ha sido afectado por la ocurrencia de un fenómeno natural.

Tabla 41. Índice de pérdidas de cada cobertura vegetal de acuerdo a la exposición a cada amenaza.

COBERTURA	Incendios		Avenidas Torrenciales		Inundaciones		Mov. Masa	
	Alta	Media	Alta	Media	Alta	Media	Alta	Media
ZONAS URBANIZADAS	1,00	1,00	0,92	0,59	0,68	0,93	0,96	0,90
ZONAS INDUSTRIALES Y REDES DE COMUNICACIÓN	0,99	0,99	0,82	0,34	0,79	0,97	0,76	0,83
CULTIVOS TRANSITORIOS	0,68	0,34	0,82	0,29	0,98		0,82	0,72
CULTIVOS PERMANENTES	0,84	0,17	0,83	0,30	0,99	0,98	0,64	0,66
PASTOS	0,81	0,26	0,91	0,40	0,94	0,99	0,61	0,77
ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	0,92	0,19	0,92	0,42	0,98	0,98	0,61	0,65
BOSQUES	0,90	0,48	0,93	0,42	0,98	0,99	0,47	0,70
ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA Y/O ARBUSTIVA	0,54	0,57	0,73	0,37	0,98	0,98	0,60	0,87
ÁREAS ABIERTAS SIN O CON POCA VEGETACIÓN	1,00	0,96		0,46	0,97	0,93	0,83	0,95
CULTIVOS TRANSITORIOS	0,68	0,34		0,29	0,98		0,82	0,72
CULTIVOS PERMANENTES	0,84	0,17		0,30	0,99	0,98	0,64	0,66
PASTOS	0,81	0,26		0,40	0,94	0,99	0,61	0,77
ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	0,92	0,19		0,42	0,98	0,98	0,61	0,65
BOSQUES	0,90	0,48	0,93	0,42	0,98	0,99	0,47	0,70
ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA Y/O ARBUSTIVA	0,54	0,57	0,73	0,37	0,98	0,98	0,60	0,87
ÁREAS ABIERTAS SIN O CON POCA VEGETACIÓN	1,00	0,96		0,46	0,97	0,93	0,83	0,95
AGUAS CONTINENTALES	0,99	0,99	0,44	0,64	0,51	0,99	0,78	0,87

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Tabla 41 muestra los valores calculados para en el índice de pérdidas de acuerdo a la zonificación establecida para cada una de las amenazas caracterizadas en el presente estudio. Las perdidas asociadas a las amenazas varían según el grado de afectación de cobertura en la categoría de amenaza, el índice de pérdidas se varía entre 0 y 1, donde valores cercanos a uno representa pérdidas altas en la cobertura y valores cercanos a 0 perdidas mínimas, los valores utilizados para la estimar las cantidades aproximados de valor están dados por los promedios de los avalúos catastrales de la zona.

Dado que los avalúos catastrales varían según las condiciones físicas y económicas se presenta unidades de coberturas con diferentes niveles de calificación según la zona de evaluación en la cuenca lo que representa diferentes niveles de afectación económica por ende se adopta el índice para representar las variaciones de las pérdidas asociadas a las diferentes unidades de cobertura.

1.10.1.1.1 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.

Valores de densidad de población por hectáreas estandarizado encontrar valores estándares entre 1-0 (Ver Tabla 42).

Formato: Vector tipo polígono.

Fuente: DANE.

Tabla 42. Valores por hectárea de densidad de población.

Densidad Poblacional Por uso				
ID	NOMBRE_ENT	DEPARTAMENTO	Hec_U	Hec_R
1	Tangua	Nariño	0	0.336286
2	Nariño	Nariño	27.997342	2550.777454
3	Pasto	Nariño	2411.604749	30942.874722
4	La Florida	Nariño	0	4876.479757
5	Buesaco	Nariño	57.26153	63228.298995
6	Albán (San José)	Nariño	38.983861	3850.430601
7	El Tablón	Nariño	25.01129	30548.277495
8	Chachagüí	Nariño	33.657019	14581.705662
9	El Tambo	Nariño	0	14488.541716
10	Arboleda (Berruecos)	Nariño	16.613846	5998.158274
11	San Bernardo	Nariño	28.422111	6459.094565
12	San Pedro de Cartago (Cartago)	Nariño	0	2565.085022
13	El Peñol	Nariño	36.337046	6685.419232
14	San Lorenzo	Nariño	20.106288	12449,055539
15	Taminango	Nariño	0	8369.551456

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

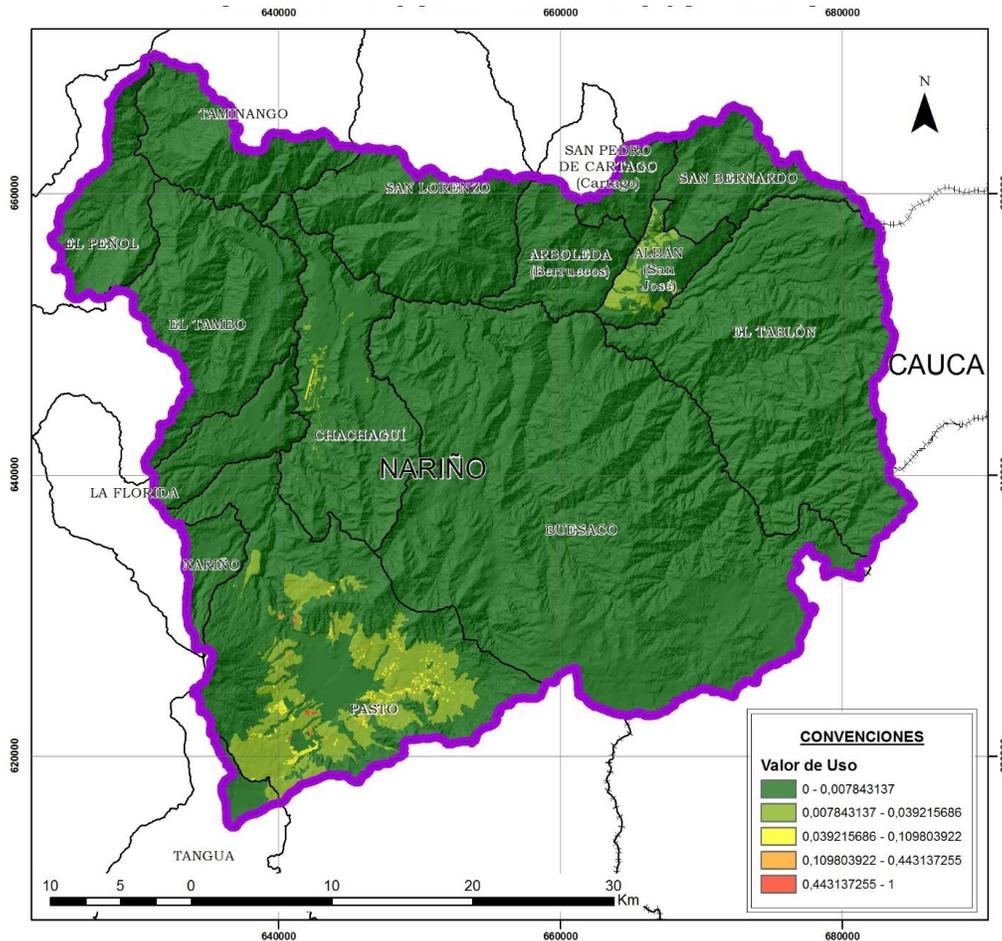
1.10.1.1.2 Valor físico o costo de reposición (vu):

Corresponde al valor normalizado por hectárea de la zona de estudio (orientado como valor de reposición), en donde 0 son aquellos suelos que tienen un bajo costo y 1 zonas con altos costos, establecido por zonas cuya configuración está directamente relacionada con la disposición de la información sobre la valoración económica de los elementos expuestos, y que pueden llegar a componer espacios geográficos de una región con características similares en cuanto a su precio (DECRETO 1420, 1998). (Ver Figura 81).

Formato: Vector tipo polígono.

Fuente: IGAC y planeación.

Figura 81. Valores por hectárea del uso del Suelo Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.



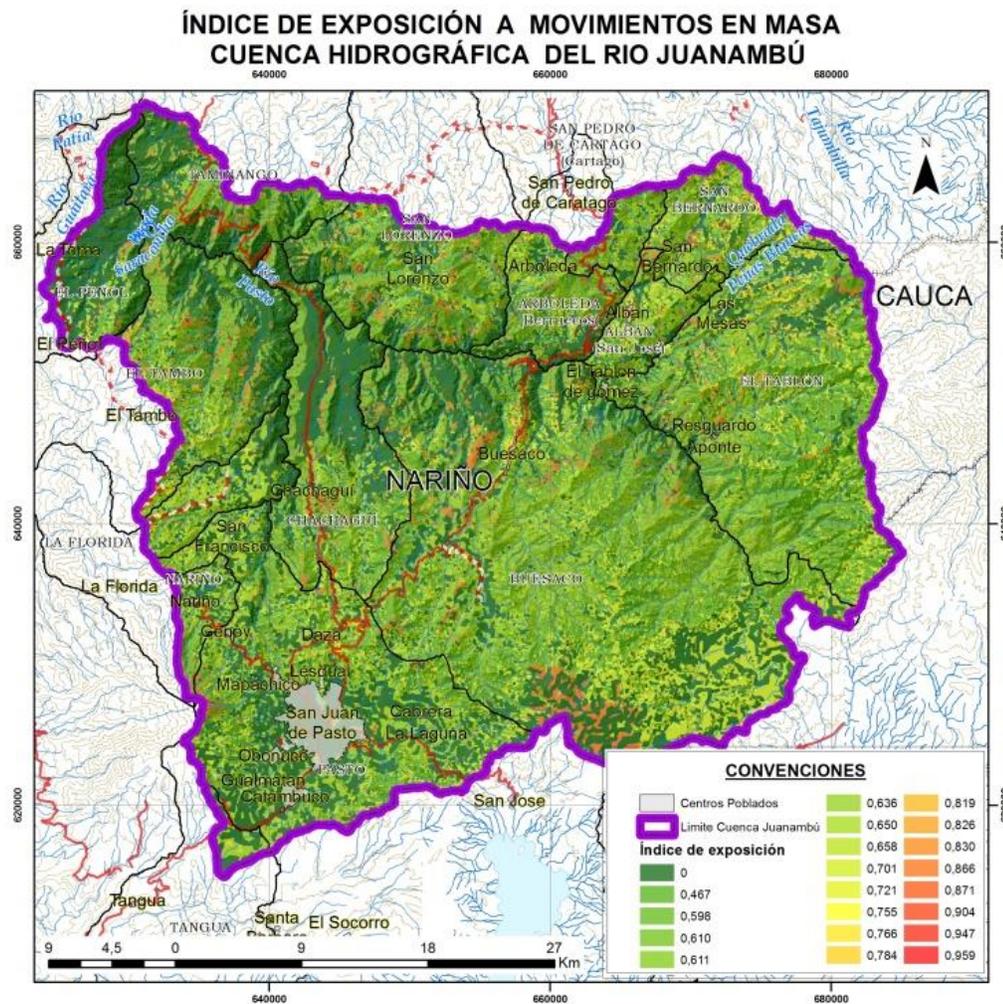
Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.10.1.2 ÍNDICE DE EXPOSICIÓN A MOVIMIENTOS EN MASA:

Los valores del Índice de exposición a movimientos en masa para la cuenca hidrográfica del Río Juanambú son en general bajos; particularmente, los menores índices de exposición se presentan en

la región norte (Figura 82), en cercanías al Río Pasto y al Río Juanambú, en el área noroccidental y en la zona sur de la cuenca (cerca a la población de Pasto). Por otro lado, los mayores valores para el índice se presentan al occidente del municipio de Colón, el occidente del municipio de Pasto, el sur del municipio de Buesaco y algunos sectores menores hacia el norte de la cuenca.

Figura 82. Índice de exposición a movimientos en masa



Para mayor detalle en lo referente al tipo y área de cobertura afectada por movimientos en masa (según su grado de amenaza: alta, media y baja), discriminada por cada uno de los municipios de la cuenca, se presenta la Tabla 43:

Tabla 43. Distribución de porcentual de pérdida por movimientos en masa para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.

	Cobertura CLC)		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Nivel 1	Nivel 2							
Alb		Zonas urbanizadas	29,3	69,5	104,9	203,7	14,4	34,1	51,5

Cobertura CLC)		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja	
Nivel 1	Nivel 2								
Territorios artificializados	ZONAS INDUSTRIALES	14,1	14,3	10,0	38,4	36,7	37,3	26,0	
Tierras agrícolas	Cultivos transitorios	7,1	15,1	20,3	42,5	16,7	35,6	47,8	
	CULTIVOS PERMANENTES	43,2	129,8	25,4	198,3	21,8	65,4	12,8	
	PASTOS	58,7	46,5	103,5	208,7	28,1	22,3	49,6	
	ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	677,3	665,5	269,8	1612,6	42,0	41,3	16,7	
Bosques y áreas semi naturales	Bosques	443,1	389,6	151,5	984,2	45,0	39,6	15,4	
	ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	194,5	120,4	129,7	444,6	43,7	27,1	29,2	
	ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	12,9	10,3	63,1	86,4	15,0	12,0	73,1	
Aguas superficiales	Aguas continentales	6,8	3,7	34,7	45,1	15,1	8,1	76,8	
Total		1487,0	1464,7	912,8	3864,4	38,5	37,9	23,6	
Arboleda	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	7,0	6,3	138,1	151,5	4,6	4,2	91,2
		ZONAS INDUSTRIALES	40,7	26,1	26,7	93,4	43,5	27,9	28,5
	Tierras agrícolas	Cultivos permanentes	3,2	7,4	1,8	12,3	25,7	60,0	14,4
		PASTOS	179,5	63,1	144,5	387,1	46,4	16,3	37,3
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	928,1	672,3	361,2	1961,5	47,3	34,3	18,4
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	739,7	413,4	270,7	1423,8	52,0	29,0	19,0
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	955,4	219,8	631,1	1806,2	52,9	12,2	34,9
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	20,4	6,3	122,2	148,9	13,7	4,2	82,1
	Aguas superficiales	Aguas continentales	1,3	0,6	30,9	32,8	4,0	1,8	94,2
	Total		2875,2	1415,4	1727,1	6017,7	47,8	23,5	28,7
Cha Buesaco	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	11,5	78,0	72,6	162,1	7,1	48,1	44,8
		ZONAS INDUSTRIALES	51,1	33,2	80,8	165,1	30,9	20,1	49,0
	Tierras agrícolas	Cultivos permanentes	16,1	15,6		31,7	50,8	49,2	0,0
		PASTOS	364,4	305,4	565,6	1235,5	29,5	24,7	45,8
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	10202,3	5854,5	2492,1	18548,9	55,0	31,6	13,4
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	11676,6	9180,1	5755,7	26612,4	43,9	34,5	21,6
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	5942,7	2927,3	7069,2	15939,2	37,3	18,4	44,4
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	30,9	17,6	325,0	373,5	8,3	4,7	87,0
	Aguas superficiales	Aguas continentales	9,6	7,9	78,7	96,2	9,9	8,2	81,8
	Total		28305,2	18419,6	16439,8	63164,6	44,8	29,2	26,0
	Zonas urbanizadas	10,2	26,3	416,1	452,5	2,2	5,8	91,9	

Cobertura CLC)		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja	
Nivel 1	Nivel 2								
Territorios artificializados	ZONAS INDUSTRIALES	24,7	16,6	323,6	364,9	6,8	4,6	88,7	
Tierras agrícolas	Cultivos transitorios		5,4	7,9	13,3	0,0	40,5	59,5	
	CULTIVOS PERMANENTES	71,3	10,0	56,6	137,9	51,7	7,3	41,0	
	PASTOS	126,9	78,5	1216,7	1422,0	8,9	5,5	85,6	
	ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	1007,3	945,3	618,7	2571,3	39,2	36,8	24,1	
Bosques y áreas semi naturales	Bosques	1985,0	757,9	483,4	3226,3	61,5	23,5	15,0	
	ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	2436,1	475,5	3393,4	6305,0	38,6	7,5	53,8	
	ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	19,3	3,9	62,6	85,9	22,5	4,6	72,9	
Aguas superficiales	Aguas continentales	1,1	0,0	50,0	51,1	2,1	0,0	97,9	
Total		5681,9	2319,4	6628,9	14630,2	38,8	15,9	45,3	
El Peñol	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	7,1	28,3	116,1	151,5	4,7	18,7	76,6
		ZONAS INDUSTRIALES	2,9	3,1	50,5	56,5	5,1	5,5	89,4
	Tierras agrícolas	Cultivos transitorios			31,2	31,2	0,0	0,0	100,0
		CULTIVOS PERMANENTES	3,1	2,7	77,8	83,6	3,7	3,3	93,0
		PASTOS	71,8	30,9	630,7	733,3	9,8	4,2	86,0
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	139,1	154,4	1193,6	1487,0	9,4	10,4	80,3
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	298,9	149,8	427,6	876,2	34,1	17,1	48,8
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	182,3	75,9	2790,4	3048,6	6,0	2,5	91,5
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	0,2		172,6	172,8	0,1	0,0	99,9
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,4		67,4	67,7	0,5	0,0	99,5
Total		705,7	445,1	5557,8	6708,6	10,5	6,6	82,8	
El Tablon	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	23,7	26,7	204,2	254,6	9,3	10,5	80,2
		ZONAS INDUSTRIALES	19,9	5,4	4,5	29,8	66,7	18,3	15,0
	Tierras agrícolas	Cultivos permanentes	9,8	2,8	5,6	18,2	54,0	15,2	30,8
		PASTOS	2269,9	1086,2	891,3	4247,5	53,4	25,6	21,0
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	3862,3	1358,6	498,5	5719,4	67,5	23,8	8,7
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	11802,3	3350,8	1173,9	16327,0	72,3	20,5	7,2
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	1729,1	450,8	540,1	2720,0	63,6	16,6	19,9
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	361,6	82,5	504,3	948,5	38,1	8,7	53,2
	Aguas superficiales	Aguas continentales	147,9	74,5	129,6	352,0	42,0	21,2	36,8
	Total		20226,5	6438,4	3952,1	30617,0	66,1	21,0	12,9

Cobertura CLC)		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja	
Nivel 1	Nivel 2								
El Tambo	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	4,9	1,9	4,4	11,2	43,8	16,9	39,4
		ZONAS INDUSTRIALES	28,1	23,3	15,1	66,4	42,4	35,0	22,7
	Tierras agrícolas	Cultivos transitorios	29,4	36,0	48,1	113,5	25,9	31,7	42,4
		CULTIVOS PERMANENTES	12,9	7,7	0,7	21,3	60,4	36,1	3,5
		PASTOS	413,8	240,2	273,2	927,2	44,6	25,9	29,5
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	1122,8	1086,9	554,1	2763,9	40,6	39,3	20,0
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	1104,1	647,8	194,6	1946,6	56,7	33,3	10,0
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	3152,0	813,4	4413,5	8378,8	37,6	9,7	52,7
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	79,1	2,3	162,5	243,9	32,4	0,9	66,6
	Aguas superficiales	Aguas continentales	1,9	0,4	60,9	63,2	3,0	0,6	96,4
Total		5949,1	2859,8	5727,1	14536,0	40,9	19,7	39,4	
La Florida	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,3	0,6	5,3	6,1	4,4	9,7	86,0
		ZONAS INDUSTRIALES		1,4	9,8	11,2	0,0	12,9	87,1
	Tierras agrícolas	Cultivos transitorios			2,8	2,8	0,0	0,0	100,0
		CULTIVOS PERMANENTES		2,1	0,0	2,1	0,0	100,0	0,0
		PASTOS	65,0	45,5	183,8	294,3	22,1	15,5	62,5
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	611,8	1245,6	675,4	2532,9	24,2	49,2	26,7
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	262,9	538,4	269,6	1070,9	24,6	50,3	25,2
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	138,2	27,4	729,5	895,1	15,4	3,1	81,5
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	23,3	17,4	26,0	66,7	35,0	26,1	38,9
	Aguas superficiales	Aguas continentales			10,2	10,2	0,0	0,0	100,0
Total		1101,5	1878,4	1912,3	4892,3	22,5	38,4	39,1	
Pasto Nariño	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas		0,3	24,3	24,6	0,0	1,3	98,7
		Cultivos permanentes	18,1	20,6	12,5	51,2	35,4	40,2	24,4
	Tierras agrícolas	PASTOS	22,8	18,7	47,7	89,2	25,6	20,9	53,5
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	321,9	817,2	535,5	1674,7	19,2	48,8	32,0
		Bosques	231,5	137,2	41,0	409,6	56,5	33,5	10,0
	Bosques y áreas semi naturales	ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	177,3	90,9	20,1	288,3	61,5	31,5	7,0
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	9,7	6,0	6,4	22,1	43,8	27,2	29,0
Total		781,3	1090,8	687,6	2559,7	30,5	42,6	26,9	
Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	25,0	98,6	2126,4	2250,0	1,1	4,4	94,5	

Cobertura CLC)		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja	
Nivel 1	Nivel 2								
	ZONAS INDUSTRIALES	14,3	35,7	131,0	181,1	7,9	19,7	72,4	
Tierras agrícolas	Cultivos permanentes	13,2	3,6	0,9	17,7	74,6	20,1	5,3	
	PASTOS	179,3	161,0	298,0	638,3	28,1	25,2	46,7	
	ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	2261,3	6278,9	7720,7	16260,8	13,9	38,6	47,5	
Bosques y áreas semi naturales	Bosques	4714,5	3515,0	2083,4	10312,9	45,7	34,1	20,2	
	ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	531,2	299,6	352,5	1183,2	44,9	25,3	29,8	
	ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	78,5	26,0	65,2	169,8	46,3	15,3	38,4	
Aguas superficiales	Aguas continentales	7,4	18,1	19,9	45,5	16,3	39,8	43,8	
Total		7824,8	10436,4	12798,1	31059,3	25,2	33,6	41,2	
San Bernardo	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	28,7	26,8	115,0	170,4	16,8	15,7	67,5
		ZONAS INDUSTRIALES	21,8	16,2	34,8	72,8	29,9	22,3	47,8
	Tierras agrícolas	Cultivos permanentes	20,1	7,5	1,6	29,2	68,9	25,7	5,4
		PASTOS	1137,1	803,3	459,5	2399,8	47,4	33,5	19,1
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	965,9	678,4	180,8	1825,1	52,9	37,2	9,9
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	1007,1	622,3	237,9	1867,4	53,9	33,3	12,7
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	200,3	49,9	9,5	259,7	77,1	19,2	3,6
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	58,4	40,5	69,0	167,9	34,8	24,1	41,1
	Aguas superficiales	Aguas continentales	26,9	16,7	23,5	67,0	40,1	24,9	35,1
	Total		3466,3	2261,5	1131,5	6859,4	50,5	33,0	16,5
PedroSan Lorenzo	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	11,8	24,4	127,1	163,3	7,2	14,9	77,8
		ZONAS INDUSTRIALES Y REDES DE COM.	56,6	26,2	22,8	105,5	53,6	24,8	21,6
	Tierras agrícolas	Pastos	280,9	249,8	248,4	779,2	36,1	32,1	31,9
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	1360,1	1150,5	589,4	3100,0	43,9	37,1	19,0
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	1782,6	614,8	455,2	2852,7	62,5	21,6	16,0
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	2650,2	675,9	789,3	4115,3	64,4	16,4	19,2
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	163,2	44,7	1128,6	1336,5	12,2	3,3	84,4
	Aguas superficiales	Aguas continentales	1,8	0,9	31,5	34,2	5,2	2,6	92,1
	Total		6307,2	2787,2	3392,4	12486,8	50,5	22,3	27,2
	San	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	1,6	0,2	12,5	14,3	11,4	1,7
ZONAS INDUSTRIALES			9,1	6,6	7,0	22,7	40,0	29,0	31,0
Tierras agrícolas		Pastos	95,3	46,8	98,8	240,9	39,6	19,4	41,0

Cobertura CLC)		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja	
Nivel 1	Nivel 2								
	ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	681,2	686,0	303,0	1670,2	40,8	41,1	18,1	
Bosques y áreas semi naturales	Bosques	276,5	139,0	34,0	449,6	61,5	30,9	7,6	
	ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	104,7	31,1	22,0	157,9	66,3	19,7	13,9	
	ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	7,1	1,7	11,8	20,5	34,6	8,0	57,3	
Total		1175,6	911,5	489,2	2576,3	45,6	35,4	19,0	
Tamitango	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	2,1	1,5	59,2	62,7	3,3	2,3	94,3
		ZONAS INDUSTRIALES	25,5	5,3	27,6	58,5	43,6	9,1	47,3
	Tierras agrícolas	Cultivos permanentes	14,5	2,2	2,2	18,8	76,8	11,7	11,5
		PASTOS	63,2	9,9	46,1	119,2	53,0	8,3	38,7
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	649,0	350,2	431,2	1430,4	45,4	24,5	30,1
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	527,1	135,6	234,4	897,0	58,8	15,1	26,1
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	1613,5	406,4	2398,1	4418,0	36,5	9,2	54,3
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	23,4	7,8	1271,6	1302,8	1,8	0,6	97,6
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,3		90,9	91,1	0,3	0,0	99,7
	Total		2918,5	918,8	4561,2	8398,5	34,8	10,9	54,3
Tangua	Tierras agrícolas	Pastos		13,9		13,9	0,0	100,0	0,0
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	57,1	443,2	562,6	1062,9	5,4	41,7	52,9
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	14,2	40,8	56,6	111,6	12,7	36,6	50,7
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,0	0,3	0,2	0,4	0,6	57,7	41,7
	Territorios artificializados	Zonas industriales							
Total		71,3	498,1	619,3	1188,8	6,0	41,9	52,1	
Total general		88877,4	54145,1	66537,2	209559,6	42,4	25,8	31,8	

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

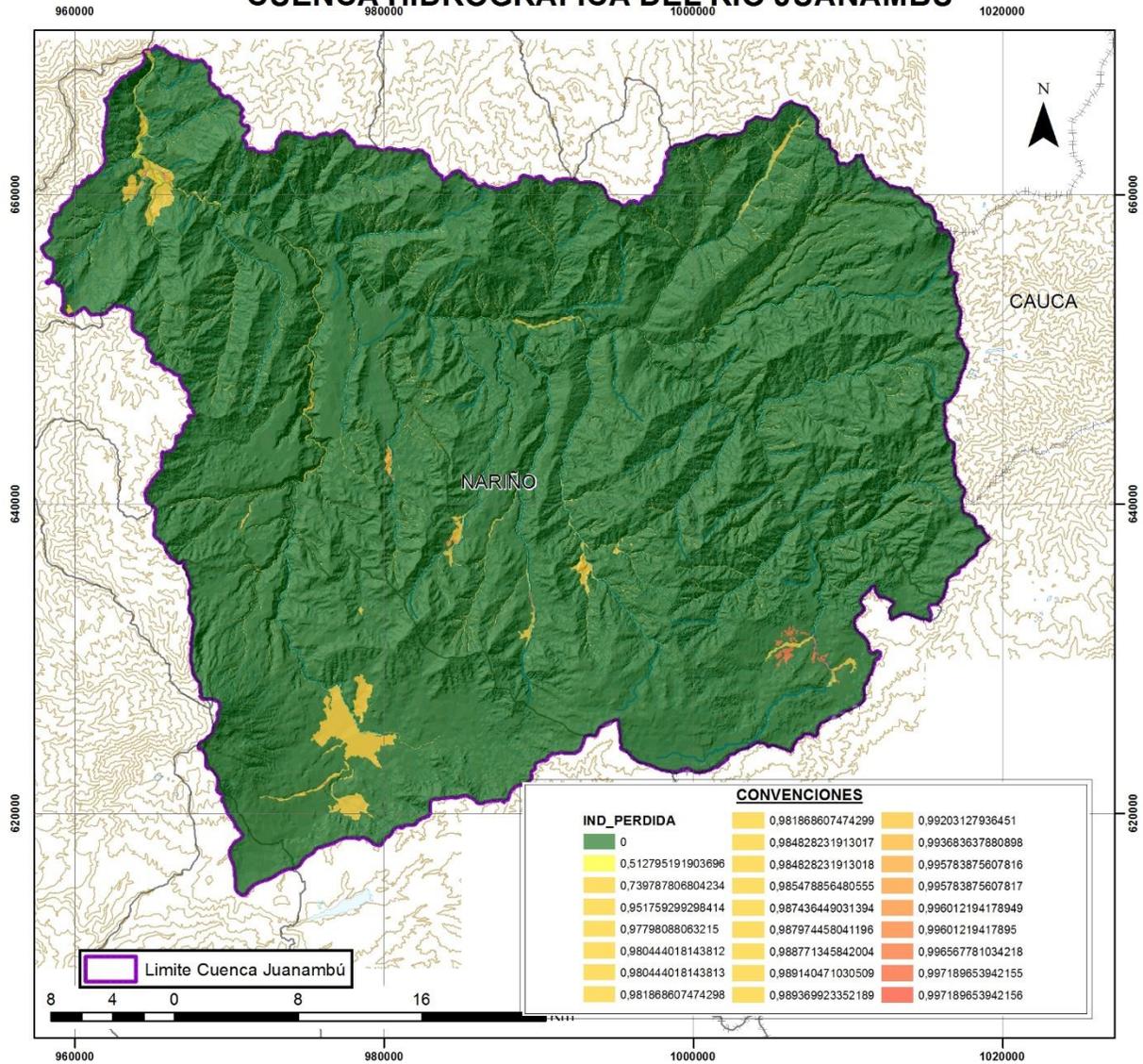
1.10.1.2.1 Elementos expuestos a movimientos en masa:

Para la cuenca hidrográfica del Río Juanambú diferentes elementos se encuentran expuestos a amenaza alta por movimientos en masa, principalmente en la región nororiental, y a amenaza media por movimientos en masa, en la región suroccidental (Figura 83). Se encuentran expuestas construcciones, dentro de las que sobresalen redes viales; zonas industriales (Coca Cola, Fabrica Bavaria, Ladrilleras Ladrillos Prensados de Nariño); puentes (Juanambú y El Socorro); monumentos (del Niño Jesús de Praga y de la Virgen del Carmen); puestos de salud (Asmet. Salud EPS., Caprecom; centros de salud El Progreso, El Rosario, Lorenzo de Aldana, Nuestra Señora de Fátima, Primero de Mayo, Tamasagra; clínicas de Fátima, Palermo, Proinsalud; consultorios médicos; Medicoop; IPS; EPS;

hospitales Civil Alberto Montezuma, Departamental, Infantil Los Ángeles, Local Civil, Universitario Departamental de Nariño); seguridad (CAI, Fiscalía General, Policía Nacional, cárceles y comandos de atención); hoteles; iglesias (capillas Cristo Redentor, Santa Cruz, Nuestra Señora de Lourdes, San José de Botana; iglesias Adventista del Séptimo Día, Centro Cristiano Cristo Salva, Cristiana Asamblea de Dios, Cristiana del Movimiento Misionero Mundial, Cristiana Pacto de Avivamiento, Cristianos, Cruzada Cristiana, de Dios Ministerial de Jesucristo Internacional, de Jesucristo de Los Santos de Los Últimos Días, del Rosario, El Niño Jesús de Praga, Jardines de Las Mercedes, Jesucristo de Los Santos de Los Últimos Días, La Merced, Miraflores, Pentecostal Unida de Colombia, Portal de Aranda, San Agustín, San Bernardo, San Juan Bosco, Santo Sepulcro, Virgen del Rosario y parroquias del Corazón de Jesús, Cristo Maestro, Sagrada Familia, San Francisco Javier, San Andrés, San Felipe Neri, San Juan Bautista y Santuario Eucarístico Maridiaz); cementerios (Nuestra Señora del Carmen y Parque Cementerio) y centros educativos (Academy Of English Cambridge, Estimulación Infantil Bambam, El Arte de Crecer, Fundación Belén; colegios Departamental, Emilio Botero, Filipense, Infantil Javeriano, Institución Educativa Municipal Mercedario, Javeriano, Jorge Eliecer Gaitan, José Antonio Galán, La Inmaculada, Las Margaritas, Musical Británico, Nacionalizado Chachagüí, Nocturno Jorge Giraldo Restrepo y , Agustín Agualongo, Normal Nacional de Pasto, Nuestra Señora de Las Lajas, Adultos Comfamiliar de Nariño, Sagrada Corazón de Jesús Hermanas Bethemitas, San Felipe, San Felipe Neri; escuelas de Salud Sur Colombiana, Salud Surcolombia, El Peñol, Integrada San Francisco, Integral Chachagüi, La Represa, Rural Mixta Cocha Cano, Rural Mixta Portal de Arada, San Bernardo; fundaciones universitarias; INEM; jardines infantiles y universidades, Antonio Nariño, Pasto, Mariana, Nacional Abierta y a Distancia y Santo Tomas).

Figura 84. Índice de exposición a inundaciones

INDICE DE EXPOSICION POR INUNDACION CUENCA HIDROGRAFICA DEL RIO JUANAMBU



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Para mayor detalle en lo referente al tipo y área de cobertura afectada por inundaciones (según su grado de amenaza: alta, media y baja), discriminada por cada uno de los municipios de la cuenca, se presenta la Tabla 44:

Tabla 44. Distribución de porcentual de pérdida por inundaciones para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.

	Nivel 1	Nivel 2	Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
Alban	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS	1,0	202,7		203,7	0,5	0,0	99,5
		ZONAS INDUSTRIALES	0,6	37,7		38,4	1,6	0,0	98,4
	TIERRAS AGRÍCOLAS	CULTIVOS TRANSITORIOS		42,5		42,5	0,0	0,0	100,0
		CULTIVOS PERMANENTES	0,1	198,2		198,3	0,1	0,0	99,9
		PASTOS	2,5	206,2		208,7	1,2	0,0	98,8
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	9,1	1603,4		1612,6	0,6	0,0	99,4
	BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	BOSQUES	34,3	949,9		984,2	3,5	0,0	96,5
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	9,0	435,6		444,6	2,0	0,0	98,0
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	0,7	85,7		86,4	0,8	0,0	99,2
	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS CONTINENTALES	15,8	29,3		45,1	35,0	0,0	65,0
TOTAL			73,2	3791,2		3864,4	1,9	0,0	98,1
Arboleda	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS		151,5		151,5	0,0	0,0	100,0
		ZONAS INDUSTRIALES	0,9	87,7	4,9	93,4	1,0	5,2	93,8
	TIERRAS AGRÍCOLAS	CULTIVOS PERMANENTES		12,3		12,3	0,0	0,0	100,0
		PASTOS	3,3	371,6	12,2	387,1	0,8	3,2	96,0
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	31,4	1855,4	74,8	1961,5	1,6	3,8	94,6
	BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	BOSQUES	51,9	1280,6	91,3	1423,8	3,6	6,4	89,9
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	28,0	1767,3	11,0	1806,2	1,5	0,6	97,8
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	1,5	147,5		148,9	1,0	0,0	99,0
	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS CONTINENTALES	20,8	12,0		32,8	63,4	0,0	36,6
	TOTAL			137,6	5685,9	194,2	6017,7	2,3	3,2
Buesaco	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS		153,9	8,2	162,1	0,0	5,1	94,9
		ZONAS INDUSTRIALES	4,2	157,2	3,7	165,1	2,5	2,3	95,2
	TIERRAS AGRÍCOLAS	CULTIVOS PERMANENTES		31,7		31,7	0,0	0,0	100,0
		PASTOS	11,7	1154,9	68,9	1235,5	0,9	5,6	93,5
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	424,9	17679,8	444,3	18548,9	2,3	2,4	95,3
	BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	BOSQUES	414,9	25934,5	263,1	26612,4	1,6	1,0	97,5
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	134,2	15769,9	35,1	15939,2	0,8	0,2	98,9
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	2,2	371,2	0,1	373,5	0,6	0,0	99,4
	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS CONTINENTALES	58,2	37,8	0,2	96,2	60,5	0,2	39,3

	Nivel 1	Nivel 2	Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja	
	TOTAL		1050,2	61290,9	823,6	63164,6	1,7	1,3	97,0	
Chachangui	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS	243,6	208,9		452,5	53,8	0,0	46,2	
		ZONAS INDUSTRIALES	254,6	109,3	0,9	364,9	69,8	0,3	30,0	
	TIERRAS AGRÍCOLAS	CULTIVOS TRANSITORIOS	3,5	9,8		13,3	26,4	0,0	73,6	
		CULTIVOS PERMANENTES	2,7	135,2		137,9	2,0	0,0	98,0	
		PASTOS	700,2	721,9		1422,0	49,2	0,0	50,8	
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	298,6	2271,7	1,1	2571,3	11,6	0,0	88,3	
	BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	BOSQUES	248,2	2977,7	0,4	3226,3	7,7	0,0	92,3	
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	430,1	5869,0	5,9	6305,0	6,8	0,1	93,1	
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	31,4	54,5	0,0	85,9	36,6	0,0	63,4	
	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS CONTINENTALES	32,8	18,0	0,3	51,1	64,1	0,6	35,3	
		TOTAL		2245,6	12376,0	8,7	14630,2	15,3	0,1	84,6
	El Peñol	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS	11,5	47,6	92,4	151,5	7,6	61,0	31,4
ZONAS INDUSTRIALES			0,9	47,0	8,6	56,5	1,6	15,2	83,2	
TIERRAS AGRÍCOLAS		CULTIVOS TRANSITORIOS	0,2	31,0		31,2	0,7	0,0	99,3	
		CULTIVOS PERMANENTES	0,6	70,4	12,6	83,6	0,7	15,1	84,2	
		PASTOS	7,9	715,0	10,4	733,3	1,1	1,4	97,5	
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	8,7	1142,1	336,3	1487,0	0,6	22,6	76,8	
BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES		BOSQUES	30,4	648,5	197,3	876,2	3,5	22,5	74,0	
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	66,2	2617,0	365,4	3048,6	2,2	12,0	85,8	
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	8,1	65,6	99,1	172,8	4,7	57,3	38,0	
AGUAS SUPERFICIALES		AGUAS CONTINENTALES	60,6	3,6	3,5	67,7	89,5	5,2	5,3	
		TOTAL		195,2	5387,8	1125,6	6708,6	2,9	16,8	80,3
El Tablon		TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS	1,8	252,8		254,6	0,7	0,0	99,3
	ZONAS INDUSTRIALES		0,1	29,6		29,8	0,5	0,0	99,5	
	TIERRAS AGRÍCOLAS	CULTIVOS PERMANENTES	0,2	18,1		18,2	0,9	0,0	99,1	
		PASTOS	39,0	4158,0	50,5	4247,5	0,9	1,2	97,9	
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	78,5	5625,7	15,2	5719,4	1,4	0,3	98,4	
	BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	BOSQUES	206,7	16116,7	3,7	16327,0	1,3	0,0	98,7	
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	41,0	2677,8	1,3	2720,0	1,5	0,0	98,4	

	Nivel 1	Nivel 2	Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja	
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	5,7	942,5	0,3	948,5	0,6	0,0	99,4	
	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS CONTINENTALES	93,2	257,9	1,0	352,0	26,5	0,3	73,3	
	TOTAL		466,2	30079,0	71,8	30617,0	1,5	0,2	98,2	
El Tambo	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS	0,0	11,2		11,2	0,1	0,0	99,9	
		ZONAS INDUSTRIALES	0,0	66,4		66,4	0,0	0,0	100,0	
	TIERRAS AGRÍCOLAS	CULTIVOS TRANSITORIOS	0,4	113,1		113,5	0,3	0,0	99,7	
		CULTIVOS PERMANENTES		21,3		21,3	0,0	0,0	100,0	
		PASTOS	2,9	923,7	0,6	927,2	0,3	0,1	99,6	
	BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	18,6	2737,5	7,8	2763,9	0,7	0,3	99,0	
		BOSQUES	86,5	1855,8	4,2	1946,6	4,4	0,2	95,3	
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	187,5	7902,3	289,0	8378,8	2,2	3,4	94,3	
	AGUAS SUPERFICIALES	ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	10,6	103,8	129,5	243,9	4,4	53,1	42,5	
		AGUAS CONTINENTALES	49,8	12,8	0,6	63,2	78,8	1,0	20,2	
		TOTAL		356,2	13748,0	431,8	14536,0	2,5	3,0	94,6
	La Florida	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS		6,1		6,1	0,0	0,0	100,0
			ZONAS INDUSTRIALES		11,2		11,2	0,0	0,0	100,0
TIERRAS AGRÍCOLAS		CULTIVOS TRANSITORIOS		2,8		2,8	0,0	0,0	100,0	
		CULTIVOS PERMANENTES		2,1		2,1	0,0	0,0	100,0	
		PASTOS	8,7	285,6		294,3	3,0	0,0	97,0	
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	6,2	2444,5	82,2	2532,9	0,2	3,2	96,5	
BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES		BOSQUES	45,6	987,7	37,6	1070,9	4,3	3,5	92,2	
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	47,0	826,5	21,5	895,1	5,3	2,4	92,3	
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN		66,7		66,7	0,0	0,0	100,0	
AGUAS SUPERFICIALES		AGUAS CONTINENTALES	10,0	0,1		10,2	98,5	0,0	1,5	
	TOTAL		117,6	4633,3	141,3	4892,3	2,4	2,9	94,7	
Nariño	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS		24,6		24,6	0,0	0,0	100,0	
	TIERRAS AGRÍCOLAS	CULTIVOS PERMANENTES	1,5	49,7		51,2	2,9	0,0	97,1	
		PASTOS		89,2		89,2	0,0	0,0	100,0	
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	4,0	1670,7		1674,7	0,2	0,0	99,8	
	BOSQUES	8,3	401,4		409,6	2,0	0,0	98,0		

	Nivel 1	Nivel 2	Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja	
	BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA		288,3		288,3	0,0	0,0	100,0	
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN		22,1		22,1	0,0	0,0	100,0	
	TOTAL		13,7	2546,0		2559,7	0,5	0,0	99,5	
Pasto	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS	1014,2	1051,1	184,8	2250,0	45,1	8,2	46,7	
		ZONAS INDUSTRIALES	0,2	164,9	16,0	181,1	0,1	8,8	91,1	
	TIERRAS AGRÍCOLAS	CULTIVOS PERMANENTES	1,5	16,2		17,7	8,5	0,0	91,5	
		PASTOS	2,3	612,0	24,0	638,3	0,4	3,8	95,9	
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	78,8	15767,0	415,0	16260,8	0,5	2,6	97,0	
	BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	BOSQUES	55,1	10253,1	4,7	10312,9	0,5	0,0	99,4	
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	3,0	1170,6	9,6	1183,2	0,3	0,8	98,9	
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN		169,7	0,0	169,8	0,0	0,0	100,0	
	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS CONTINENTALES	8,5	37,0		45,5	18,7	0,0	81,3	
	TOTAL		1163,6	29241,7	654,1	31059,3	3,7	2,1	94,1	
	San Bernardo	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS	42,9	127,5		170,4	25,2	0,0	74,8
			ZONAS INDUSTRIALES	5,8	67,0		72,8	8,0	0,0	92,0
		TIERRAS AGRÍCOLAS	CULTIVOS PERMANENTES	0,0	29,2		29,2	0,0	0,0	100,0
PASTOS			101,4	2298,4		2399,8	4,2	0,0	95,8	
ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS			36,4	1788,7		1825,1	2,0	0,0	98,0	
BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES		BOSQUES	74,2	1792,5	0,6	1867,4	4,0	0,0	96,0	
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	4,8	254,9		259,7	1,9	0,0	98,1	
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	5,5	162,4		167,9	3,3	0,0	96,7	
AGUAS SUPERFICIALES		AGUAS CONTINENTALES	36,3	30,7		67,0	54,2	0,0	45,8	
TOTAL			307,4	6551,4	0,6	6859,4	4,5	0,0	95,5	
San Lorenzo	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS	1,5	161,8		163,3	0,9	0,0	99,1	
		ZONAS INDUSTRIALES	1,1	104,2	0,2	105,5	1,0	0,2	98,7	
	TIERRAS AGRÍCOLAS	PASTOS	4,3	774,8	0,1	779,2	0,6	0,0	99,4	
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	34,8	3064,6	0,6	3100,0	1,1	0,0	98,9	
	BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	BOSQUES	133,9	2717,4	1,3	2852,7	4,7	0,0	95,3	
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	56,8	4055,4	3,2	4115,3	1,4	0,1	98,5	

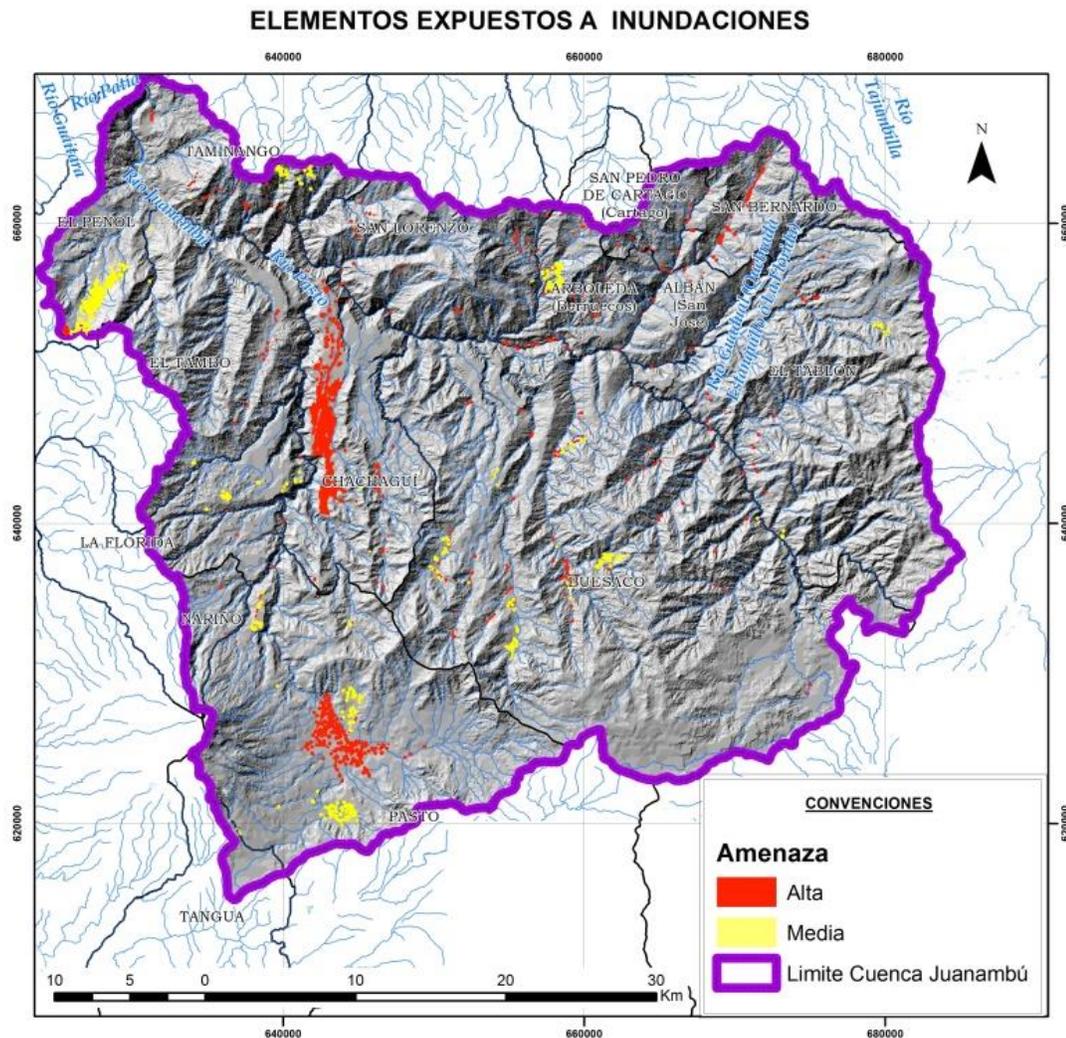
	Nivel 1	Nivel 2	Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	20,0	1309,7	6,8	1336,5	1,5	0,5	98,0
	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS CONTINENTALES	11,8	22,4	0,0	34,2	34,6	0,1	65,3
	TOTAL		264,2	12210,3	12,3	12486,8	2,1	0,1	97,8
San Pedro de Cartago	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS		14,3		14,3	0,0	0,0	100,0
		ZONAS INDUSTRIALES	0,4	22,3		22,7	1,6	0,0	98,4
	TIERRAS AGRÍCOLAS	PASTOS	0,5	240,4		240,9	0,2	0,0	99,8
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	20,1	1650,1		1670,2	1,2	0,0	98,8
	BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	BOSQUES	19,8	429,8		449,6	4,4	0,0	95,6
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	5,4	152,5		157,9	3,4	0,0	96,6
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN		20,5		20,5	0,0	0,0	100,0
TOTAL		46,2	2530,1		2576,3	1,8	0,0	98,2	
Tamitango	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS		62,7		62,7	0,0	0,0	100,0
		ZONAS INDUSTRIALES	0,7	52,9	4,9	58,5	1,1	8,4	90,5
	TIERRAS AGRÍCOLAS	CULTIVOS PERMANENTES	0,2	17,9	0,8	18,8	1,1	4,0	94,9
		PASTOS	2,6	116,6		119,2	2,2	0,0	97,8
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	15,6	1294,1	120,7	1430,4	1,1	8,4	90,5
	BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	BOSQUES	64,4	766,0	66,6	897,0	7,2	7,4	85,4
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	80,5	4096,6	240,8	4418,0	1,8	5,5	92,7
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	58,9	1112,9	131,0	1302,8	4,5	10,1	85,4
	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS CONTINENTALES	68,3	20,0	2,9	91,1	74,9	3,2	21,9
TOTAL		291,3	7539,6	567,7	8398,5	3,5	6,8	89,8	
Tangua	TIERRAS AGRÍCOLAS	PASTOS		13,9		13,9	0,0	0,0	100,0
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS		1057,3	5,6	1062,9	0,0	0,5	99,5
	BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	BOSQUES		111,6		111,6	0,0	0,0	100,0
	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS CONTINENTALES		0,4		0,4	0,0	0,0	100,0
	TOTAL			1183,2	5,6	1188,8	0,0	0,5	99,5
			6728,1	19879,4,3	4037,3	20955,9,6	3,2	1,9	94,9

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.10.1.3.1 Elementos expuestos a inundaciones:

Para la cuenca hidrográfica del Río Juanambú hay diferentes elementos expuestos a amenaza media y alta por inundaciones, principalmente en la región occidental de la subzona hidrográfica (Figura 85). Se encuentran expuestas distintas construcciones, dentro de las que sobresalen redes viales; zonas industriales (Coca Cola, Fabrica Bavaria y Ladrilleras Ladrillos Prensados de Nariño); puentes (Juanambú y El Socorro); centros de seguridad (CAI, Cárcel Judicial de Pasto, comandos de atención, estaciones de policía, Fiscalía General de La Nación Unidad Justicia y Paz y Policía Nacional Gaula); centros de salud (Asmet. Salud EPS., Caprecom, centros de salud , El Progreso, El Rosario, Lorenzo de Aldana, Nuestra Señora de Fátima, Primero de Mayo, Tamasagra, Valle de Atriz, Mis Kikes; clínicas de Fátima, Palermo, Proinsalud; consultorios médicos; EPS;IPS; Saludcoop y los hospitales Civil Alberto Montezuma, Departamental, Infantil Los Ángeles, Local Civil, Universitario Departamental de Nariño Ese); monumentos (del Divino Niño; el Niño Jesús de Praga y Virgen del Carmen); iglesias (capillas Cristo Redentor, Santa Cruz, Nuestra Señora de Lourdes, San José de Botana, Catedral del Sagrado Corazón de Jesús e iglesias Adventista del Séptimo Día, Centro Cristiano Cristo Salva, Cristiana Asamblea de Dios, Cristiana del Movimiento Misionero Mundial, Cristiana Pacto de Avivamiento, Cristianos, Cruzada Cristiana, de Dios Ministerial de Jesucristo Internacional, de Jesucristo de Los Santos de Los Últimos Días, del Rosario, El Niño Jesús de Praga, Jardines de Las Mercedes, Jesucristo de Los Santos de Los Últimos Días, La Merced, Miraflores, Pentecostal Unida de Colombia, Portal de Aranda, San Agustín, San Bernardo, San Juan Bosco, Santo Sepulcro, Virgen del Rosario; las parroquias de Beato Ezequiel Moreno Díaz, Corazón de Jesús, Cristo Maestro, de Sagrada Familia, de San Francisco Javier, San Andrés, San Felipe Neri, San Juan Bautista); hoteles; cementerios (Nuestra Señora del Carmen y Parque Cementerio) e instiruciones educativas (la Academy Of English Cambridge; los centros educativos de Estimulación Infantil Bambam, El Arte de Crecer, Fundación Belén; colegios Departamental, Emilio Botero, Filipense, Infantil Javeriano, Institución Educativa Municipal Mercedario, Javeriano, Jorge Eliecer Gaitan, José Antonio Galán, La Inmaculada, Las Margaritas, Musical Británico, Nacionalizado Chachagüí, Nocturno Jorge Giraldo Restrepo y , Agustin Agualongo, Normal Nacional de Pasto, Nuestra Señora de Las Lajas, para Adultos Comfamiliar de Nariño, Sagrada Corazón de Jesús Hermanas Betlhemitas, San Felipe, San Felipe Neri; escuelas de Salud Sur Colombiana, Salud Surcolombia, El Peñol, Integrada San Francisco, Integral Chachagüi, La Represa, Rural Mixta Cocha Cano, Rural Mixta Portal de Arada, San Bernardo; el INEM; diversas instituciones educativas; jardines infantiles y universidades).

Figura 85. Elementos expuestos en zonas de amenaza por Inundaciones.



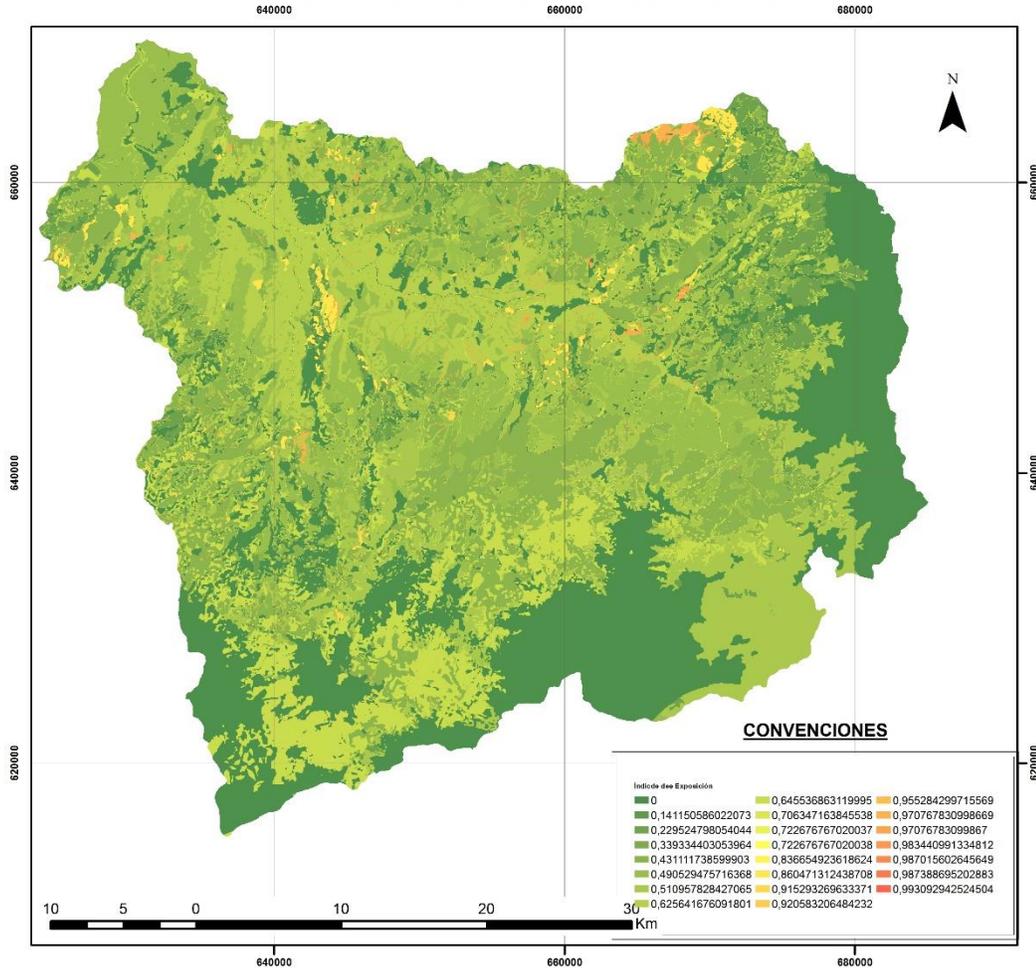
Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.10.1.4 ÍNDICE DE EXPOSICIÓN A INCENDIOS FORESTALES:

Por incendios forestales la cuenca hidrográfica del Río Juanambú presenta valores de exposición comparativamente menores a los obtenidos por las otras amenazas (Figura 86), con los menores valores hacia el costado oriental y sur de la cuenca, y la mayor afectación hacia el norte en los municipios de El Peñol, Taminango, El Tambo, Chachagüí, el norte de Buesaco, el sur de Albán, San Lorenzo, Arboleda, San Pedro de Cartago y San Bernardo.

Figura 86. Índice de exposición a incendios forestales

ÍNDICE DE EXPOSICIÓN A INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIO JUANAMBÚ



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Para mayor detalle en lo referente al tipo y área de cobertura afectada por incendios forestales (según su grado de amenaza: alta, media y baja), discriminada por cada uno de los municipios de la cuenca, se presenta la Tabla 45:

Tabla 45. Distribución de porcentual de pérdida por incendios forestales para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.

	Nivel 1	Nivel 2	Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
Alban	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS	0,6	201,2	1,9	203,7	0,3	0,9	98,8
		ZONAS INDUSTRIALES	0,5	37,4	0,4	38,4	1,3	1,1	97,6

	Nivel 1	Nivel 2	Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja	
	TIERRAS AGRÍCOLAS	CULTIVOS TRANSITORIOS		0,8	41,7	42,5	0,0	98,2	1,8	
		CULTIVOS PERMANENTES	17,1	2,8	178,5	198,3	8,6	90,0	1,4	
		PASTOS	44,7	8,0	156,1	208,7	21,4	74,8	3,8	
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	306,3	56,5	1249,7	1612,6	19,0	77,5	3,5	
	BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	BOSQUES	436,5	18,5	529,1	984,2	44,4	53,8	1,9	
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	180,2	8,9	255,4	444,6	40,5	57,5	2,0	
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	0,1	85,6	0,7	86,4	0,1	0,8	99,1	
	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS CONTINENTALES	0,6	44,1	0,4	45,1	1,3	1,0	97,8	
	TOTAL			986,7	463,8	2413,9	3864,4	25,5	62,5	12,0
	Arboleda	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS	0,4	150,3	0,7	151,5	0,3	0,5	99,2
ZONAS INDUSTRIALES			0,8	90,8	1,9	93,4	0,8	2,0	97,2	
TIERRAS AGRÍCOLAS		CULTIVOS PERMANENTES		0,6	11,7	12,3	0,0	95,1	4,9	
		PASTOS	148,9	9,6	228,6	387,1	38,5	59,0	2,5	
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	457,0	59,5	1445,0	1961,5	23,3	73,7	3,0	
BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES		BOSQUES	451,3	32,5	940,0	1423,8	31,7	66,0	2,3	
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	1142,4	48,9	615,0	1806,2	63,2	34,0	2,7	
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	0,4	148,1	0,4	148,9	0,3	0,3	99,4	
AGUAS SUPERFICIALES		AGUAS CONTINENTALES	0,4	32,1	0,2	32,8	1,3	0,7	98,0	
TOTAL			2201,7	572,5	3243,5	6017,7	36,6	53,9	9,5	
Chacha Buesaco		TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS	0,3	159,8	2,1	162,1	0,2	1,3	98,5
			ZONAS INDUSTRIALES	1,4	160,5	3,2	165,1	0,9	1,9	97,2
		TIERRAS AGRÍCOLAS	CULTIVOS PERMANENTES	9,1	0,5	22,0	31,7	28,7	69,5	1,7
	PASTOS		256,5	161,9	817,1	1235,5	20,8	66,1	13,1	
	ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS		204,9	1148,7	17195,3	18548,9	1,1	92,7	6,2	
	BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	BOSQUES	1761,3	11272,4	13578,7	26612,4	6,6	51,0	42,4	
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	5147,6	3705,1	7086,4	15939,2	32,3	44,5	23,2	
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	7,7	339,6	26,2	373,5	2,1	7,0	90,9	
	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS CONTINENTALES	1,6	93,3	1,3	96,2	1,7	1,4	96,9	
	TOTAL			7390,3	17042,0	38732,4	63164,6	11,7	61,3	27,0
Chacha Buesaco	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS	0,4	450,4	1,7	452,5	0,1	0,4	99,5	
		ZONAS INDUSTRIALES	1,6	361,7	1,6	364,9	0,4	0,4	99,1	

Nivel 1	Nivel 2	Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja		
TIERRAS AGRÍCOLAS	CULTIVOS TRANSITORIOS	7,7	0,7	4,9	13,3	58,3	36,8	4,9		
	CULTIVOS PERMANENTES	15,4	2,7	119,7	137,9	11,2	86,8	2,0		
	PASTOS	865,1	50,8	506,2	1422,0	60,8	35,6	3,6		
	ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	266,1	85,0	2220,2	2571,3	10,3	86,3	3,3		
	BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	BOSQUES	405,8	38,0	2782,5	3226,3	12,6	86,2	1,2	
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	4190,7	138,3	1976,0	6305,0	66,5	31,3	2,2	
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	0,8	47,0	38,0	85,9	1,0	44,3	54,7	
AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS CONTINENTALES	0,7	49,7	0,8	51,1	1,3	1,6	97,1		
TOTAL		5754,4	1224,3	7651,5	14630,2	39,3	52,3	8,4		
El Peñol	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS	1,8	149,4	0,3	151,5	1,2	0,2	98,6	
		ZONAS INDUSTRIALES	0,4	55,2	0,9	56,5	0,7	1,6	97,7	
	TIERRAS AGRÍCOLAS	CULTIVOS TRANSITORIOS	11,4	0,5	19,2	31,2	36,7	61,6	1,8	
		CULTIVOS PERMANENTES	16,3	2,3	65,1	83,6	19,5	77,8	2,7	
		PASTOS	228,5	16,5	488,3	733,3	31,2	66,6	2,3	
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	877,3	33,2	576,5	1487,0	59,0	38,8	2,2	
	BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	BOSQUES	500,2	13,7	362,2	876,2	57,1	41,3	1,6	
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	722,4	32,7	2293,5	3048,6	23,7	75,2	1,1	
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	0,9	171,4	0,6	172,8	0,5	0,3	99,2	
	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS CONTINENTALES	0,3	67,0	0,4	67,7	0,4	0,7	99,0	
	TOTAL		2359,6	542,0	3807,0	6708,6	35,2	56,7	8,1	
	El Tablon	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS	0,2	252,9	1,5	254,6	0,1	0,6	99,4
			ZONAS INDUSTRIALES	0,0	29,0	0,7	29,8	0,1	2,3	97,6
TIERRAS AGRÍCOLAS		CULTIVOS PERMANENTES		0,6	17,6	18,2	0,0	96,7	3,3	
		PASTOS	57,7	452,6	3737,1	4247,5	1,4	88,0	10,7	
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	244,6	232,0	5242,8	5719,4	4,3	91,7	4,1	
BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES		BOSQUES	486,6	10631,9	5208,6	16327,0	3,0	31,9	65,1	
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	225,5	991,0	1503,5	2720,0	8,3	55,3	36,4	
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	1,2	940,1	7,1	948,5	0,1	0,8	99,1	
AGUAS SUPERFICIALES		AGUAS CONTINENTALES	0,6	346,1	5,3	352,0	0,2	1,5	98,3	
TOTAL			1016,5	13876,2	15724,3	30617,0	3,3	51,4	45,3	
El	ZONAS URBANIZADAS		11,0	0,2	11,2	0,0	1,8	98,2		

Nivel 1	Nivel 2	Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja	
TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS INDUSTRIALES	0,1	64,6	1,7	66,4	0,1	2,6	97,3	
TIERRAS AGRÍCOLAS	CULTIVOS TRANSITORIOS	45,7	2,6	65,2	113,5	40,3	57,5	2,3	
	CULTIVOS PERMANENTES	4,5	0,2	16,7	21,3	21,0	78,2	0,8	
	PASTOS	75,6	14,7	836,9	927,2	8,2	90,3	1,6	
	ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	291,9	66,9	2405,0	2763,9	10,6	87,0	2,4	
BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	BOSQUES	248,7	12,1	1685,8	1946,6	12,8	86,6	0,6	
	ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	6176,2	122,7	2079,9	8378,8	73,7	24,8	1,5	
	ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	1,2	239,4	3,3	243,9	0,5	1,3	98,2	
AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS CONTINENTALES	0,8	61,8	0,6	63,2	1,3	1,0	97,7	
TOTAL		6844,8	595,9	7095,3	14536,0	47,1	48,8	4,1	
La Florida	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS		6,1	0,1	6,1	0,0	1,1	98,9
		ZONAS INDUSTRIALES		11,1	0,1	11,2	0,0	1,0	99,0
	TIERRAS AGRÍCOLAS	CULTIVOS TRANSITORIOS				2,8	2,8	0,0	100,0
		CULTIVOS PERMANENTES				2,1	2,1	0,0	100,0
		PASTOS	73,5	2,6	218,2	294,3	25,0	74,1	0,9
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	117,3	73,1	2342,5	2532,9	4,6	92,5	2,9
	BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	BOSQUES	116,3	8,6	946,1	1070,9	10,9	88,3	0,8
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	576,6	7,6	311,0	895,1	64,4	34,7	0,9
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN		5,2	61,6	66,7	0,0	92,3	7,7
	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS CONTINENTALES	0,2	9,8	0,2	10,2	2,1	1,5	96,4
TOTAL		883,8	124,1	3884,4	4892,3	18,1	79,4	2,5	
Pasto Nariño	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS	0,0	24,6	0,0	24,6	0,1	0,2	99,7
	TIERRAS AGRÍCOLAS	CULTIVOS PERMANENTES		0,6	50,6	51,2	0,0	98,9	1,1
		PASTOS		1,5	87,7	89,2	0,0	98,3	1,7
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	137,4	43,9	1493,5	1674,7	8,2	89,2	2,6
	BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	BOSQUES	4,3	125,9	279,4	409,6	1,1	68,2	30,7
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA		144,8	143,6	288,3	0,0	49,8	50,2
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN		15,3	6,8	22,1	0,0	30,8	69,2
TOTAL		141,7	356,4	2061,6	2559,7	5,5	80,5	13,9	
TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS		2247,5	2,6	2250,0	0,0	0,1	99,9	

	Nivel 1	Nivel 2	Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja	
	TIERRAS AGRÍCOLAS	ZONAS INDUSTRIALES	0,0	179,0	2,0	181,1	0,0	1,1	98,9	
		CULTIVOS PERMANENTES	0,1	0,1	17,5	17,7	0,8	98,6	0,6	
		PASTOS	13,5	224,2	400,7	638,3	2,1	62,8	35,1	
	BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	83,3	4524,2	11653,3	16260,8	0,5	71,7	27,8	
		BOSQUES	97,1	4302,8	5913,0	10312,9	0,9	57,3	41,7	
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	9,4	325,6	848,2	1183,2	0,8	71,7	27,5	
	AGUAS SUPERFICIALES	ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	0,0	111,9	57,9	169,8	0,0	34,1	65,9	
		AGUAS CONTINENTALES	0,0	44,5	0,9	45,5	0,0	2,0	98,0	
	TOTAL			203,5	11959,8	18896,1	31059,3	0,7	60,8	38,5
	San Bernardo	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS	0,3	168,9	1,3	170,4	0,2	0,7	99,1
ZONAS INDUSTRIALES			0,2	71,4	1,1	72,8	0,3	1,5	98,2	
TIERRAS AGRÍCOLAS		CULTIVOS PERMANENTES	28,7	0,6		29,2	98,1	0,0	1,9	
		PASTOS	558,9	99,2	1741,7	2399,8	23,3	72,6	4,1	
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	523,7	72,1	1229,3	1825,1	28,7	67,4	3,9	
BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES		BOSQUES	331,8	180,8	1354,8	1867,4	17,8	72,5	9,7	
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	67,5	54,5	137,7	259,7	26,0	53,0	21,0	
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	0,3	166,0	1,5	167,9	0,2	0,9	98,9	
AGUAS SUPERFICIALES		AGUAS CONTINENTALES	0,3	65,4	1,3	67,0	0,4	2,0	97,6	
TOTAL			1511,7	878,9	4468,8	6859,3	22,0	65,1	12,8	
San PedroSan Lorenzo		TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS	0,3	162,0	1,0	163,3	0,2	0,6	99,2
			ZONAS INDUSTRIALES	0,6	102,7	2,3	105,5	0,6	2,1	97,3
		TIERRAS AGRÍCOLAS	PASTOS	120,8	17,1	641,3	779,2	15,5	82,3	2,2
	ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS		444,7	104,9	2550,5	3100,0	14,3	82,3	3,4	
	BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	BOSQUES	1082,7	45,1	1724,9	2852,7	38,0	60,5	1,6	
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	2479,3	70,7	1565,3	4115,3	60,2	38,0	1,7	
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	4,2	1330,0	2,3	1336,5	0,3	0,2	99,5	
	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS CONTINENTALES	0,6	33,2	0,4	34,2	1,8	1,2	96,9	
	TOTAL			4133,3	1865,5	6488,0	12486,8	33,1	52,0	14,9
	San PedroSan Lorenzo	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS		14,2	0,1	14,3	0,0	1,0	99,0
ZONAS INDUSTRIALES			0,0	22,1	0,6	22,7	0,0	2,7	97,3	
San PedroSan Lorenzo	TIERRAS AGRÍCOLAS	PASTOS	28,4	4,5	208,0	240,9	11,8	86,3	1,9	

Nivel 1	Nivel 2	Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja	
	ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	376,8	42,2	1251,3	1670,2	22,6	74,9	2,5	
	BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	BOSQUES	259,8	4,3	185,5	449,6	57,8	41,3	1,0
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	24,8	1,9	131,2	157,9	15,7	83,1	1,2
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	0,1	20,3	0,1	20,5	0,4	0,6	99,0
TOTAL		689,8	109,6	1776,9	2576,3	26,8	69,0	4,3	
Tamitango	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS	0,1	62,5	0,1	62,7	0,1	0,2	99,7
		ZONAS INDUSTRIALES	0,7	57,2	0,6	58,5	1,2	1,0	97,9
	TIERRAS AGRÍCOLAS	CULTIVOS PERMANENTES	7,5	0,6	10,7	18,8	39,9	56,9	3,2
		PASTOS	71,2	3,5	44,5	119,2	59,7	37,3	3,0
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	578,9	37,9	813,6	1430,4	40,5	56,9	2,6
	BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	BOSQUES	646,1	14,9	236,0	897,0	72,0	26,3	1,7
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	2044,9	62,3	2310,7	4418,0	46,3	52,3	1,4
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	2,0	1298,2	2,7	1302,8	0,2	0,2	99,6
	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS CONTINENTALES	0,3	90,3	0,5	91,1	0,4	0,5	99,1
	TOTAL		3351,7	1627,4	3419,5	8398,5	39,9	40,7	19,4
Tangua	TIERRAS AGRÍCOLAS	PASTOS		13,9		13,9	0,0	0,0	100,0
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS		1025,0	37,9	1062,9	0,0	3,6	96,4
	BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	BOSQUES		111,6	0,0	111,6	0,0	0,0	100,0
	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS CONTINENTALES		0,4		0,4	0,0	0,0	100,0
	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS INDUSTRIALES		0,0		0,0	0,0	0,0	100,0
	TIERRAS AGRÍCOLAS	PASTOS		0,0		0,0	0,0	0,0	100,0
TOTAL			1150,9	37,9	1188,8	0,0	3,2	96,8	
TOTAL GENERAL		37469,2	52389,4	11970,1	209559,6	17,9	57,1	25,0	

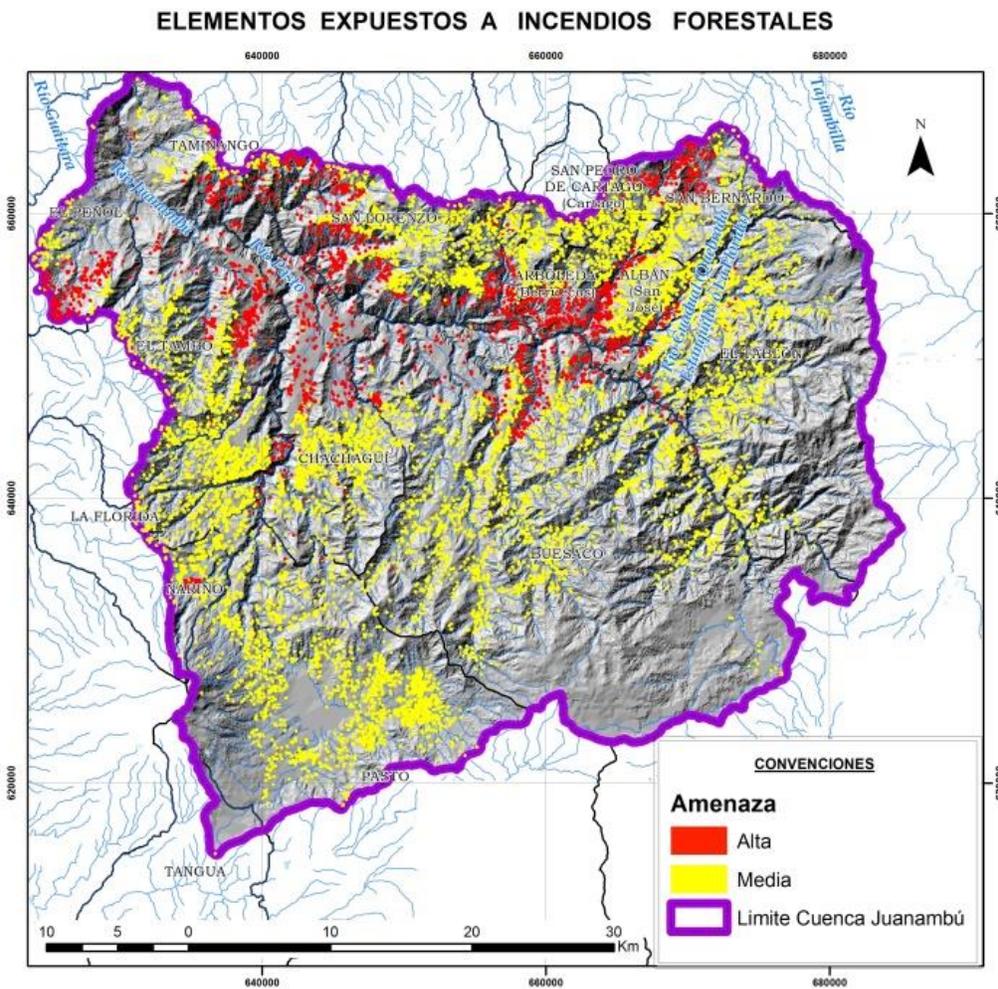
Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.10.1.4.1 Elementos expuestos a incendios forestales:

En la cuenca hidrográfica del Río Juanambú se encuentran expuestos diferentes elementos a amenaza por incendios forestales, estos están expuestos tanto a amenaza media (hacia el sur y el extremo norte de la subzona hidrográfica) como a amenaza alta (al norte de la cuenca, en las proximidades del Río Juanambú). En estas zonas se encuentran expuestas construcciones (Figura 87), dentro de las que sobresalen redes viales; zonas industriales; puentes; acueductos; tuberías; monumentos (Divina Pastora y Virgen de Fatima); iglesias (capillas de La Virgen, San Antonio, San Pedro, Divino Niño, Niño de Los

Reyes, Nuestra Señora de La Natividad, Nuestra Señora de Los Dolores, San José, Señor de Monserrate, Virgen de Los Reyes, las parroquias de Corazón de Jesús y María Auxiliadora); establecimientos educativos (colegios Agustín Agualongo, Campestre Los Libertadores, Militar Colombia, Nacionalizado El Chachagüí Sectorizado El Convento; escuelas de Camilo Torres, El Pedregal, El Tambillo, Guarango, Inmaculada, Juanoy Alto, La Isla, La Loma, La Palma, La Represa, Las Canchitas, Las Moras, Nuestra Señora de Fátima de El Barbero, Pompeya, Rural Mixta Ricaurte, Rural Mixta San José del Cidral Alto, Rural Mixta Santafé, Santa Clara; Jardín Infantil Mundo Mágico y Mapachico, entre otros); instalaciones de minería (cantera Juanoy); cementerios (Anganoy, Católico Nuestra Señora del Carmen, Catambuco, Jardines de Fátima, Nuestra Señora del Carmen, San Pedro y parque Cementerio), y centros de salud (Mapachico, El Convento y El Manzano).

Figura 87. Elementos expuestos en zonas de amenaza por Incendios Forestales.

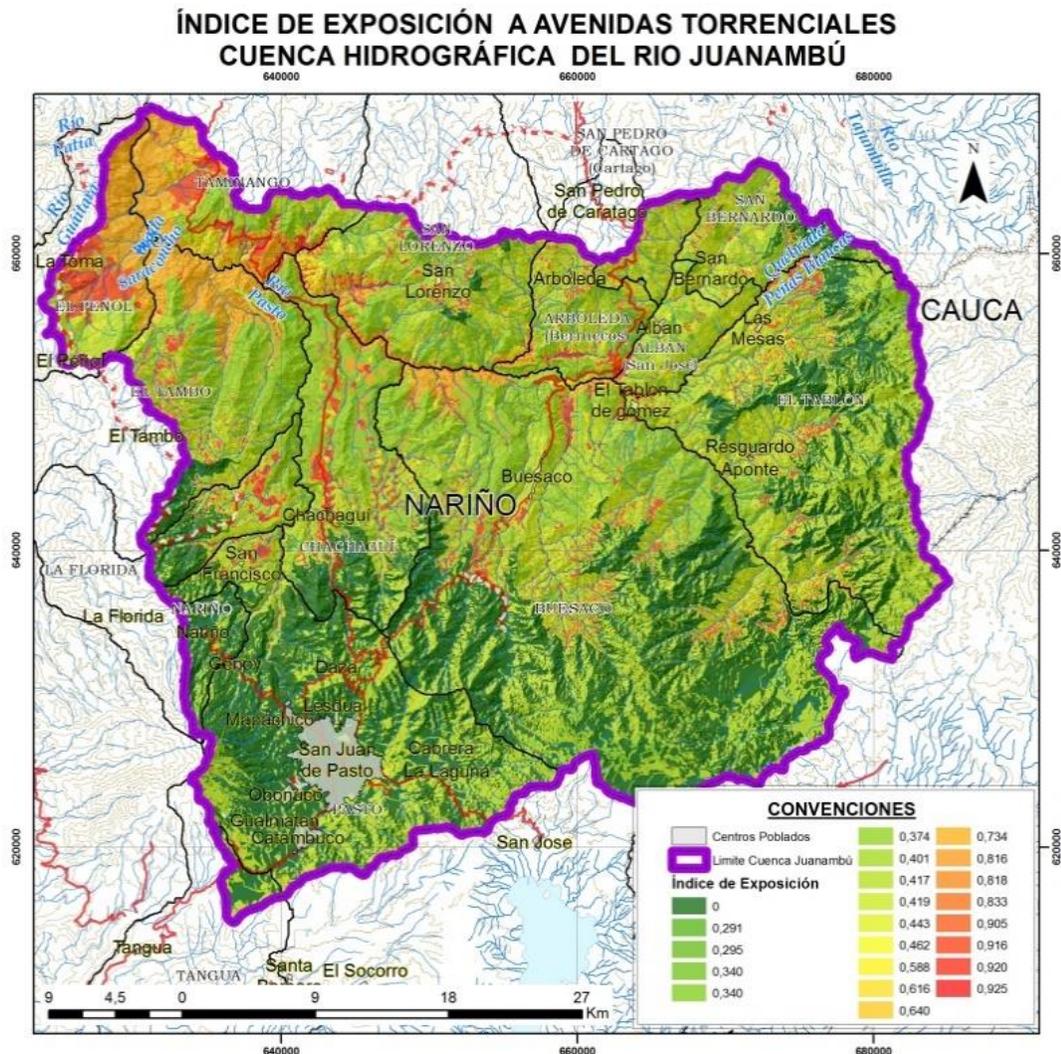


Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.10.1.5 ÍNDICE DE EXPOSICIÓN A AVENIDAS TORRENCIALES:

Por avenidas torrenciales la cuenca hidrográfica del Río Juanambú presenta los mayores índices de exposición en la región norte (Figura 88), en el área aledaña al Río Juanambú, presentando un grado mayor de pérdida en los municipios de El Peñol, Taminango, el norte de los municipios de Chachagüí, Buesaco, La Florida, Nariño, El Tambo, y el sur de los municipios de San Lorenzo, Arboleda, Albán, y al occidente de El Tablón.

Figura 88. Índice de exposición a avenidas torrenciales



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Para mayor detalle en lo referente al tipo y área de cobertura afectada por avenidas torrenciales (según su grado de amenaza: alta, media y baja), discriminada por cada uno de los municipios de la cuenca, se presenta la Tabla 46:

Tabla 46. Distribución de porcentual de pérdida por avenidas torrenciales para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.

	Nivel 1	Nivel 2	Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja	
Alban	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS	5,2	198,5		203,7	2,6	97,4	0,0	
		ZONAS INDUSTRIALES	3,0	35,3		38,4	7,9	92,1	0,0	
	TIERRAS AGRÍCOLAS	CULTIVOS TRANSITORIOS	0,2	42,3		42,5	0,5	99,5	0,0	
		CULTIVOS PERMANENTES	9,1	189,2		198,3	4,6	95,4	0,0	
		PASTOS	6,1	202,6		208,7	2,9	97,1	0,0	
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	93,4	1519,1		1612,6	5,8	94,2	0,0	
	BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	BOSQUES	116,8	867,4		984,2	11,9	88,1	0,0	
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	30,0	414,5		444,6	6,8	93,2	0,0	
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	0,5	85,8		86,4	0,6	99,4	0,0	
	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS CONTINENTALES	28,9	16,2		45,1	64,1	35,9	0,0	
	Total			293,4	3571,0		3864,4	7,6	92,4	0,0
Arboleda	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS	23,7	127,8		151,5	15,6	84,4	0,0	
		ZONAS INDUSTRIALES	9,1	84,4		93,4	9,7	90,3	0,0	
	TIERRAS AGRÍCOLAS	CULTIVOS PERMANENTES	1,3	11,1		12,3	10,3	89,7	0,0	
		PASTOS	38,4	347,7	1,0	387,1	9,9	89,8	0,3	
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	157,7	1803,8	0,1	1961,5	8,0	92,0	0,0	
	BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	BOSQUES	306,6	1096,9	20,2	1423,8	21,5	77,0	1,4	
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	284,8	1519,6	1,9	1806,2	15,8	84,1	0,1	
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	9,8	139,1		148,9	6,6	93,4	0,0	
	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS CONTINENTALES	10,3	22,5		32,8	31,3	68,7	0,0	
	Total			841,7	5152,8	23,2	6017,7	14,0	85,6	0,4
	Buesaco	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS	10,8	142,1	9,2	162,1	6,7	87,6	5,7
ZONAS INDUSTRIALES			12,3	152,8		165,1	7,4	92,6	0,0	
TIERRAS AGRÍCOLAS		CULTIVOS PERMANENTES		31,7		31,7	0,0	100,0	0,0	
		PASTOS	57,5	681,9	496,1	1235,5	4,7	55,2	40,2	
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	1425,5	10561,7	6561,8	18548,9	7,7	56,9	35,4	

	Nivel 1	Nivel 2	Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja	
	BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	BOSQUES	1090,6	13406,5	12115,3	26612,4	4,1	50,4	45,5	
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	1764,3	10971,4	3203,4	15939,2	11,1	68,8	20,1	
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	77,5	296,0		373,5	20,7	79,3	0,0	
	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS CONTINENTALES	56,7	39,5		96,2	59,0	41,0	0,0	
	Total			4495,2	36283,6	22385,8	63164,6	7,1	57,4	35,4
Chachangui	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS	180,5	265,8	6,2	452,5	39,9	58,7	1,4	
		ZONAS INDUSTRIALES	94,8	265,4	4,8	364,9	26,0	72,7	1,3	
	TIERRAS AGRÍCOLAS	CULTIVOS TRANSITORIOS	3,4	9,9		13,3	25,5	74,5	0,0	
		CULTIVOS PERMANENTES	7,4	79,1	51,3	137,9	5,4	57,4	37,2	
		PASTOS	353,7	989,5	78,9	1422,0	24,9	69,6	5,5	
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	396,3	1484,1	690,9	2571,3	15,4	57,7	26,9	
	BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	BOSQUES	351,1	1866,2	1009,0	3226,3	10,9	57,8	31,3	
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	1089,7	4439,6	775,6	6305,0	17,3	70,4	12,3	
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	6,7	38,8	40,4	85,9	7,8	45,2	47,0	
	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS CONTINENTALES	44,8	6,4		51,1	87,6	12,4	0,0	
	Total			2528,3	9444,7	2657,2	14630,2	17,3	64,6	18,2
	El Peñol	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS	26,3	125,2		151,5	17,4	82,6	0,0
			ZONAS INDUSTRIALES	34,9	21,7		56,5	61,7	38,3	0,0
		TIERRAS AGRÍCOLAS	CULTIVOS TRANSITORIOS	31,2			31,2	100,0	0,0	0,0
			CULTIVOS PERMANENTES	55,1	28,5		83,6	65,9	34,1	0,0
PASTOS			457,5	275,8		733,3	62,4	37,6	0,0	
ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS			935,4	551,6		1487,0	62,9	37,1	0,0	
BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES		BOSQUES	201,4	674,8		876,2	23,0	77,0	0,0	
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	2748,7	299,9		3048,6	90,2	9,8	0,0	
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	108,6	64,2		172,8	62,8	37,2	0,0	

	Nivel 1	Nivel 2	Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja	
	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS CONTINENTALES	67,7			67,7	100,0	0,0	0,0	
	Total		4666,9	2041,7		6708,6	69,6	30,4	0,0	
El Tablon	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS	19,7	234,9		254,6	7,7	92,3	0,0	
		ZONAS INDUSTRIALES	0,5	29,3		29,8	1,6	98,4	0,0	
	TIERRAS AGRÍCOLAS	CULTIVOS PERMANENTES	0,2	17,0	1,0	18,2	1,2	93,2	5,6	
		PASTOS	161,8	2118,9	1966,8	4247,5	3,8	49,9	46,3	
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	646,4	4381,4	691,6	5719,4	11,3	76,6	12,1	
	BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	BOSQUES	749,5	10603,9	4973,7	16327,0	4,6	64,9	30,5	
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	86,4	2227,0	406,6	2720,0	3,2	81,9	14,9	
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	56,9	712,6	179,0	948,5	6,0	75,1	18,9	
	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS CONTINENTALES	110,7	180,6	60,7	352,0	31,4	51,3	17,2	
	Total		1832,0	20505,6	8279,4	30617,0	6,0	67,0	27,0	
	El Tambo	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS	0,0	11,1		11,2	0,4	99,6	0,0
			ZONAS INDUSTRIALES	1,8	44,4	20,2	66,4	2,8	66,8	30,5
		TIERRAS AGRÍCOLAS	CULTIVOS TRANSITORIOS	1,8	88,9	22,8	113,5	1,5	78,4	20,1
CULTIVOS PERMANENTES			4,8	16,6		21,3	22,4	77,6	0,0	
PASTOS			26,7	663,6	236,9	927,2	2,9	71,6	25,6	
ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS			243,4	1992,9	527,6	2763,9	8,8	72,1	19,1	
BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES		BOSQUES	546,9	1259,1	140,6	1946,6	28,1	64,7	7,2	
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	3132,6	5191,3	54,9	8378,8	37,4	62,0	0,7	
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	107,0	134,7	2,2	243,9	43,9	55,2	0,9	
AGUAS SUPERFICIALES		AGUAS CONTINENTALES	56,3	6,9		63,2	89,1	10,9	0,0	
Total			4121,3	9409,5	1005,2	14536,0	28,4	64,7	6,9	
La Florida		TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS	4,9	1,3		6,1	79,1	20,9	0,0
			ZONAS INDUSTRIALES	11,2	0,0		11,2	99,9	0,1	0,0
	TIERRAS AGRÍCOLAS	CULTIVOS TRANSITORIOS	0,3	2,5		2,8	10,4	89,6	0,0	

	Nivel 1	Nivel 2	Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja	
		CULTIVOS PERMANENTES	1,9	0,2		2,1	90,2	9,8	0,0	
		PASTOS	50,4	178,0	65,9	294,3	17,1	60,5	22,4	
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	257,5	1211,7	1063,6	2532,9	10,2	47,8	42,0	
	BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	BOSQUES	285,3	610,6	175,0	1070,9	26,6	57,0	16,3	
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	71,1	784,0	40,0	895,1	7,9	87,6	4,5	
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	0,4	16,4	49,9	66,7	0,6	24,6	74,8	
	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS CONTINENTALES	3,8	6,4		10,2	37,5	62,5	0,0	
	Total			686,8	2811,0	1394,4	4892,3	14,0	57,5	28,5
	Nariño	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS		1,1	23,6	24,6	0,0	4,3	95,7
		TIERRAS AGRÍCOLAS	CULTIVOS PERMANENTES	8,3	26,6	16,3	51,2	16,2	51,9	31,9
PASTOS				14,3	75,0	89,2	0,0	16,0	84,0	
ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS			2,2	396,2	1276,3	1674,7	0,1	23,7	76,2	
BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES		BOSQUES	9,3	137,6	262,7	409,6	2,3	33,6	64,1	
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA		119,5	168,8	288,3	0,0	41,4	58,6	
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN		4,4	17,6	22,1	0,0	20,0	80,0	
Total			19,8	699,6	1840,3	2559,7	0,8	27,3	71,9	
Pasto		TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS	2,5	205,5	2042,0	2250,0	0,1	9,1	90,8
			ZONAS INDUSTRIALES		29,8	151,3	181,1	0,0	16,4	83,6
	TIERRAS AGRÍCOLAS	CULTIVOS PERMANENTES	1,8	3,1	12,9	17,7	9,9	17,5	72,6	
		PASTOS	13,6	140,0	484,8	638,3	2,1	21,9	75,9	
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	142,9	6088,7	10029,2	16260,8	0,9	37,4	61,7	
	BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	BOSQUES	197,1	5422,4	4693,4	10312,9	1,9	52,6	45,5	
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	20,1	443,7	719,4	1183,2	1,7	37,5	60,8	
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	5,2	62,4	102,2	169,8	3,0	36,7	60,2	
	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS CONTINENTALES	8,3	16,7	20,5	45,5	18,1	36,8	45,1	

	Nivel 1	Nivel 2	Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Total		391,4	12412,3	18255,7	31059,3	1,3	40,0	58,8
San Bernardo	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS	9,6	160,9		170,4	5,6	94,4	0,0
		ZONAS INDUSTRIALES	3,4	42,5	26,9	72,8	4,7	58,4	36,9
	TIERRAS AGRÍCOLAS	CULTIVOS PERMANENTES	13,0	16,3		29,2	44,4	55,6	0,0
		PASTOS	62,8	1574,4	762,6	2399,8	2,6	65,6	31,8
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	102,8	1545,2	177,1	1825,1	5,6	84,7	9,7
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	195,7	1328,8	342,9	1867,4	10,5	71,2	18,4
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	3,7	230,8	25,2	259,7	1,4	88,9	9,7
		Áreas abiertas sin vegetación	2,5	145,2	20,1	167,9	1,5	86,5	12,0
	Aguas superficiales	Aguas continentales	19,1	46,2	1,8	67,0	28,4	69,0	2,6
	Total			412,6	5090,3	1356,5	6859,4	6,0	74,2
San Lorenzo	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS	14,8	148,4		163,3	9,1	90,9	0,0
		ZONAS INDUSTRIALES	7,9	97,6		105,5	7,5	92,5	0,0
	TIERRAS AGRÍCOLAS	PASTOS	43,6	689,5	46,0	779,2	5,6	88,5	5,9
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	217,7	2826,8	55,5	3100,0	7,0	91,2	1,8
	BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	BOSQUES	650,5	2111,9	90,3	2852,7	22,8	74,0	3,2
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	795,1	3156,5	163,7	4115,3	19,3	76,7	4,0
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	629,0	702,0	5,5	1336,5	47,1	52,5	0,4
	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS CONTINENTALES	33,2	1,0		34,2	97,1	2,9	0,0
Total			2392,0	9733,8	361,1	12486,8	19,2	78,0	2,9
San Pedro de Cartago	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS		14,3		14,3	0,0	100,0	0,0
		ZONAS INDUSTRIALES	2,1	20,6		22,7	9,2	90,8	0,0
	TIERRAS AGRÍCOLAS	PASTOS	5,7	227,7	7,6	240,9	2,4	94,5	3,1
	TIERRAS AGRÍCOLAS	ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	91,1	1566,0	13,2	1670,2	5,5	93,8	0,8
	BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	BOSQUES	46,4	351,8	51,4	449,6	10,3	78,2	11,4
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	7,7	143,8	6,4	157,9	4,8	91,1	4,1

	Nivel 1	Nivel 2	Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	0,0	16,4	4,1	20,5	0,2	79,7	20,1
	Total		5430,7	2967,8		8398,5	64,7	35,3	0,0
Tamitango	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS	25,2	37,5		62,7	40,2	59,8	0,0
		ZONAS INDUSTRIALES	50,1	8,3		58,5	85,7	14,3	0,0
	TIERRAS AGRÍCOLAS	CULTIVOS PERMANENTES	0,8	18,0		18,8	4,1	95,9	0,0
		PASTOS	22,2	97,0		119,2	18,6	81,4	0,0
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	659,1	771,3		1430,4	46,1	53,9	0,0
	BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	BOSQUES	415,1	481,9		897,0	46,3	53,7	0,0
		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA	3203,7	1214,2		4418,0	72,5	27,5	0,0
		ÁREAS ABIERTAS SIN VEGETACIÓN	963,3	339,5		1302,8	73,9	26,1	0,0
	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS CONTINENTALES	91,1			91,1	100,0	0,0	0,0
	Total			5430,7	2967,8		8398,5	64,7	35,3
Tangua	TIERRAS AGRÍCOLAS	PASTOS			13,9	13,9	0,0	0,0	100,0
		ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	0,1	453,1	609,6	1062,9	0,0	42,6	57,4
	BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	BOSQUES		74,5	37,1	111,6	0,0	66,8	33,2
	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS CONTINENTALES		0,2	0,2	0,4	0,0	44,7	55,3
	Total		0,1	527,9	660,8	1188,8	0,0	44,4	55,6

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.10.1.5.1 Elementos expuestos a avenidas torrenciales:

Para la cuenca hidrográfica del Río Juanambú diferentes elementos se encuentran expuestos a amenaza alta por avenidas torrenciales, principalmente en la región norte y oriental, y a amenaza media por avenidas torrenciales, en la región. Se encuentran expuestas construcciones, dentro de las que sobresalen cementerios (Anganoy, Catambuco, El Señor del Amor, Jardines Cristo Rey, Jardines de Fátima, Nuestra Señora del Carmen, Jongovito, La Inmaculada, entre otros); puentes; establecimientos educativos (la Academy Of English Cambridge; los centros educativos del Arca de Noé, El Arte de Crecer, Fundación Belén, Pequeños Talentos; los colegios de Agustín Agualongo, Campestre Los Libertadores, Departamental, Departamental Rosaflorida, Emilio Botero, Filipense, Infantil Javeriano, Institución Educativa Municipal Mercedario, Jorge Eliecer Gaitan, José Antonio Galán, La Inmaculada, Las Margaritas, Militar Colombia, Musical Británico, Normal Nacional de

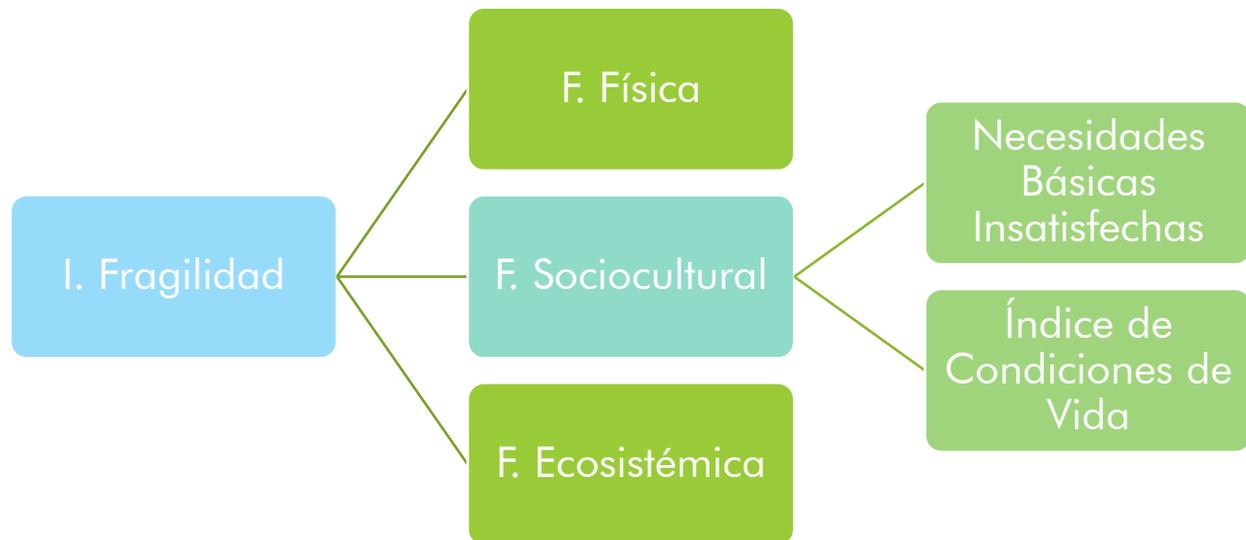
Pasto, Nuestra Señora de Las Lajas, Adultos Comfamiliar de Nariño, Sagrada Corazón de Jesús, Sagrado Corazón de Jesús, San Felipe; las escuelas de Camilo Torres, Aguapamba, Salud Sur Colombiana, Salud Surcolombia, El Pedregal, El Peñol, El Tambillo, Guarango, Inmaculada, Integrada San Francisco, Juanoy Alto, La Isla, La Loma, La Palma, La Represa, Las Canchitas, Las Moras, Nuestra Señora de Fátima de El Barbero, Pompeya, Rural Las Mesas, Rural Mixta Cocha Cano, Rural Mixta La Palizada, Rural Mixta Portal de Arada, Rural Mixta Ricaurte, Rural Mixta San José del Cidral Alto, Rural Mixta Santafé, San Bernardo, Santa Clara, Villa Luz; INEM; jardines infantiles como Creadores del Futuro, Exploradores, La Ciudad de Los Niños, Manos Creativas, Mi Libro Encantado, Miniaturas, Mundo Mágico, Pequeñines, Pequeños Sabios, Pequitas, Personitas Creativas, Sol Solicito, Antonio Nariño, Cooperativa de Colombia, y universidades como , Nariño Posgrados, Pasto, Mariana, Nacional Abierta y a Distancia y Santo Tomas Centro de Atención); iglesias (capillas de Cristo Redentor, de La Virgen, de San Antonio, de San Pedro, de Santa Cruz, Divino Niño, Jardines Cristo Rey, Niño de Los Reyes, Niño Jesús de Praga, Nuestra Señora de Los Dolores, Nuestra Señora de Lourdes, San José, San José de Botana, Señor de Monserrate, Señor del Amor Divino Puerres; la catedral del Sagrado Corazón de Jesús y las iglesias Adventista del Séptimo Día, , Centro Cristiano Cristo Salva, Cristiana Asamblea de Dios, Cristiana del Movimiento Misionero Mundial, Cristiana Pacto de Avivamiento, Cristianos, Cruzada Cristiana, de Dios Ministerial de Jesucristo Internacional, de Jesucristo de Los Santos de Los Últimos Días, del Rosario, Divino Niño, El Niño Jesús de Praga, Gualmatán San Miguel Arcángel, Inmaculada Concepción, Jardines de Las Mercedes, Jesucristo de Los Santos de Los Últimos Días, Jesús del Río, La Merced, Miraflores, Pentecostal Unida de Colombia, Portal de Aranda, San Agustín, San Bernardo, San Juan Bosco, Santo Sepulcro, Virgen del Rosario; las parroquias de Beato Ezequiel Moreno Díaz, Cristo Maestro, de Sagrada Familia, de San Francisco Javier (Sagrado Corazón de Jesús), María Auxiliadora, San Andrés, San Felipe Neri, San Juan Bautista); industria (Agro Andinos Ltda., Cantera Santa Leticia, Coca Cola, Embotelladora Nariñense LTDA (Coca Cola), Fabrica Bavaria, Jardines de La Merced, Ladrillera Rosa Pamba, Matadero Bellavista, Matadero Municipal y Matadero Municipal de Jongovito); instalaciones mineras (Cantera Juannoy, Ladrillera Las Terrazas y Ladrillera San Miguel); monumentos (Divina Pastora, Monumento Divino Niño, Niño Jesús de Praga, Virgen del Carmen, Virgen de fatima y Virgen de Fatima); centros de salud (EPS, Caprecom, Catambuco, Gualmatán, El Progreso, El Rosario, Lorenzo de Aldana, Mapachico, Primero de Mayo, Tamasagra; centros médicos El Pilar, San José, Valle de Atriz; clínicas Fátima, Palermo, Proinsalud; Coomeva; IPS. , y hospitales Civil Alberto Montezuma, Departamental, Infantil Los Ángeles, Local Civil, Universitario Departamental de Nariño); centros de seguridad (CAI, Base Militar Chapalito, Cárcel Judicial de Pasto, Comando de Policía de Pasto, Estación de Policía Zona Norte, Fiscalía General de La Nación Unidad Justicia y Paz y Policía Nacional Gaula), junto con otros sitios de interés (Acueducto Empopasto, la Alcaldía, asociaciones, Batallones, bibliotecas, centros comerciales, estadios, gobernaciones, hoteles, parques, plazas y teatros).

1.10.2 Fragilidad

Este es un factor que se establece de acuerdo con el evento evaluado, y depende de la disposición de la información para configurar la composición de cada una de las variables tenidas en cuenta; de acuerdo con lo expuesto en el protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo establecido por

el fondo de adaptación (2014), 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 89 :

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



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Como resultado de la evaluación de parámetros requeridos para la estimación de la fragilidad total, se propone la categorización presentada en la Tabla 47.

Tabla 47. Índice de fragilidad total.

VALOR	CATEGORÍA	ÍNDICE DE FRAGILIDAD (IF)
0.750 – 1.000	Alta	
0.500 – 0.750	Media	
0.000 – 0.500	Baja	

Fuente: Tomado de Fondo Adaptación, 2014. Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas.

1.10.2.1 FRAGILIDAD FÍSICA (FF):

La fragilidad física es la condición de susceptibilidad de los asentamientos humanos de ser afectados por estar en el área de influencia de los fenómenos peligrosos y por su falta de resistencia física ante

los mismos (Fondo Adaptación, 2014). De igual modo, la categorización de la fragilidad física es equivalente a la exposición frente a cada uno de los eventos amenazantes estudiados en la cuenca.

1.10.2.2 ÍNDICE DE FRAGILIDAD SOCIOCULTURAL.

La fragilidad sociocultural está asociada a la propensión de una comunidad a ser afectada por el embate de fenómenos de origen natural. Este tipo de fragilidad tiene en cuenta las condiciones de vida de los pobladores asentados tanto en zonas urbanas como rurales y los sitios del territorio que tengan un valor ancestral, tradicional y cultural propio de la región. Así pues, la estimación del índice de fragilidad sociocultural (F_{sc}) está relacionado con las variables expuestas en la siguiente ecuación:

$$F_{sc} = \text{Condiciones de vida (ICV)} + \text{Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI)} / 2$$

Fuente: Tomado de Fondo Adaptación, 2014. Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas.

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 (Ver Tabla 48).

Áreas de patrimonio natural y cultural considerando valores de 0-1 para el grado de importancia.

Formato: Vector tipo polígono.

Fuente: Consorcio POMCA.

Tabla 48. Áreas de Patrimonio Natural y Cultural para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.

Áreas de Patrimonio Natural y Cultural		
ID	Nombre Área Protegida	Importancia
1	Galeras	1
2	Doña Juana	1
3	Hoya hidrográfica de los ríos Bobo y Buesaquillo	1
4	Laguna La Cocha Cerro Patascoy	1
5	Cuenca	0

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Condiciones de vida (ICV)

Dentro de los parámetros que el ICV tiene en cuenta para medir la calidad de vida de la población se encuentra el nivel de hacinamiento, la educación, niveles de pobreza, entre otros. Este índice es medido a nivel municipal, y en gran medida representa los niveles de pobreza de una región. La siguiente

figura presenta los índices de calidad de vida para cada uno de los municipios que conforman la Cuenca (Ver Tabla 49).

ICV: Índice de condiciones de vida; información suministrada por la empresa del área social categorizada entre 0-1

Tabla 49. Valores índices de condiciones de vida por municipio.

Índice de Condiciones de Vida			
ID	NOMBRE_ENT	DEPARTAMENTO	ICV
1	Tangua	Nariño	56.1
2	Nariño	Nariño	68.9
3	Pasto	Nariño	83.5
4	La Florida	Nariño	59.9
5	Buesaco	Nariño	54.2
6	Albán (San José)	Nariño	58.1
7	El Tablón	Nariño	54.3
8	Chachanguí	Nariño	64.1
9	El Tambo	Nariño	59.8
10	Arboleda (Berruecos)	Nariño	45.4
11	San Bernardo	Nariño	52.3
12	San Pedro de Cartago (Cartago)	Nariño	50.9
13	El Peñol	Nariño	53.4
14	San Lorenzo	Nariño	52.0
15	Taminango	Nariño	59.6

Fuente: Tomado de DANE, 2005. Proyecciones Encuesta de Calidad de Vida.

Cabe resaltar que de acuerdo con los valores arrojados por la Encuesta de Calidad de Vida se asigna un valor de fragilidad relacionada con los datos proyectados.

Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI):

Se utilizan indicadores como el NBI (necesidades básicas insatisfechas) como referencia para la fragilidad, pues es un método que permite identificar carencias de una población y caracterizar la pobreza. 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) (Ver Tabla 50).

Formato: Vector tipo polígono.

Fuente: DANE.

NBI: Índice de necesidades básicas insatisfechas. Información suministrada por la empresa, categorizada entre 0-1 en niveles de porcentaje.

Tabla 50. Valores Índices de necesidades básicas insatisfechas por municipio.

Necesidades Básicas Insatisfechas			
ID	NOMBRE_ENT	DEPARTAMENTO	NBI
1	Tangua	Nariño	2407
2	Nariño	Nariño	461
3	Pasto	Nariño	13701
4	La Florida	Nariño	2110
5	Buesaco	Nariño	6246
6	Albán (San José)	Nariño	3584
7	El Tablón	Nariño	2713
8	Chachanguí	Nariño	2166
9	El Tambo	Nariño	2680
10	Arboleda (Berruecos)	Nariño	3458
11	San Bernardo	Nariño	3856
12	San Pedro de Cartago (Cartago)	Nariño	1626
13	El Peñol	Nariño	1545
14	San Lorenzo	Nariño	4626
15	Taminango	Nariño	3903

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

En la tabla se observa que los municipios con un mayor índice de necesidades básicas insatisfechas son los municipios de Pasto y Buesaco, dada su densidad de población. Por otro lado, los municipios con un menor índice son: Nariño y el Peñol.

1.10.2.3 FRAGILIDAD ECOSISTÉMICA (FE):

Hace referencia a la posible afectación que pudiesen sufrir especies de flora y fauna representativas de la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú. Se debe realizar un análisis de las condiciones de fragilidad de áreas protegidas y ecosistemas estratégicos. La categorización de la fragilidad, se basa en la identificación de la importancia ecológica, los beneficios y los servicios ambientales que pudieran afectar el sostenimiento y la vida de los pobladores que de ello dependen.

De este modo, la identificación de áreas protegidas (parques naturales regionales o nacionales, reservas forestales protectoras, y otros) y los ecosistemas estratégicos delimitados en el componente biótico del POMCA dan razón de las zonas que pudieran presentar determinada fragilidad frente a la ocurrencia de eventos naturales.

Corresponde a las zonas en las que se encuentran expuestos elementos que conforman áreas protegidas, que prestan servicios ambientales o satisfacen necesidades básicas (Ver Tabla 51 y Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Tabla 52).

Tabla 51. Categorías de fragilidad de los ecosistemas estratégicos.

ID	Tipo Ecosistema	Importancia
1	Áreas SINAP	0,75

ID	Tipo Ecosistema	Importancia
2	Áreas de Reglamentación Especial	0,3
3	Otras Áreas	0,3
4	Áreas Complementarias	0,3
5	Áreas de Importancia Ambiental	0,75

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Tabla 52. 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

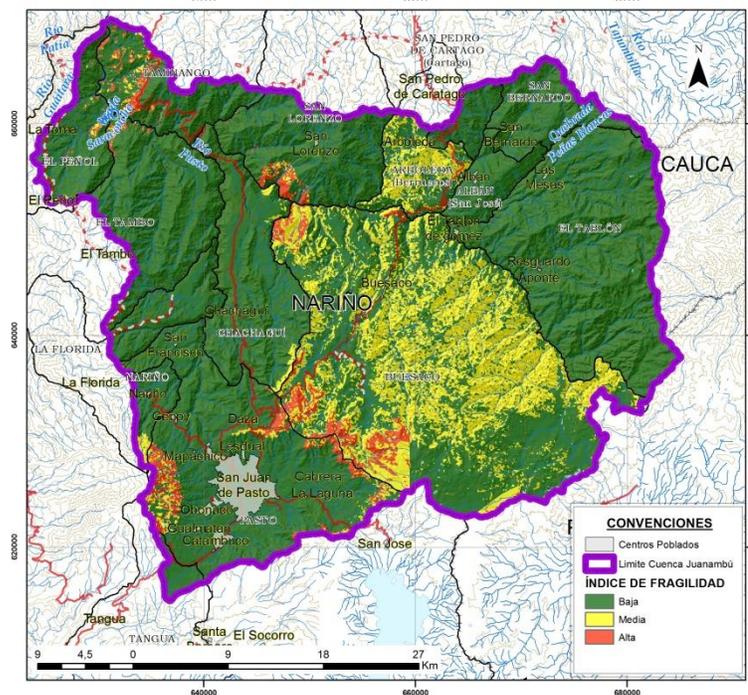
Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.10.2.4 ÍNDICE DE FRAGILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA:

Los mayores índices de fragilidad a movimientos en masa para la cuenca hidrográfica del Río Juanambú (Figura 90) están presentes hacia el área central, sur y noroccidental, condensados hacia los extremos del municipio de Pasto, el costado occidental del municipio de Buesaco y el municipio de Taminango, la región sur del municipio de San Lorenzo y la parte norte de El Tambo y El Peñol, abarcando un área de 5961,118776 Ha (que corresponde al 2,85% de la cuenca). Los valores medios del índice de fragilidad a movimientos en masa comprenden un área de 34492,4305 Ha (16,47% de la subzona hidrográfica) y se encuentran principalmente en los municipios de Buesaco, Arboleda y Colón, con algunas áreas menores en los municipios de Pasto, Chachagüí, San Lorenzo, Taminango, y El Peñol. Los valores bajos del índice comprenden la mayor parte del área de la cuenca, representando el 80,69% de ésta (169002,2711 Ha) y abarcando casi la totalidad de los municipios de La Florida, El Tambo, Chachagüí, Albán, San Pedro de Cartago, San Bernardo, Tangua y El Tablón.

Figura 90. Índice fragilidad a movimientos en masa.

**ÍNDICE DE FRAGILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA
CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO JUANAMBÚ**



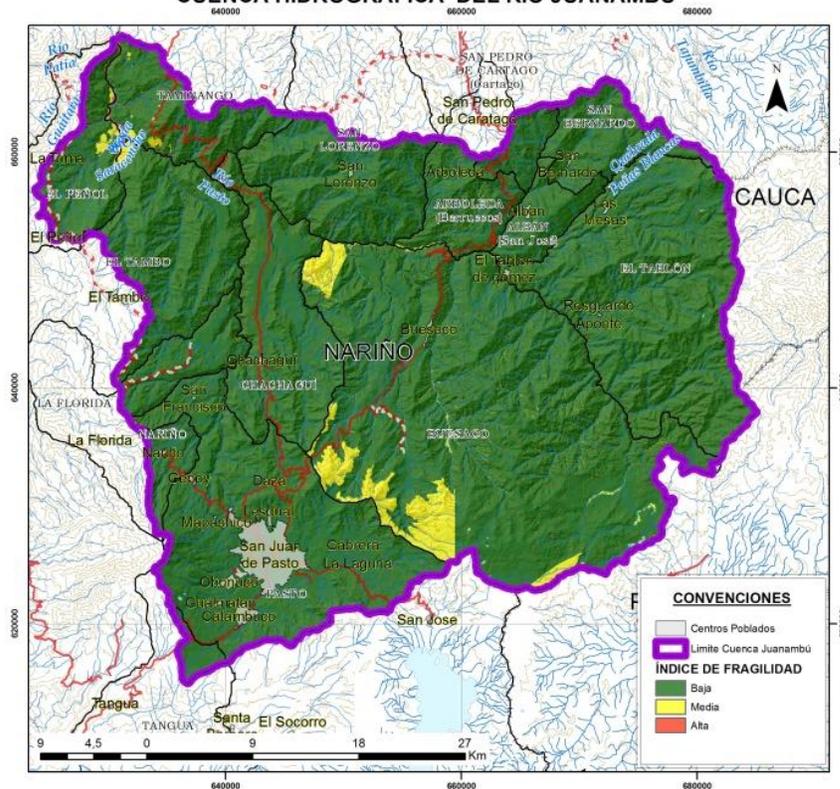
Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.10.2.5 ÍNDICE DE FRAGILIDAD A INUNDACIONES:

Se tiene un alto índice de fragilidad a inundaciones (Figura 91) en algunos sectores de los municipios de San Lorenzo, El Peñol y Taminango, comprendiendo un área de 507,497727 Ha (que corresponden a un 0,24% del área total de la cuenca). Los valores medios del índice se concentran hacia los principales afluentes del Río Juanambú en los municipios de Buesaco y Arboleda, la parte sur del municipio de Colón y Taminango, y la parte norte de los municipios de El Peñol y El Tambo, abarcando un área de 7311,769855 Ha (que equivale al 3,49% del área total de la cuenca). Los valores bajos del índice de fragilidad a inundaciones predominan sobre los valores altos y medios, encerrando un área de 201636,5528 Ha (es decir un 96,27% de la cuenca), concentrada principalmente en los municipios de Pasto, El Tambo, Chachagüí, La Florida, Albán, Nariño, Tangua, San Lorenzo, San Bernardo, San Pedro de Cartago y El Tabón.

Figura 91. Índice de fragilidad a inundaciones

**ÍNDICE DE FRAGILIDAD A INUNDACIONES
CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO JUANAMBÚ**



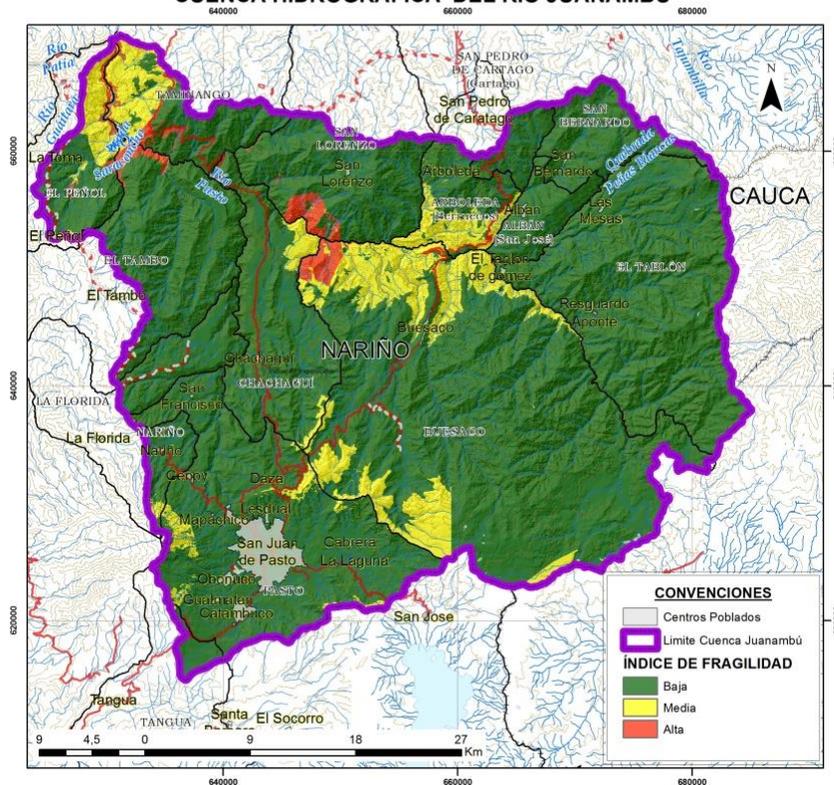
Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.10.2.6 ÍNDICE DE FRAGILIDAD A INCENDIOS FORESTALES:

El índice de fragilidad a incendios forestales es alto al noroccidente de la cuenca hidrográfica del Río Juanambú (Figura 92), abarcando un área de 3211,451686 Ha, que corresponde al 1,53% del área total de la cuenca y que se encuentra comprendida entre la región norte de los municipios de Buesaco, El Tambo y El Peñol, y el área sur de los municipios de San Lorenzo y Taminago. Los valores medios del índice se concentran hacia la región central, sur y noroccidental de la subzona hidrográfica, englobando un área total de 20213,1917 Ha (9,65% de la cuenca), en el municipio de Buesaco (hacia los extremos norte y sur de este municipio), el occidente del municipio de Taminago, el norte de los municipios de El Peñol y Chachagüí, el sur del municipio de Colón, Nariño y Arboleda, y hacia los bordes del municipio de Pasto. Los valores bajos del índice de fragilidad a incendios forestales comprenden la mayor parte de la cuenca (un 88,82% que corresponde a 186031,1769 Ha), abarcando principalmente los municipios de La Florida, El Tambo, Nariño, Tangua, Chachagüí, Albán, San Pedro de Cartago, San Bernardo y El Tablón.

Figura 92. Índice de fragilidad a incendios forestales

ÍNDICE DE FRAGILIDAD A INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO JUANAMBÚ



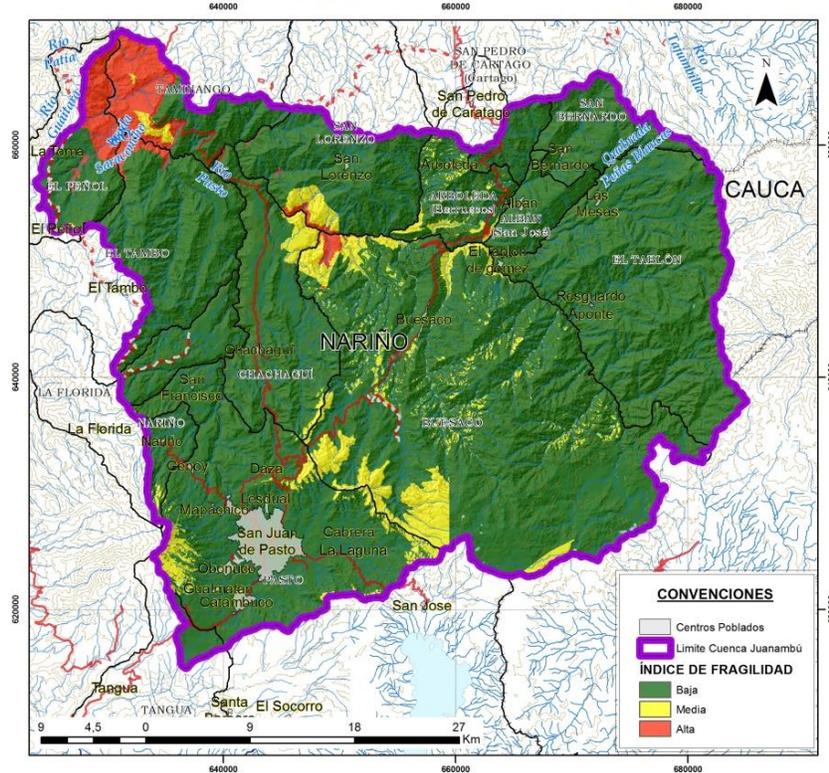
Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.10.2.7 ÍNDICE DE FRAGILIDAD A AVENIDAS TORRENCIALES:

El Índice de fragilidad a avenidas torrenciales (Figura 93) para la cuenca hidrográfica del Río Juanambú presenta valores altos, medios y bajos. Los valores altos del índice se concentran hacia el noroccidente de la subzona hidrográfica, en la parte norte de los municipios de Buesaco, El Peñol, Chachagüí y el Tambo, y en la parte sur de los municipios de Taminango y San Lorenzo, abarcando 7481,095533 Ha (que corresponden con el 3,57% de la subzona hidrográfica). Los valores medios del índice se concentran en el municipio de Buesaco; en el costado oriental y occidental del municipio de Pasto; en la zona sur de los municipios de Colón, San Lorenzo y Taminango, y la región norte del municipio de Chachagüí, abarcando un 6,93% del área total de la cuenca (14517,20758 Ha). Los valores bajos del Índice de fragilidad a avenidas torrenciales predominan sobre los valores medios y altos, abarcando un área de 187457,5172 Ha (89,50% de la cuenca), comprendidos hacia la parte oriental y occidental de la cuenca, concentrados en los municipios de La Florida, El Tambo, Nariño, CHachagüí, Tangua, El Tablón, Albán, San Bernardo y San Pedro de Cartago.

Figura 93. Índice de fragilidad a avenidas torrenciales

**ÍNDICE DE FRAGILIDAD A AVENIDAS TORRENCIALES
CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIO JUANAMBÚ**

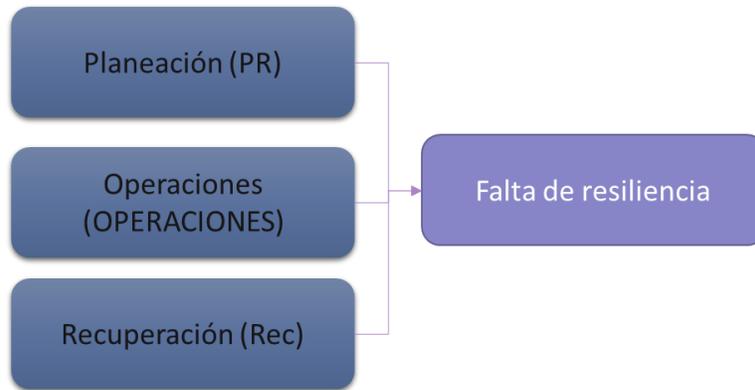


Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.10.3 Falta de Resiliencia

Hace referencia a la falta de capacidad tiene un sistema para recuperar su estado inicial cuando ha cesado la perturbación a la que había estado sometido (RAE), 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, por lo tanto se evalúa a través de las variables de planeación, operaciones y recuperación (Ver Figura 94).

Figura 94. Variables para determinar la falta de resiliencia.



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

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 realizó una serie de preguntas (Ver Tabla 53) dirigidas a los representantes de cada municipio que conforma el área de interés, para evaluar los diferentes componentes que conforman la valoración de la susceptibilidad por falta de resiliencia.

Tabla 53. Falta de resiliencia.

OBJETO:		DEFINIR LA RESILIENCIA NIVEL MUNICIPAL				
APLICADO A:		REPRESENTANTES DE LA COMUNIDAD				
ENCUESTADO:						
MUNICIPIO:						
ASPECTOS A EVALUAR EN LA FRAGILIDAD POR RESILIENCIA	PREGUNTA	CONSIDERACIONES	CALIFICACIÓN			
			BAJA	MEDIA	ALTA	
Percepción sobre los procesos amenazantes	Conocimiento y concientización de riesgos.	1. ¿Conoce las diferentes causas o factores naturales y sociales que inducen a la generación de desastres?	Alta: Desconoce las causas			
			Media: Conoce algunas causas			
			Baja: Conoce las causas			
Actitud frente a los desastres	Actitud previsoras ante la ocurrencia de un desastre.	2. ¿Conoce y aplica las acciones de prevención y Atención de desastres?	Alta: Desconoce las acciones			
			Media: Conoce algunas acciones			
			Baja: Conoce las acciones			
Capacidad de respuesta ante un desastre	Conocimiento acerca de que hacer antes,	3. ¿Usted cree que su comunidad Identifica los lugares que son propensos a que ocurra un evento amenazante?	Alta: Desconoce los lugares propensos			
			Media: Conoce algunos lugares propensos			
			Baja: Conoce todos los lugares propensos			
		4. ¿Ha recibido información o tiene	Alta: No ha recibido información			
			Media: Ha recibido			

OBJETO:	DEFINIR LA RESILIENCIA NIVEL MUNICIPAL						
APLICADO A:	REPRESENTANTES DE LA COMUNIDAD						
ENCUESTADO:							
MUNICIPIO:							
ASPECTOS A EVALUAR EN LA FRAGILIDAD POR RESILIENCIA	PREGUNTA	CONSIDERACIONES	CALIFICACIÓN				
			BAJA	MEDIA	ALTA		
durante y después de un evento amenazante.	conocimiento de que hacer antes, durante y después de ocurrir un desastre?	alguna información Baja: Ha recibido información					
	5. ¿Conoce los sitios más seguros de su barrio para resguardarse en caso de ocurrir un evento?	Alta: No ha recibido información Media: Ha recibido alguna información Baja: Los conoce					
	6. ¿Cómo reaccionaría al verse afectado por un evento amenazante?	Alta: Se aflige y desespera Media: No reacciona Baja: Reacciona y enfrenta el evento					
	7. ¿Identifica las vías seguras del municipio para la evacuación en caso de ocurrir un evento amenazante?	Alta: No identifica ninguna vía de evacuación Media: Identifica algunas vías de evacuación Baja: Identifica todas las vías de evacuación					
	Organismos de socorro e institucionalidad	8. ¿Sabe a qué organismos de socorro acudir en caso de ser afectado por un desastre?	Alta: No identifica ningún organismo Media: Identifica algunos organismos Baja: Identifica todos los organismos				
		Capacidad de recuperación post-evento	Capacidad económica	9. ¿Cuenta 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 puede recuperarse económicamente si es afectado por un desastre?	Alta: Necesitaría más de cinco años Media: Se recuperaría en uno a cinco años Baja: Se recuperaría en más de cinco años	

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Una vez obtenido el cuestionario, la cuantificación se realizó según la Tabla 54.

Tabla 54. Calificación de la categoría para cada respuesta realizada.

Categoría	Calificación
Baja	0
Media	0.5
Alta	1

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Luego de la calificación de estas encuestas se obtiene un promedio de las 10 preguntas realizadas a los representantes comunales a nivel municipal.

1.10.3.1 OPERACIONES (O):

Corresponde a la evaluación en cuando a la capacidad institucional con la que cuenta la zona, teniendo en cuenta la disponibilidad de la información se tuvo en cuenta la presencia de centros de salud, bomberos 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 como se muestra en la Tabla 55:

Tabla 55. Evaluación de la capacidad de respuesta institucional a partir de la distancia a su ubicación.

Valor	Distancia	Categoría
1	(15 a 35 km)	Lejano
0,5	(5 a 15 km)	Medio
0	(0 a 5 km)	Cercano

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

(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:

$$\text{Operaciones} = (\text{Dist. CS Reclasificada} * \text{Nivel de centro de salud})/2, (\text{Dist. B Reclasificada} * \text{Bomberos})/2, (\text{Dist. PBRO Reclasificada} * \text{Personal de búsqueda, rescate y orden público})$$

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 56 y Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Tabla 57).

Formato: Vector tipo polígono.

Fuente: Planes de ordenamiento territorial.

Tabla 56. 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 brinda 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: Consorcio POMCA 2015, 053

Tabla 57. Centros de salud presentes en la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.

Centros de Salud			
ID	NOMBRE_GEO	CALIFICACIÓN	NIVEL
1	Puesto de Salud	0,8	Nivel 1
2	Puesto de Salud El Manzano	0,8	Nivel 1
3	Centro de Salud	0,8	Nivel 1
4	Hospital San Miguel	0	Inexistente
5	Centro de Salud Nuestra Señora de Fátima	0,8	Nivel 1
6	Puesto de Salud El Convento	0,8	Nivel 1
7	Hospital Clarita Santos	0,8	Nivel 1
8	Puesto de Salud Hugo Buendía	0,8	Nivel 1
9	Hospital Pío XII	0	Nivel 3
10	Centro de Salud IPS Buesaco	1	Inexistente
11	Hospital Civil Alberto Montezuma	0	Nivel 3
12	Hospital Mental Nuestra Señora del Perpetuo Socorro	0	Nivel 3
13	EPS. Indígena Mallamas	0,4	Nivel 2
14	Hospital Departamental	0	Nivel 3
15	Centro Medico El Pilar	0,8	Nivel 1
16	Asilo El Perpetuo Socorro	1	Inexistente
17	Centro de Salud La Rosa	0,8	Nivel 1
18	Cooameva EPS. Medicoop	0,4	Nivel 2
19	Nueva EPS	0,8	Nivel 1
20	Hospital Infantil Los Ángeles	0	Nivel 3
21	Unidad Médica Nariño	1	Inexistente
22	Centro de Salud San Vicente	0,8	Nivel 1
23	Cooameva EPS	0,4	Nivel 2
24	EPS Salud Cóndor	0,4	Nivel 2
25	Unidad Médica El Bosque	1	Inexistente
26	Fundación Unisalud	0,8	Nivel 1
27	Nueva EPS. IPS. Sur Salud	0,8	Nivel 1
28	Asmet Salud EPS.	1	Inexistente
29	Saludcoop Clínica de Los Andes	0	Nivel 3
30	Palermo Imagen	1	Inexistente
31	Medicoop Coomeva EPS	0,8	Nivel 1
32	Centro Medico Valle de Atriz	0,4	Nivel 2
33	Hospital San Rafael	0	Nivel 3
34	Provisalud	0,8	Nivel 1

Centros de Salud			
ID	NOMBRE_GEO	CALIFICACIÓN	NIVEL
35	Saludcoop EPS	0,8	Nivel 1
36	EPS. Comfamiliar Nariño	0,4	Nivel 2
37	Clínica Proinsalud	0,4	Nivel 2
38	IPS. Profesalud	0,8	Nivel 1
39	Emmsanar IPS	0,4	Nivel 2
40	Fundación Hospital San Pedro	0	Nivel 3
41	Clínica Palermo	0,4	Nivel 2
42	Centro de Salud Mapachico	0,8	Nivel 1
43	Los Ángeles IPS	0,8	Nivel 1
44	Clínica Fátima	0,4	Nivel 2
45	Centro de Salud Catambuco	0,8	Nivel 1
46	Centro de Salud de Gualmatán	0,8	Nivel 1
47	Centro de Salud Primero de Mayo	0,8	Nivel 1
48	Hospital Local Civil	0	Nivel 3
49	Caprecom	0,8	Nivel 1
50	IPS. Kinesis Fisioterapia Acuaterapia	0,8	Nivel 1
51	Hospital Departamental de Nariño Ese.	0	Nivel 3
52	Centro Hospital La Rosa	0,8	Nivel 1
53	Centro de Salud Puesto Obonuco	0,8	Nivel 1
54	Centro de Salud Tamasagra	0,8	Nivel 1
55	Centro de Salud El Rosario	0,8	Nivel 1
56	Consultorio Medico	0,8	Nivel 1
57	Centro Medico San José	0,8	Nivel 1
58	IPS: Mega Salud Nariño	1	Inexistente
59	Centro de Salud Mis Kikes	0,8	Nivel 1
60	Centro de Salud El Progreso	0,8	Nivel 1
61	Centro de Salud Lorenzo de Aldana	0,8	Nivel 1
62	Pasto Salud	1	Inexistente

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Bomberos: se evalúa la presencia de un cuerpo de bomberos, teniendo en cuenta que son la institución llamada a cumplir funciones de prevención y atención de incendios, desastres y otras calamidades conexas, así como para la educación social y comunitaria (MININTERIOR, 2007).

Formato: Vector tipo polígono.

Fuente: Planes de ordenamiento territorial.

A continuación en la Tabla 58 se muestra la evaluación que se signa según la capacidad de respuesta por parte del cuerpo de bomberos.

Tabla 58. Evaluación de la capacidad de respuesta por parte del cuerpo de bomberos.

Valor	Clasificación de bomberos
1	Inexistente
0,75	Malo
0,5	Regular
0	Bueno

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

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 pública 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. Formato: Vector tipo polígono. Fuente: Planes de ordenamiento territorial (Ver Tabla 59).

Formato: Vector tipo polígono.

Fuente: Planes de ordenamiento territorial.

Tabla 59. Calificación: Personal de búsqueda, rescate y orden público.

Valor	Evaluación de PBROP
1	Inexistente
0	Existente

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Tabla 60. Estandarización y calificación de la falta de resiliencia medida en disponibilidad de una estación de policía.

Estaciones de Policia	
Valor	NOMBRE_Geo
0	Inspección de Policia
0	Puesto de Policia
0	Inspección de Policia San José de Matituy
0	Policia Nacional
0	Inspección Departamental de Tránsito
0	Cárcel Judicial de Pasto
0	Comando de Policia de Pasto
0	Tercera Brigada
0	Comando de Atención Inmediata Policía Nacional Obrero
0	Estación de Policía Zona Norte
0	Policia Nacional Gaula
0	CAI. El Dorado
0	CAI. Morasurco
0	Estación de Policía Catambuco
0	CAI. Corazón de Jesús
0	Fiscalía General de la Nación Unidad Justicia y Paz
0	CAI. Plaza del Carnaval
0	CAI. Simón Bolívar
0	CAI. Cementerio
0	CAI. La Rosa
0	CAI. Chambú
0	CAI. Miraflores I.
0	Base Militar Chapalito Tercera Brigada

Estaciones de Policia	
0	CAI. Zona Sur Popular
0	CAI. Potrillo

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Tabla 61. Estandarización y calificación de la falta de resiliencia medida en disponibilidad de una institución de rescate.

Instituciones de Rescate	
ID	NOMBRE_GEO
0	Cruz Roja Colombiana
0	Defensa Civil Colombiana

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.10.3.2 RECUPERACIÓN (REC):

Relacionado con los niveles de desarrollo, económicos y sociales que reflejan la fortaleza que puede presentar una comunidad para recuperarse ante un evento, y por lo tanto se tienen en cuenta las siguientes variables para su evaluación:

Nivel de desarrollo: Corresponde al nivel de desarrollo de acuerdo con las condiciones de bienestar dadas para la comunidad, incluyendo la evaluación del nivel de calidad de vida, organización y planificación social en el área, elementos que indican fortaleza institucional. Se puede inferir del componente de problemas, causas y efectos de la dimensión económica de los documentos municipales. Formato: Vector tipo polígono. Fuente: Planes de ordenamiento territorial e informes de rendición de cuentas (Ver Tabla 62 y Tabla 63).

Tabla 62. Calificación según el nivel de desarrollo.

Valor	Nivel de desarrollo
1	Bajo
0,5	Medio
0	Alto

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Tabla 63. Estandarización y calificación de la falta de resiliencia medida en disponibilidad de nivel de desarrollo.

NIVEL DE DESARROLLO				
ID	NOMBRE_ENT	DEPARTAMENTO	V_ND	DESCRIPCIÓN
1	Tangua	Nariño	0,500178	Intermedio
2	Nariño	Nariño	0,538839	Intermedio
3	Pasto	Nariño	0,635204	Intermedio
4	La Florida	Nariño	0,513475	Intermedio
5	Buesaco	Nariño	0,453514	Alto
6	Albán (San José)	Nariño	0,483756	Alto
7	El Tablón	Nariño	0,511627	Intermedio

NIVEL DE DESARROLLO				
ID	NOMBRE_ENT	DEPARTAMENTO	V_ND	DESCRIPCIÓN
8	Chachagüí	Nariño	0,552926	Intermedio
9	El Tambo	Nariño	0,510341	Intermedio
10	Arboleda (Berruecos)	Nariño	0,382585	Alto
11	San Bernardo	Nariño	0,494998	Alto
12	San Pedro de Cartago (Cartago)	Nariño	0,510285	Intermedio
13	El Peñol	Nariño	0,520074	Intermedio
14	San Lorenzo	Nariño	0,5037	Intermedio
15	Taminango	Nariño	0,47668	Alto

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Nivel educativo: corresponde al nivel 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, como se especifica en la Guía Plan Escolar para la Gestión de riesgo, realizado por el Ministerio del Interior y de Justicia (MININTERIOR, 2010) con la que se ha buscado integrar a estas instituciones en la formulación, actualización e implementación de planes para la gestión del riesgo. Formato: Vector tipo polígono. Fuente: Planes de ordenamiento territorial e informes de rendición de cuentas (Ver **Tabla 64**).

Tabla 64: Calificación según el nivel educativo.

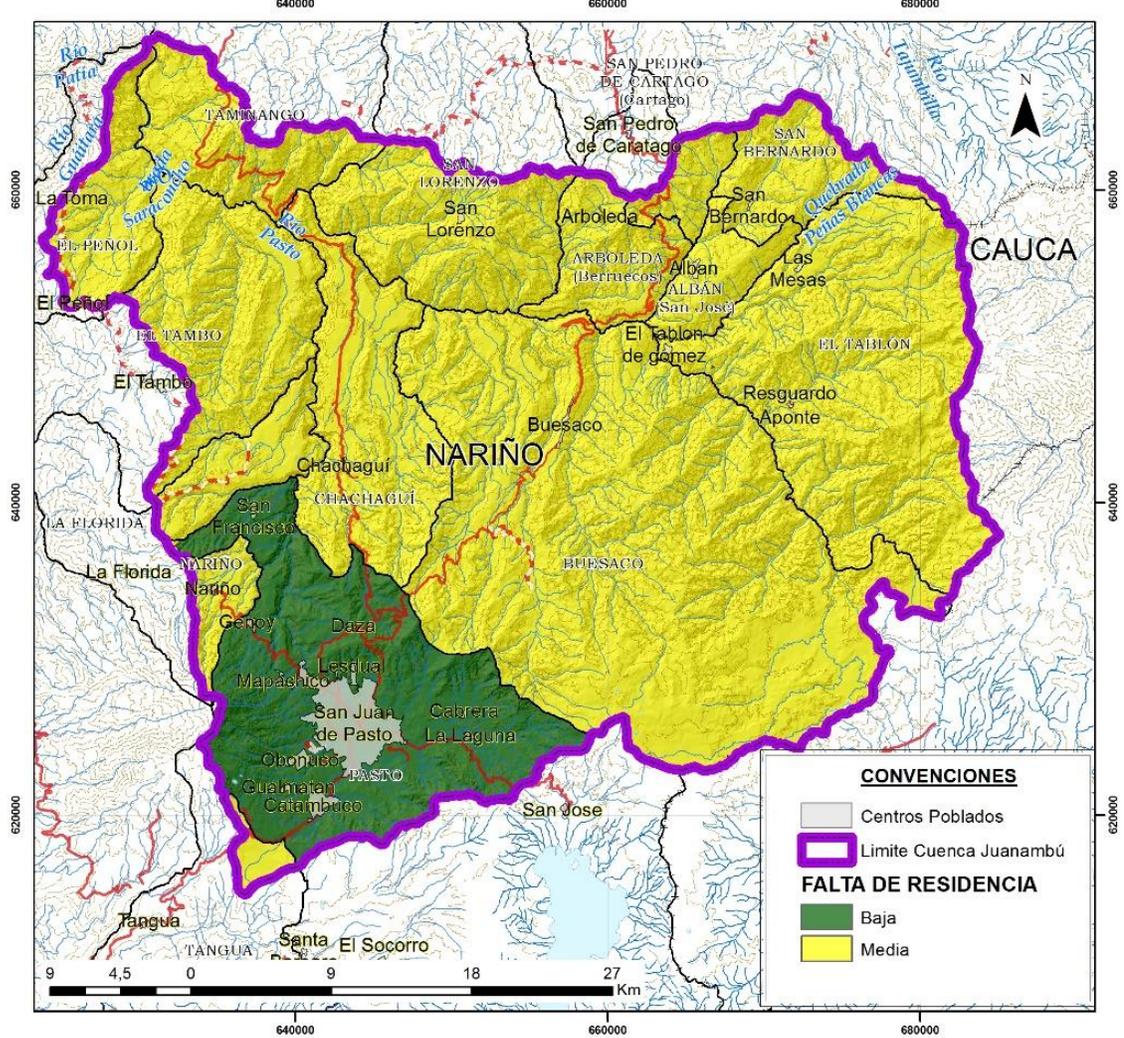
Valor	Nivel educativo
1	Inexistencia o muy baja calidad
0,5	Calidad media
0	Alta calidad

Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Finalmente, al realizar relaciones de importancia y pertinencia de variables por procesos analíticos jerárquicos se obtiene el índice de falta de resiliencia (Figura 95). En este mapa de la cuenca hidrográfica del Río Juanambú se observa como este índice oscila solamente entre valores medios y bajos, predominando los valores medios sobre los bajos. Los valores medios abarcan un total de 178452,4542 Ha (85,20% del área total de la cuenca) y los valores bajos del índice de falta de resiliencia un 14,81% (31003,36691 Ha), comprendiéndose entre los municipios de Pasto y Nariño, al sur.

Figura 95. Falta de Resiliencia

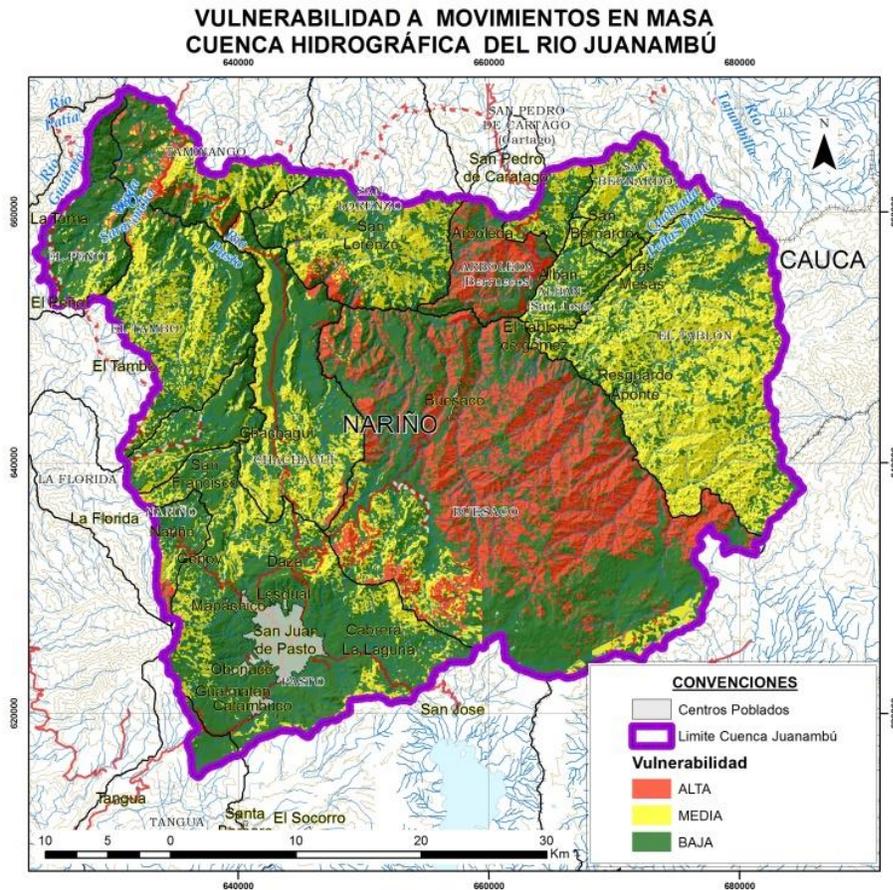
FALTA DE RESILIENCIA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO JUANAMBÚ



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

1.10.6 Vulnerabilidad a movimientos en masa

Figura 96. Vulnerabilidad a movimientos en masa

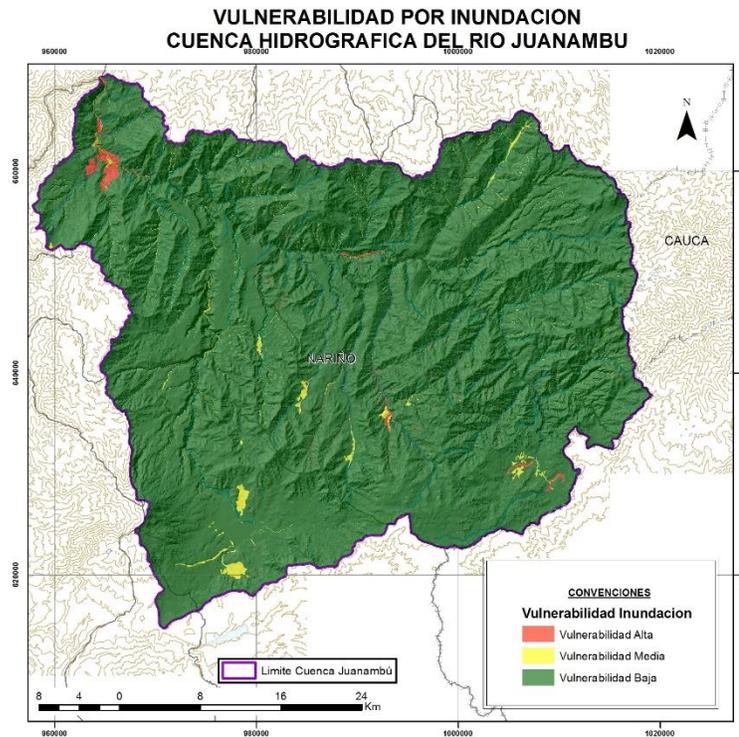


Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

La vulnerabilidad alta a movimientos en masa (Figura 96) se concentra en los municipios de Buesaco y Arboleda, en el área norte de los municipios de Colón y El Peñol, la parte occidental de los municipios de Taminango y El Tambo, y en la zona sur de los municipios de Nariño y San Lorenzo, abarcando un área de 31153,20061Ha (que corresponde al 14,87% de la cuenca). La vulnerabilidad media a movimientos en masa constituye un 28,20% (es decir que corresponde a 59057,78854 Ha) y se encuentra concentrada en los municipios de San Pedro de Cartago, El Tablón, El Tambo, San Lorenzo, Albán y San Bernardo, y en sectores aislados de los municipios de Pasto, Chachagüí, Buesaco, Taminango, El Peñol, La Florida y Nariño. Finalmente, la vulnerabilidad baja a movimientos en masa se concentra en los municipios de Pasto, El Peñol, La Florida, Nariño, Chachagüí y Colón, aunque también está presente en el resto de la cuenca hidrográfica del Río Juanambú constituyendo el 56,93% (119244,8321 Ha del área total de la cuenca).

1.10.7 Vulnerabilidad a inundaciones

Figura 97. Vulnerabilidad a inundaciones

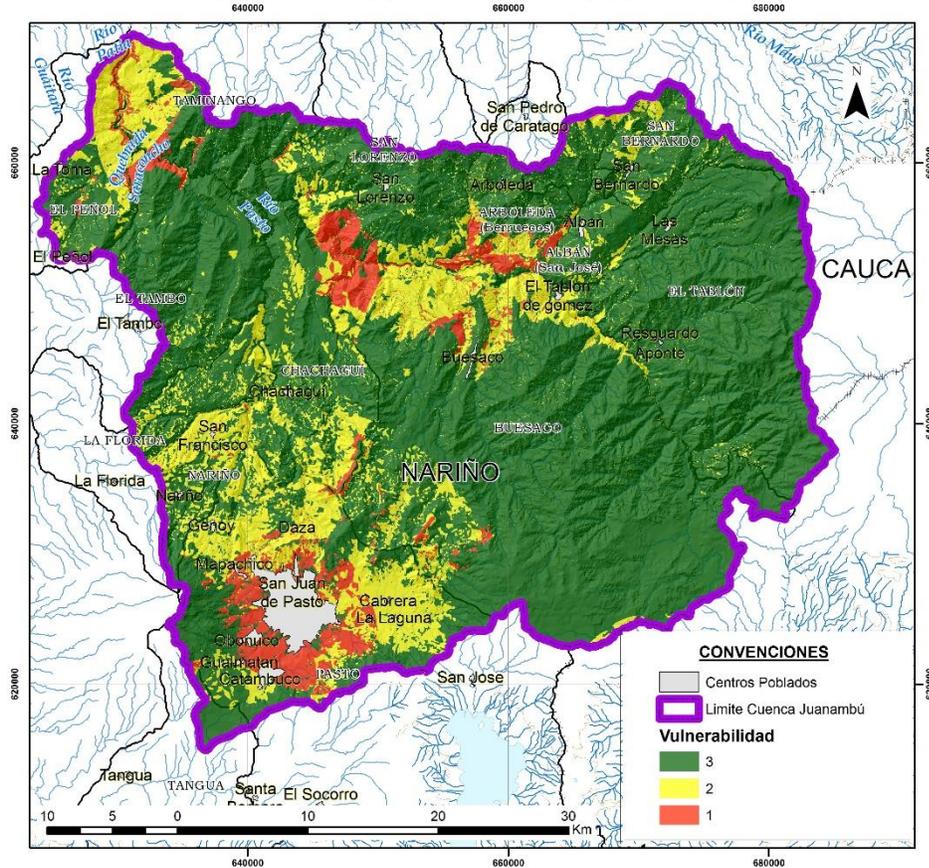


La vulnerabilidad frente a las inundaciones lentas (Figura 97) presenta zonificación alta, media y baja. Los sectores con vulnerabilidad alta se focalizan hacia el norte, en las zonas aledañas al cauce del Río Juanambú y de sus principales tributarios, abarcando un área de 1886 Has (0,90% de la cuenca); en los sectores con vulnerabilidad media, las inundaciones se concentran hacia los municipios de San Bernardo, Chachagüí, El Peñol, El Tambo y Taminango, comprendiendo un área de 3369 Has (1.61% de la subzona hidrográfica). Por último, las áreas con vulnerabilidad baja a inundaciones representan el 97,48% (203583 Ha de la cuenca), abarcando los municipios de Pasto, Buesaco, Tangua, El Tablón, Arboleda, San Lorenzo, Nariño, Albán, La Florida, entre otros.

1.10.8 Vulnerabilidad a incendios forestales

Figura 98. Vulnerabilidad a incendios forestales

**VULNERABILIDAD A INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL
CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO JUANAMBÚ**



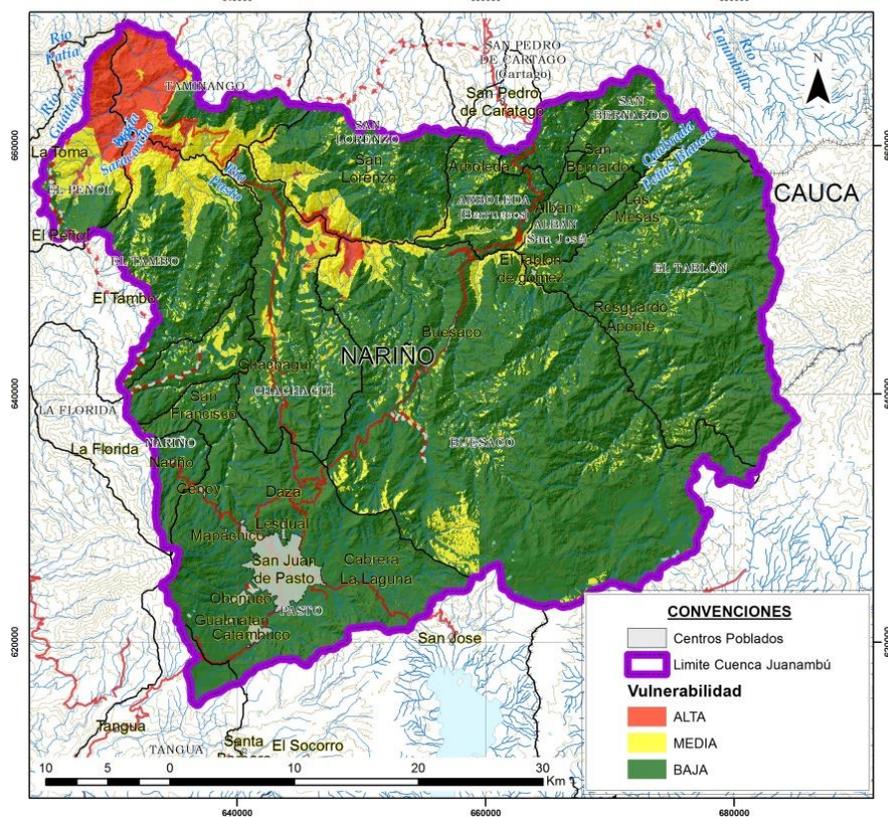
Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

La cuenca hidrográfica de Río Juanambú (Figura 98) se caracteriza por presentar valores bajos de vulnerabilidad a incendios de la cobertura vegetal, abarcando un total de 163624,812 Ha (78,12% de la subzona hidrográfica) distribuidas principalmente hacia el área central, la zona sur y la zona oriental de la cuenca. Por otro lado, los valores altos de vulnerabilidad a incendios forestales se centran en el área norte de la cuenca, al norte de los municipios de El Tambo, Chachagüí y Buesaco, al sur de los municipios de Taminango, San Lorenzo y Arboleda y al oriente del municipio de El Peñol, abarcando un área de 12448,57444 Ha (5,94% de la subzona hidrográfica). Finalmente, las áreas con vulnerabilidad media se localizan al norte y sureste de la cuenca hidrográfica del Río Juanambú, abarcando un total de 33382,43468 Ha (15,94% del área total), cubriendo gran parte del municipio de Taminango; el sur de los municipios de San Lorenzo, Buesaco, Colón y Albán; Arboleda (en su parte central); el norte de los municipios de El Tambo y Chachagüí; el oriente de La Florida y El Peñol, y el occidente del municipio de El Tablón.

1.10.9 Vulnerabilidad a avenidas torrenciales

Figura 99. Vulnerabilidad a avenidas torrenciales

**VULNERABILIDAD A AVENIDAS TORRENCIALES
CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO JUANAMBÚ**



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

La vulnerabilidad baja frente a avenidas torrenciales en la cuenca hidrográfica del Río Juanambú (Figura 99) abarca 177047,930419 Ha (que corresponden con el 84,53% de la subzona hidrográfica), predominando en los municipios de Pasto, Tangua, El Tablón, Colón, Nariño, Albán, La Florida, San Pedro de Cartago y San Bernardo; seguida por un porcentaje menor de áreas con vulnerabilidad media (en total 24597,675099 Ha, que corresponden al 11,74% de la cuenca), las cuales se ubican principalmente en la región noroccidental de la cuenca hidrográfica y comprendiendo el área norte de los municipios de El Tambo y Chachagüí; el área central del municipio de El Peñol, la zona sur de los municipios de Taminango, San Lorenzo y Arboleda, junto con pequeñas regiones de los municipios de Buesaco, El Tablón y San Bernardo. Por último, las regiones con vulnerabilidad alta a avenidas torrenciales, están ubicadas hacia el sector noroccidental de la cuenca hidrográfica del Río Juanambú, en los municipios de Taminango, El Tambo, El Peñol, el noroccidente de Buesaco, el nororiente de Chachagüí y el sur de San Lorenzo, abarcando un total de 7810,215548 Ha (3,73% de la cuenca).

1.11 ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE RIESGOS

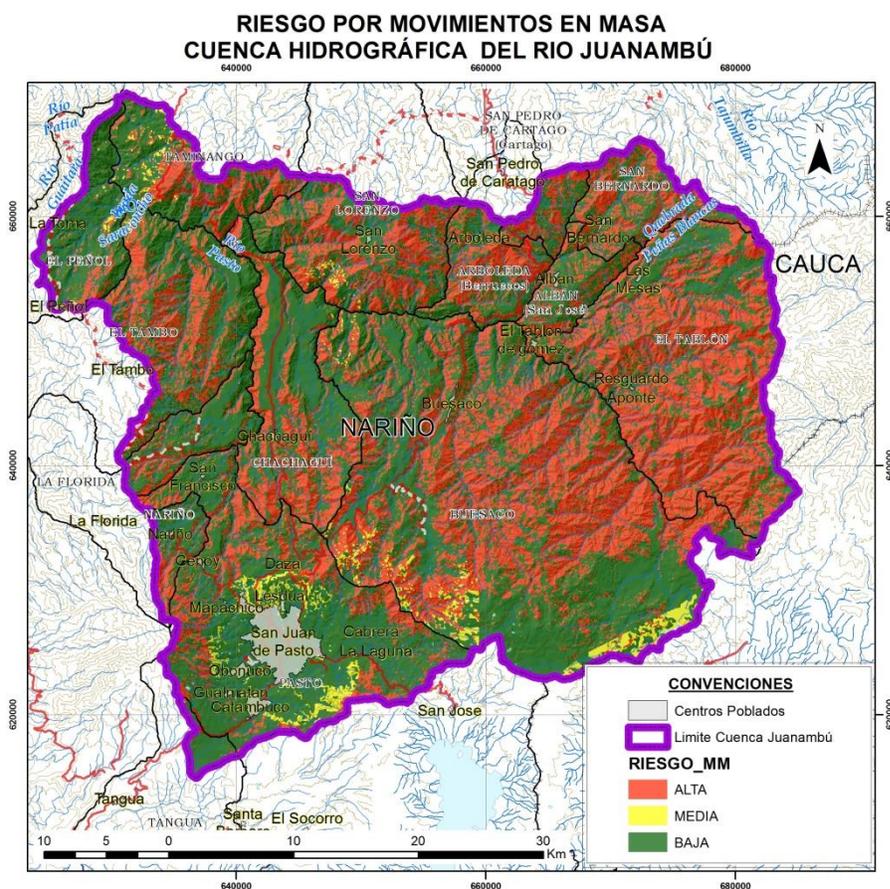
Para generar la información de riesgos para cada una de las amenazas evaluadas se realiza el cruce (ver 0) entre la capa de Amenaza por Inundación, Avenidas Torrenciales, Incendios Forestales y Movimientos en Masa respectivamente y la capa de Vulnerabilidad; sobre la capa generada se evalúan los atributos de Amenaza vs Vulnerabilidad (Ver Tabla 65).

Tabla 65. Matriz propuesta para la Categorización de niveles de riesgo.

NIVELES DE AMENAZA (Pf)	NIVELES DE VULNERABILIDAD (IV)		
	NIVEL 1: ALTA (75% A 100%)	NIVEL 1: MEDIA (30% A 75 %)	NIVEL 1: BAJA (<30%)
ALTA	AITO	ALTA	MEDIA
MEDIA	ALTO	MEDIA	BAJA
BAJA	MEDIA	MEDIA	BAJA

Fuente: Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en POMCAS

Figura 100. Riesgo por Movimientos en Masa



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

En la Figura 100 se muestran las áreas catalogadas en alto, medio o bajo riesgo por movimientos en masa; se observa de manera general las zonas con riesgo alto en la parte central, norte y oriental de la cuenca, con algunas áreas aisladas en las zonas periféricas al sur y al occidente; mientras que las zonas de riesgo bajo se ubican a lo largo del cauce principal del Río Juanambú y Pasto, y de algunos de sus afluentes principales, e incrementan su tamaño a medida que se acercan tanto a la zona sur

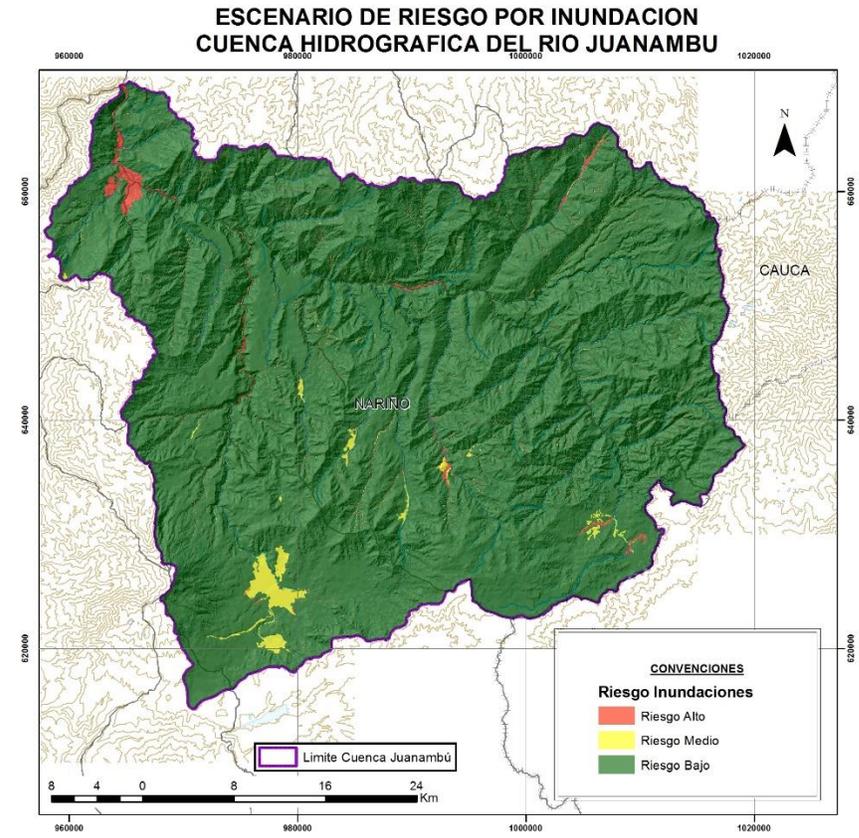
como a la noroccidental de la subzona hidrográfica. Por último, las áreas con un riesgo medio se encuentran ubicadas principalmente en el sur de la cuenca.

El riesgo alto por movimientos en masa se encuentra fuertemente determinado por las áreas que presentaron una alta amenaza a los movimientos en masa, estando controlados por las fuertes pendientes, el tipo de cobertura presente, la precipitación, litologías poco competentes, entre otras. Estas áreas se encuentran afectando principalmente los municipios de El Tablón, Buesaco, San Lorenzo y San Bernardo y en menor medida pero igualmente con zonas de alto riesgo se encuentran los municipios de Chachagüí, Albán, Arboleda, San Pedro de Cartago, El Tambo, La Florida, Nariño y Taminango, junto con los demás municipios de la cuenca, donde el porcentaje es mucho más bajo. Estas áreas abarcan un total de 83813,78127 Ha, que representan el 40,02% del total de la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.

El área catalogada con un riesgo medio por movimientos en masa ocupa 5306,947437 Ha (2,53%) de la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú, distribuyéndose principalmente en la parte sur y nororiental de la cuenca, afectando los municipios de Buesaco, Colón, Pasto, El Tambo, San Lorenzo, Taminango y El Peñol.

Por último las áreas con un riesgo bajo por movimientos en masa se concentran en la parte sur, oriental y central de la subzona hidrográfica, acorde con los cauces de los ríos Juanambú y Pasto y con las menores alturas registradas. Estas áreas abarcan 120335,0925 Ha, representando el 57,45% del área total de la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú.

Figura 101. Riesgo por Inundaciones



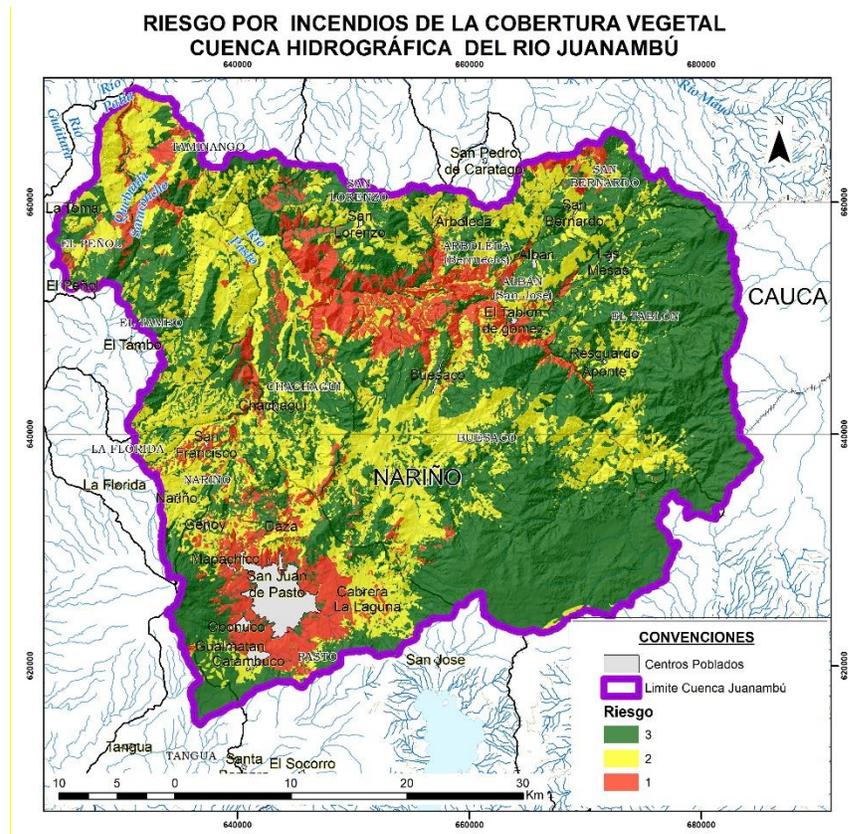
Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

La Figura 101 muestra que predominan las áreas con un riesgo bajo a inundaciones, seguidas de las áreas con alto riesgo, principalmente ubicadas en las proximidades de algunos cuerpos de agua y zonas de morfología plana aledañas a estos, y en menor medida las zonas con un riesgo medio a inundaciones. La zonificación por riesgo a inundaciones se encuentra controlada principalmente por las áreas de amenaza por inundaciones descritas anteriormente.

Las zonas con un alto riesgo a inundaciones representan el 1.73% de la cuenca hidrográfica (3621 Ha) y se ubican principalmente al norte de la cuenca; en el municipio de Chachagüí, y también en las áreas próximas al cauce del Río Juanambú y el Río Pasto, así como también a sus principales afluentes (como es el caso de la Quebrada El Salado, la Quebrada Tongosoy, la Quebrada Meneses, el Río Buesaquito, el Río Ijuagüí, el Río Apont, entre otros).

Las zonas de riesgo medio ocupan el 1.41% de la subzona hidrográfica (2959.57 Has), concentradas en la parte central de los municipios de Pasto y Buesaco, en la parte sur del municipio de Taminango y la región norte de los municipios de El Peñol y el Tambo. Por último, las áreas de riesgo bajo por inundaciones constituyen el 96,84% de la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú (202258 Ha) y se encuentran distribuidas a lo largo de casi toda la subzona hidrográfica, abarcando casi la totalidad de los municipios de San Lorenzo, Buesaco, Nariño, La Florida, Tangua, El Tablón, Albán, San Pedro de Cartago, Arboleda y un gran porcentaje de los demás municipios.

Figura 102. Riesgo por Incendios Forestales



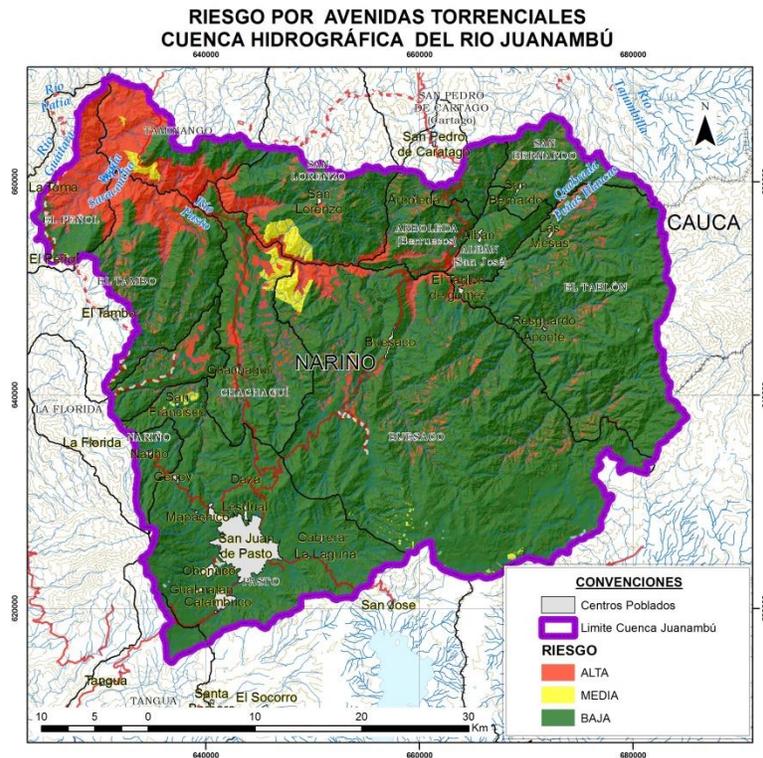
Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

Lás áreas que predominan en la cuenca son las categorizadas con un riesgo bajo a incendios forestales, seguidas de las zonas con un riesgo alto y por ultimo las áreas con un riesgo medio a incendios forestales (como se aprecia en la figura Figura 102).

Las zonas con un alto riesgo, se encuentran ubicadas al norte (por el área cercana al cauce principal de los ríos Juanambú y Pasto), representando el 12,431% del área total de la Cuenca (26039.1168 Ha) y abarcando el área norte de los municipios de San Pedro de Cartago, San Bernardo, Buesaco, Chachagüí y El Tambo; la zona sur de los municipios de San Lorenzo, Arboleda, Albán, El Peñol y la zona oriental de los municipios Taminango, La Florida y Nariño.

El riesgo medio ocupa el 31.100% de la subzona hidrográfica (65141.6055 Ha), distribuyéndose en la parte noroccidental y sur oriental de la cuenca, en la región sur del municipio de Buesaco, la parte occidental del municipio de Taminango, la oriental del municipio de Colón y el área norte del municipio de El Peñol. Las áreas con un riesgo bajo a incendios forestales ocupan el 56.46% del área total de la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú (118275.099 Ha), concentradas en los municipios de Pasto, El Tablón, la mayor parte de los municipios de Colón, Buesaco, Tangua, Nariño, San Lorenzo y La Florida, y en menor proporción en el resto de los municipios.

Figura 103. Riesgo por Avenidas Torrenciales



Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

Para la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú (Figura 103) se observa la distribución del riesgo por avenidas torrenciales, donde 27887,88764 Ha (es decir el 13,31% de la cuenca) se categoriza con un riesgo alto por avenidas torrenciales, éste se encuentra principalmente en la región norte (distribuido preferencialmente hacia el noreccidente), concentrado en las proximidades del cauce del Río Juanambú y el Río Pasto, junto con algunos de sus principales afluentes (como el Río Buesaquito, el Río Ijagüí, la Quebrada Chorrillos, la Quebrada La Estancia, la Quebrada Cimarrones, entre otros). El 85,18% (que corresponde con 178411,8698 Ha) se clasifica como zonas de riesgo bajo por avenidas torrenciales, ubicadas predominantemente en el sur y en algunas áreas de la parte central, oriental y en menor proporción en el resto de la subzona hidrográfica. Por ultimo, las áreas con un riesgo medio ocupan el 1,51 % (que equivalen a 3156,063589 Ha) del área total de la Cuenca Hidrográfica del Río Juanambú y se encuentran concentradas hacia el nororiente.

1.12 BIBLIOGRAFÍA

Ávila, G. E., Cubillos, C. E., Granados, A. E., Medina, E., Rodriguez, E. A., Rodriguez, C. E., & Ruiz, G. L. (2015). *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa*. Bogotá, Colombia: Servicio Geológico Colombiano.

Bartlett, M. S. (1947). The use of transformations. *Biometrics*, 39-52.

Bonham Carter, G. F. (1994). *Geographic Information Systems for Geoscientists Modelling with GIS*. Ottawa: Elsevier.

Carrara, A., & et al. (1991, Agosto). GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard.

Chow, V. (1994). *Hidrología aplicada*. McGraw Hill.

Chung, C.-J. F. (1999). Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 1389-1399.

DANE. (n.d.). *Necesidades Básicas Insatisfechas -NBI-*. Retrieved 2016, from <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-sociales/necesidades-basicas-insatisfechas-nbi>

DECRETO 1420. (1998, 24 Julio).

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/vdm010.htm>

Escobar, G. (2007). *Amenazas naturales en los andes de Colombia*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Fellenius, W. (1927). *Erdstatische Berechnungen mit Reibung und Kohäsion (Adhäsion) und unter Annahme*. Berlin.

Fondo de Adaptación, M. d. (2014). *Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas*. Colombia.

Geológico, S. (2015). *Actualización del mapa de amenaza volcánica del volcán Galeras- Colombia*.

Glade, T., & Crozier, M. (2005). *A review of scale dependency in landslide*. Chichester: Wiley.

Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M., & Galli, A. M. (2005). Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. *Geomorphology*, 272 -299.

IAEG. (1981). Rock and soil description and classification for engineering geological mapping report by the IAEG Commission on Engineering Geological Mapping. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 235-274.

IDEAM. (2011). *Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal - Escala 1:100.000*. Bogotá, D. C.: Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM.

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

IDEAM, I. d. ((2010).). *Leyenda Nacional de Cobertura de Tierra. Metodología Corine Land Cover*. Bogotá: IDEAM .

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>

Lee, K. H. (2004). *First Course On Fuzzy Theory And Applications*. SpringerVerlag.

Medellín, R. I. (2009). EVALUACIÓN DE ZONAS DE AMENAZA POR AVENIDAS. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*.

Mendel, J. M. (1995). Fuzzy Logic Systems for Engineering: A Tutorial. *Proceedings of the IEEE*, V 83, N° 3, pp 345 - 377.

MININTERIOR. (2007 *ññ* 10-Diciembre). RESOLUCION 3580. *Reglamento general administrativo, operativo y técnico del sistema nacional de bomberos de Colombia*. Colombia.

MININTERIOR. (2010). *Guía Plan Escolar para la Gestión del Riesgo*. Bogotá.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2000). *Plan Nacional de Desarrollo Forestal*. Bogotá.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2002). *Plan Nacional de Prevención. Control de incendios forestales y restauración de áreas afectadas*. Comisión Nacional Asesora para la Prevención y Mitigación de Incendios Forestales, Bogotá.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014 *ññ* Noviembre). *Protocolo para La Incorporación de la Gestión del Riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas*.

Montero, J., González, A., & Ángel, G. (1982). Caracterización del material rocoso. *I Congreso Suramericano de Mecánica de Rocas*.

Moran, P. A. (1950). Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika*, 17-23.

Morcillo, C. (2012). *Lógica Difusa Una introducción práctica*. Retrieved from Escuela superior de informatica: www.esi.uclm.es/www/cglez/downloads/docencia/2011.../LogicaDifusa.pdf

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.

Parra Lara, A. d. (2011). *Incendios de la cobertura vegetal*. Cali, Colombia.

Piñol, J., Terradas, J., & Lloret, F. (1998). Climate Warming, Wildfire Hazard, and Wildfire Occurrence in Coastal Eastern Spain. *Climatic Change*, 345-357.

- 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 amenaza. In S. N. Minería, *Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades andinas, 2007: Movimientos en masa de la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenaza*. Bogota D.C, Colombia: Maestría en Ciencias - geología. UN - Sede Bogotá.
- Pradhan, B. (2010). Landslide susceptibility mapping of a catchment area using frequency ratio, fuzzy logic and multivariate logistic regression approaches. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, v. 38, no. 2, p. 301-320.
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, págs. 9 - 26.
- Saaty, T. L. (1997). *Toma de decisiones para líderes* (Edición en español ed.). Pittsburgh: RWS Publications.
- Santacana, N. (2001). Análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de sistemas de información geográfica. Aplicación a la cuenca alta del río Llobregat. Barcelona.
- Schatzoff, M. (1966). Exact distributions of Wilks's likelihood ratio criterion. *Biometrika*, 347-358.
- 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. (2015). *Guía Metodológica Para Estudios De Amenaza Vulnerabilidad y Riesgo Por Movimientos En Masa*. Bogotá: SGC.
- Turcotte, D., & Malamud, B. (2000). Cellular - automata models splied to natural hazards. *IEEE Computing Science and Engineering*, 42 - 51.
- U.S Department of Agriculture. (2005). *National Soil Survey Handbook*. Washington DC: -.
- Vallance, J. W. (2015). *Lahars and their deposits*. The encyclopedia of volcanoes.
- Werro, N. (2008). Fuzzy Classification of Online Customers. *IEEE Internacional Conference on e-Business Engineering*.
- Wilks, S. S. (1932). Certain generalizations in the analysis of variance. *Biometrika*, 471-494.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, v. 8, no. 3, p. 338-353.
- Zimmermann, H., & Zysno, P. (2001). Latent connectives in human decision making . *Fuzzy Sets and Systems*, v. 4, no. 1, p. 37-51.

