



Plan de Ordenación y Manejo
de la Cuenca Hidrográfica

ELABORACIÓN DEL PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUÁITARA

FASE DE DIAGNÓSTICO

POMCA RÍO GUÁITARA

7- Caracterización de las Condiciones del Riesgo

LISTA DE CONTENIDO

1	CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL RIESGO PARA LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUÁTARA	18
1.1	RESUMEN EJECUTIVO.....	18
1.2	INTRODUCCIÓN	18
1.3	ALCANCES.....	20
1.4	GENERALIDADES.....	21
1.5	DEFINICIONES BÁSICAS.....	21
1.6	MARCO TEÓRICO	23
1.6.1	PROCESOS ANALÍTICOS JERÁRQUICOS	23
1.6.2	PALEO INUNDACIONES.....	24
1.6.3	ANÁLISIS DISCRIMINANTE Y CORRELACIONES CANÓNICAS	25
1.6.4	LÓGICA DIFUSA	28
1.6.4.1	Funciones de pertenencia	29
1.6.4.2	Conjuntos Difusos	29
1.6.4.3	Operadores Difusos	30
1.6.4.3.1	T – Norma, T – Cornorma y Operador Promedio	30
1.6.4.3.2	Operador AND	31
1.6.4.3.3	Operador OR.....	31
1.6.4.3.4	Producto Algebraico o Producto Probabilístico	31
1.6.4.3.5	Suma Algebraica o Suma probabilística	32
1.6.4.3.6	Compensatory AND (“operador Gamma”).....	32
1.6.4.4	Área bajo la curva (AUC)	33
1.6.5	ÍNDICES MORFOMÉTRICO DE LAS CUENCAS	34
1.6.5.1	Índice de Melton	34
1.6.5.2	Rangos de Wilford.....	34

1.6.5.3	El índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET).....	35
1.6.5.3.1	El índice de variabilidad (IV).....	35
1.6.5.3.2	Índice morfométrico	35
1.7	CARACTERIZACIÓN HISTÓRICA DE AMENAZAS Y EVENTOS AMENAZANTES	37
1.7.1	MAPA DE EVENTOS	53
1.7.2	RECURRENCIA DE EVENTOS HISTÓRICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA.	54
1.7.3	RECURRENCIA DE EVENTOS HISTÓRICOS POR INUNDACIONES	55
1.7.4	RECURRENCIA DE EVENTOS HISTÓRICOS POR INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL	57
1.7.5	RECURRENCIA DE EVENTOS HISTÓRICOS POR AVENIDAS TORRENCIALES.....	58
1.8	IDENTIFICACIÓN, CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FENÓMENOS AMENAZANTES Y EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA	60
1.8.1	DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA PARA OBTENER SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA	61
1.8.1.1	Zonificación de Movimientos en Masa.	62
1.8.1.2	Análisis de Susceptibilidad a Movimientos en Masa	62
1.8.1.3	Metodología Susceptibilidad.....	64
1.8.1.4	Definición de las Variables	65
1.8.1.5	Procedimiento de análisis	66
1.8.2	DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA	67
1.8.2.1	Localización de Movimientos en Masa (MM_LM_MOVT):	67
1.8.2.2	Factores Condicionantes	69
1.8.2.2.1	Modelo Digital de Elevación(DEM)	69
1.8.2.2.2	Características geométricas de la ladera (CGL)	70
1.8.2.2.2.1	Pendiente de la ladera (PEND)	71
1.8.2.2.2.2	Pendiente senoidal de la ladera (PENDS)	72
1.8.2.2.2.3	Pendiente media de la ladera (PENDM).....	74
1.8.2.2.2.4	Rugosidad o variación de la pendiente del terreno (RUGOS).....	75

1.8.2.2.2.5	Curvatura del terreno (CURVAR).....	76
1.8.2.2.2.6	Curvatura con respecto al perfil (PERFIL).....	77
1.8.2.2.2.7	Curvatura con respecto al plano horizontal (PLANTA).....	78
1.8.2.2.2.8	Insolación (INSOL).....	80
1.8.2.2.2.9	Orientación de la ladera (ORIENT).....	81
1.8.2.2.2.10	Acumulación de la cuenca (ACUENCA).....	84
1.8.2.2.2.11	Longitud de cuenca acumulada (LONG).....	85
1.8.2.2.3	Variables con relación de proximidad (VRP).....	87
1.8.2.2.3.1	Distancia fallas y lineamientos (FALLA).....	88
1.8.2.2.4	Variables Categóricas.....	90
1.8.2.2.4.1	Unidades geológicas básicas (GLG).....	90
1.8.2.2.4.2	Subunidades geomorfológicas (GMF).....	93
1.8.2.2.4.3	Tipo de Cobertura (COBERT).....	95
1.8.3	ANÁLISIS DE LA ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA.....	98
1.8.4	ANÁLISIS DE LA ZONIFICACIÓN EXISTENTE EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO.....	107
1.8.5	DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA PARA OBTENER AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA.....	109
1.8.6	DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA.....	112
1.8.6.1	Unidades geológicas superficiales y usos de la tierra en función al número de curva (CN).....	112
1.8.6.2	Precipitación.....	115
1.8.6.3	Amplificación sísmica.....	116
1.8.6.4	Parámetros geomecánicos para unidades de roca y unidades de suelo.....	118
1.8.7	ANÁLISIS DE LA ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA.....	123
1.9	IDENTIFICACIÓN, CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FENÓMENOS AMENAZANTES Y EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR INUNDACIONES.....	129
1.9.1	DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA PARA OBTENER SUSCEPTIBILIDAD A INUNDACIONES.....	129
1.9.1.1	Análisis Multitemporal.....	130

1.9.2	VARIABLES DE SUSCEPTIBILIDAD A INUNDACIONES	133
1.9.2.1	Localización de Inundaciones (LIN)	133
1.9.2.2	Factores Condicionantes	134
1.9.2.2.1	Subunidades geomorfológicas (SG).....	134
1.9.2.2.2	Unidades de terreno (UT)	139
1.9.3	ANÁLISIS DE LA ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A INUNDACIONES	143
1.9.4	DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA PARA OBTENER AMENAZA POR INUNDACIONES	145
1.9.5	DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES DE AMENAZA POR INUNDACIONES	145
1.9.5.1	Inundaciones históricas (INUNHIST).....	146
1.9.6	ANÁLISIS DE LA ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA A INUNDACIONES	150
1.10	IDENTIFICACIÓN, CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FENÓMENOS AMENAZANTES Y EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL	154
1.10.1	DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA PARA OBTENER SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL	154
1.10.2	DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES DE SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL	155
1.10.2.1	Tipo de combustible predominante (TIPCOMB)	155
1.10.2.2	Duración de los combustibles (DURCOMB).....	159
1.10.2.3	Carga total de combustible (CARGCOMB).....	163
1.10.2.4	Localización De Incendios (Li) e Incendios históricos (INCHIST)	167
1.10.3	ANÁLISIS DE LA ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL	168
1.10.4	DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA PARA OBTENER AMENAZA POR INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL.....	170
1.10.5	DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES DE AMENAZA POR INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL	171
1.10.5.1	Temperatura (Temp).....	171
1.10.5.2	Precipitación	174
1.10.5.3	Pendiente.....	177
1.10.5.4	Factor Antrópico (Fa)	179
1.10.6	ANÁLISIS DE LA ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL	182

1.11 IDENTIFICACIÓN, CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FENÓMENOS AMENAZANTES Y EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES.....	184
1.11.1 RESUMEN:	184
1.11.2 INTRODUCCIÓN	185
1.11.3 DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA PARA OBTENER SUSCEPTIBILIDAD A AVENIDAS TORRENCIALES	185
1.11.4 VARIABLES DE SUSCEPTIBILIDAD A AVENIDAS TORRENCIALES	188
1.11.4.1 Índice de variabilidad a eventos torrenciales (IVET)	188
1.11.4.1.1 Índice Morfométrico	189
1.11.4.1.2 Índice de Variabilidad	197
1.11.4.2 Índice de Melton (IM)	205
1.11.4.3 Análisis Geomorfológico (IM).....	206
1.11.5 ANÁLISIS DE LA ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A AVENIDAS TORRENCIALES.....	210
1.11.5.1 Validación de la función y mapa de susceptibilidad para avenidas torrenciales	216
1.11.6 DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA PARA OBTENER AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES	217
1.11.7 ANÁLISIS DE LA ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES.....	218
1.11.8 AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES INVOLUCRANDO SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA.....	220
1.12 IDENTIFICACIÓN, CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FENÓMENOS AMENAZANTES Y EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR EVENTOS VOLCÁNICOS; TSUNAMIS, DESERTACIÓN Y EROSIÓN COSTERA.	222
1.12.1 AMENAZA POR EVENTOS VOLCÁNICOS	222
1.12.1.1 Complejo Volcánico Galeras.....	222
1.12.1.2 Complejo Volcánico de Cumbal	231
1.12.1.3 Volcanes Chiles - Cerro Negro	232
1.12.1.4 Volcán Azufral	234
1.12.2 AMENAZA POR HELADAS.....	234
1.12.3 AMENAZA POR GRANIZADAS	237
1.13 ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE VULNERABILIDAD	238

1.13.1	EXPOSICIÓN.....	239
1.13.1.1	Estimación del índice de pérdidas o exposición	239
1.13.1.1.1	Valor humano u ocupación uso (OU):	242
1.13.1.1.2	Índice de exposición a movimientos en masa:.....	244
1.13.1.1.3	Índice de exposición a inundaciones:.....	266
1.13.1.1.4	Índice de exposición a incendios de la cobertura vegetal:	287
1.13.1.1.5	Índice de exposición a avenidas torrenciales:	308
1.13.2	FRAGILIDAD.....	331
1.13.2.1	Fragilidad física (FF):	332
1.13.2.2	Índice de fragilidad sociocultural	332
1.13.2.2.1	Condiciones de vida (ICV).....	332
1.13.2.2.2	Necesidades Basicas Insatisfechas (NBI):	334
1.13.2.3	Fragilidad ecosistémica (FE):.....	336
1.13.2.4	Índice de fragilidad a movimientos en masa:.....	337
1.13.2.5	Índice de fragilidad a inundaciones:.....	338
1.13.2.6	Índice de fragilidad a incendios de la cobertura vegetal:.....	339
1.13.2.7	Índice de fragilidad a avenidas torrenciales:	341
1.13.3	FALTA DE RESILIENCIA.....	342
1.13.3.1	Operaciones (O):	345
1.13.3.2	Recuperación (Rec):	353
1.13.4	INDICE DE VULNERABILIDAD AMBIENTAL A MOVIMIENTOS EN MASA.....	360
1.13.5	INDICADORES DE VULNERABILIDAD A INUNDACIONES	361
1.13.6	INDICADORES DE VULNERABILIDAD A INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL.....	361
1.13.7	INDICADORES DE VULNERABILIDAD A AVENIDAS TORRENCIALES	363
1.14	ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE RIESGOS.....	364

1.15 RECOMENDACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES DE INFORMACIÓN E INVESTIGACIÓN370

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Identificación de los procesos hidrogeomorfológicos según los parámetros de Melton y la Longitud de la cuenca. 35

Tabla 2. Clasificación categórica del índice de variabilidad..... 35

Tabla 3. Relaciones para categorías de índices morfométricos. 36

Tabla 4. Matriz de decisión de la clasificación de índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales IVET. 36

Tabla 5. Reporte de eventos históricos para la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara, especificando las fuentes de consulta y las áreas afectadas..... 37

Tabla 6. Porcentaje de espacialización de eventos..... 54

Tabla 7. Causas y efectos de las inundaciones en la cuenca del río Guáitara..... 56

Tabla 8. Variables utilizadas para el modelo de susceptibilidad a movimientos en masa..... 65

Tabla 9. Calificación y categorización de curvatura del terreno 76

Tabla 10. Calificación y categorización de curvatura del terreno con respecto al perfil 77

Tabla 11. Calificación y categorización de curvatura del terreno con respecto al plano horizontal. 79

Tabla 12. Calificación y categorización de la orientación de la ladera..... 82

Tabla 13. Calificación y categorización de la distancia a fallamiento local..... 88

Tabla 14. Calificación de la susceptibilidad del tipo de unidad geológica..... 91

Tabla 15. Calificación de la susceptibilidad del tipo de subunidad geomorfológica 93

Tabla 16. Calificación de la susceptibilidad del tipo de Cobertura (CORINE LAND COVER) a movimientos en masa 96

Tabla 17. Resultados del test de Kolmogorov – Smirnov. 100

Tabla 18. Matriz de correlaciones entre variables. 101

Tabla 19. Contraste entre poblaciones (T-Test). 103

Tabla 20.	Anova.....	104
Tabla 21.	Coeficientes de funciones canónicas discriminantes.	105
Tabla 22.	Escenarios evaluados para la zonificación de amenaza por movimientos en masa.	111
Tabla 23.	CN a partir de cobertura y suelo hidrológico.....	114
Tabla 24.	Parámetros utilizados	118
Tabla 25.	Grados de estabilidad según los resultados del factor de seguridad.....	124
Tabla 26.	Criterio para la clasificación de la amenaza en función de la probabilidad de falla ...	124
Tabla 27.	Calificación de Susceptibilidad de las Subunidades Geomorfológicas a inundación, para la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara.	134
Tabla 28.	Calificación de susceptibilidad a inundación de las unidades de terreno según morfocronología, registrados para la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara.	140
Tabla 29.	Categorización de la recurrencia de los eventos de inundación.....	146
Tabla 30.	Eventos históricos empleados en el modelamiento de la susceptibilidad y amenaza por inundaciones en la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara.....	150
Tabla 31.	Indicador Tipo de Combustible Predominante.	155
Tabla 32.	Indicador duración de los combustibles.	159
Tabla 33.	Indicador carga total del combustible.....	163
Tabla 34.	Indicador temperatura.....	171
Tabla 35.	Indicador de Precipitación	174
Tabla 36.	Indicador de Pendiente.....	177
Tabla 37.	Indicador de Distancia Vías	180
Tabla 38.	Clasificación del índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales (IVET)	186
Tabla 39.	Relaciones para categorías de índices morfométricos	187
Tabla 40.	Categorización según el índice de variabilidad.	188
Tabla 41.	Índice morfométrico para la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara.....	189
Tabla 42.	Índice de Variabilidad	197
Tabla 43.	Microcuencas con susceptibilidad a avenidas torrenciales alta y media.....	211

Tabla 44. Tabla de comparación de Coeficiente de fiabilidad y verificación de puntos para avenidas torrenciales en la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara..... 217

Tabla 45. Registro de eventos históricos por granizadas en la subzona hidrográfica del Río Guáitara. 237

Tabla 46. Valores por hectárea de densidad de población 243

Tabla 47. Distribución de porcentual de pérdida por movimientos en masa para la cuenca hidrográfica del Río Guáitara 246

Tabla 48. Distribución de porcentual de pérdida por inundaciones para la cuenca hidrográfica del Río Guáitara..... 268

Tabla 49. Distribución de porcentual de pérdida por incendios de la cobertura vegetal para la cuenca hidrográfica del Río Guáitara 289

Tabla 50. Distribución de porcentual de pérdida por avenidas torrenciales para la cuenca hidrográfica del Río Guáitara 310

Tabla 51. Índice de fragilidad total..... 331

Tabla 52. Valores índices de condiciones de vida por municipio 332

Tabla 53. Valores índices de necesidades básicas insatisfechas por municipio 334

Tabla 54. Categorías de fragilidad de los ecosistemas estratégicos 336

Tabla 55. Normalización de categorías ecosistémicas en función al índice de fragilidad..... 336

Tabla 56. Encuesta realizada para el cálculo de la resiliencia. 343

Tabla 57. Calificación de la categoría para cada respuesta realizada. 345

Tabla 58. Evaluación en cuanto a la capacidad institucional 345

Tabla 59. Estandarización y calificación de la falta de resiliencia medida en disponibilidad de un centro de salud cercano. 346

Tabla 60. Centros de salud y calificación de nivel para la cuenca del Río Guáitara. 346

Tabla 61. Evaluación en cuanto a bomberos 351

Tabla 62. Evaluación en cuanto a personal de búsqueda, rescate y orden público 351

Tabla 63. Estaciones de policía..... 351

Tabla 64. Estandarización y calificación de la falta de resiliencia medida en disponibilidad de una institución de rescate 353

Tabla 65. Evaluación en cuanto a nivel de desarrollo 353

Tabla 66. Estandarización y calificación de la falta de resiliencia medida en disponibilidad de nivel de desarrollo. 353

Tabla 67. Estandarización y calificación de la falta de resiliencia medida del aporte al PIB de cada municipio al departamento 355

Tabla 68. Estandarización y calificación de la falta de resiliencia medida del nivel educativo de cada municipio al departamento 357

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Matriz de comparación por pares..... 23

Figura 2 Matriz Normalizada 24

Figura 3 T-norma, T- Cornorma y Operadores promedio 31

Figura 4 Registro de ocurrencia de eventos para la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara..... 52

Figura 5 Mapa de eventos amenazantes reconocidos dentro de la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara. 53

Figura 6 Recurrencia de eventos por movimientos en masa para la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara 54

Figura 7 Recurrencia de eventos por inundaciones para la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara. 56

Figura 8 Recurrencia de eventos por Incendios De la cobertura vegetal para la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara. 58

Figura 9 Recurrencia de eventos por Avenidas Torrenciales para la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara. 59

Figura 10 Metodología para evaluación de susceptibilidad a movimientos en masa. 64

Figura 11 Localización de eventos de remoción en masa en función a la susceptibilidad a movimientos en masa..... 68

Figura 12 Mapa de procesos por movimientos en masa para la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara. 69

Figura 13 Modelo Digital de ElevaciónDEM utilizado para calcular variables de características geométricas de la ladera en función de la susceptibilidad a movimientos en masa 70

Figura 14 Características geométricas de la ladera en función a la susceptibilidad a movimientos en masa 71

Figura 15 Pendiente de ladera en función de la susceptibilidad a movimientos en masa..... 72

Figura 16 Pendiente senoidal de ladera en función de la susceptibilidad a movimientos en masa. 73

Figura 17 Pendiente media de ladera en función de la susceptibilidad a movimientos en masa,... 74

Figura 18 Rugosidad en función de la susceptibilidad a movimientos en masa. 75

Figura 19 Curvatura del terreno en función de la susceptibilidad a movimientos en masa..... 76

Figura 20 Curvatura del terreno con respecto al perfil en función de la susceptibilidad a movimientos en masa. 78

Figura 21 Curvatura del terreno con respecto al plano horizontal en función de la susceptibilidad a movimientos en masa..... 79

Figura 22 Insolación en función de la susceptibilidad a movimientos en masa..... 81

Figura 23 Orientación de ladera en función de la susceptibilidad a movimientos en masa. 83

Figura 24 Acumulación de la cuenca en función de la susceptibilidad a movimientos en masa. ... 84

Figura 25 Longitud de cuenca acumulada en función de la susceptibilidad a movimientos en masa. 85

Figura 26 Variables con relación de proximidad en función a la susceptibilidad a movimientos en masa 87

Figura 27 Relación de proximidad de fallas locales y lineamientos en función a la susceptibilidad a movimientos en masa..... 89

Figura 28 Distribución de cada una de las variables contempladas dentro del modelo de susceptibilidad a movimientos en masa..... 99

Figura 29 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 Guátara. 102

Figura 30	Mapa de Susceptibilidad a Movimientos en Masa para la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara	106
Figura 31	Comparación de zonificación de susceptibilidad a movimientos en masa	108
Figura 32	Número de curva para la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara	115
Figura 33	Retención potencial para la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara	116
Figura 34	Coeficiente de Aceleración Sísmica	117
Figura 35	Parámetro PHI para la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara	121
Figura 36	Parámetro C para la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara	122
Figura 37	Parámetro GAMMA para la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara	123
Figura 38	Comparación de la susceptibilidad y la amenaza por movimientos en masa	126
Figura 39	Zonificación de la amenaza por movimientos en masa	127
Figura 40	Análisis multitemporal de imágenes satelitales del Río Guáitara, en donde se aprecia los rastros de inundación	131
Figura 41	Comparación temporal del trazado del cauce del Río Guáitara Sector 1 Año 2014 -2015	132
Figura 42	Variables que determinan a la zonificación de la susceptibilidad a la amenaza por Inundaciones	133
Figura 43	Susceptibilidad de Subunidades Geomorfológicas a inundaciones, para la Cuenca Hidrográfica Del Río Guáitara	138
Figura 44	Frecuencia de ocurrencia de eventos históricos de inundación registrados para la Cuenca Hidrográfica Del Río Guáitara	139
Figura 45	Mapa de Susceptibilidad de las Unidades de Terreno a inundaciones, para la Cuenca Hidrográfica Del Río Guáitara	142
Figura 46	Gráfico de frecuencia de inundaciones discriminadas por Unidades de Terreno, para la Cuenca Hidrográfica Del Río Guáitara	143
Figura 47	Mapa de Susceptibilidad a inundaciones para la Cuenca Hidrográfica Del Río Guáitara	144
Figura 48	Variables para la modelación de la amenaza por inundaciones	146

Figura 49 Temporalidad de los eventos históricos por inundaciones, para la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara. 147

Figura 50 Registro de eventos históricos para la Cuenca Hidrográfica Del Río Guátara 147

Figura 51 Temporalidad de los eventos históricos para la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara 148

Figura 52 Registro anual por inundaciones para la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara 149

Figura 53 Registro mensual-multianual por inundaciones para la Cuenca Hidrográfica Del Río Guátara 149

Figura 54 Mapa de zonificación de la amenaza por inundaciones para la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara..... 152

Figura 55 Características de la vegetación en función a la susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal. 154

Figura 56 Mapa de categorización según tipo de combustible para la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara 157

Figura 57 Mapa de categorización según la duración del combustible para la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara 161

Figura 58 Mapa de categorización según la carga total del combustible para la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara 165

Figura 59 Incendios de la cobertura vegetal históricos para la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara. 167

Figura 60 Mapa de Susceptibilidad de la vegetación a incendios de la cobertura vegetal para la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara. 169

Figura 61 Mapa de categorización según la temperatura media anual para la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara 171

Figura 62 Isotermas, Distribución espacial de la temperatura media anual. Cuenca Hidrográfica del Río Guátara..... 172

Figura 63 Mapa de categorización según la precipitación media anual para la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara 175

Figura 64 Isoyetas, Precipitación media anual Cuenca Hidrográfica del Río Guátara. 175

Figura 65 Mapa de categorización según la pendiente media para la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara 177

Figura 66 Factor antrópico en función de la amenaza por incendios de la cobertura vegetal. 180

Figura 67 Mapa de categorización según la accesibilidad para la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara. 181

Figura 68 Mapa de Amenaza a incendios de la cobertura vegetal para la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara..... 182

Figura 69 Índices implícitos en el cálculo del índice de variabilidad a eventos torrenciales..... 189

Figura 70 Mapa de índice morfométrico para avenidas torrenciales. 197

Figura 71 Índice de Variabilidad para avenidas torrenciales 203

Figura 72 Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET) 204

Figura 73 Índice de Melton para avenidas torrenciales..... 205

Figura 74 Valle en V, con actividad erosiva sobre una ladera en la cuenca hidrográfica del Río Guáitara. Se evidencia el aporte de material al cauce, aumentando su densidad y su energía. 207

Figura 75 Unidades Geomorfológicas frente a avenidas torrenciales..... 208

Figura 76 Material fluvio-torrencial, ocupando un cauce aluvial de un afluente del Río Guáitara. 209

Figura 77 Susceptibilidad a eventos torrenciales. 210

Figura 78 Amenaza por eventos torrenciales. 218

Figura 79 Escenario de avenidas torrenciales involucrando Susceptibilidad a movimientos en masa como detonante..... 220

Figura 80 Zona que podría ser afectada por CDP (flujos y oleadas piroclásticas) generadas en erupciones del volcán Galeras. 223

Figura 81 Zonas de amenaza alta por flujos de lava en el volcán Galeras. 224

Figura 82 A. Integración de los mapas de isópacas (1992 a 2010). B. Resultado de las simulaciones computacionales. (Servicio Geológico Colombiano SGC, 2015)..... 226

Figura 83 Zonificación de amenaza por piroclastos de caída transportados eólicamente..... 227

Figura 84 Zonificación de la amenaza por proyectiles basilicos..... 228

Figura 85 Zonificación para ondas de choque producidas por explosiones en el volcán Galeras. 229

Figura 86	Zonas de amenaza alta por flujos de lava en el volcán Galeras.	230
Figura 87	Zonificación de amenaza alta por lahares asociados al volcán Galeras.	231
Figura 88	Mapa de amenaza volcánica para el Volcán Cumbal	232
Figura 89	Mapa de Amenaza Volcánica del Volcán Chiles	233
Figura 90	Mapa de Amenaza Volcánica del Volcán Cerro Negro	234
Figura 91	Número de heladas registradas en el municipio de Pasto desde 1983 hasta 2011. ...	236
Figura 92	Variables que incluyen la exposición en función a la vulnerabilidad	239
Figura 93	Índice de exposición a movimientos en masa	245
Figura 94	Elementos expuestos en zonas de amenaza por Movimientos en Masa.	266
Figura 95	Índice de exposición a inundaciones.....	267
Figura 96	Elementos expuestos en zonas de amenaza por Inundaciones	287
Figura 97	Índice de exposición a incendios de la cobertura vegetal	288
Figura 98	Elementos expuestos en zonas de amenaza por Incendios De la cobertura vegetal.....	308
Figura 99	Índice de exposición a avenidas torrenciales	309
Figura 100	Elementos expuestos en zonas de amenaza por Avenidas Torrenciales	330
Figura 101	Variables que incluyen la fragilidad de función a la vulnerabilidad	331
Figura 102	Índice fragilidad a movimientos en masa	338
Figura 103	Índice de fragilidad a inundaciones	339
Figura 104	Índice de fragilidad a incendios de la cobertura vegetal	340
Figura 105	Índice de fragilidad a avenidas torrenciales	341
Figura 106	Variables para la falta de resiliencia	342
Figura 107	Falta de Resiliencia	359
Figura 108	Mapa de índices de vulnerabilidad ambiental para las zonas críticas de movimientos en masa	360
Figura 109	Indicadores de Vulnerabilidad a inundaciones.....	361
Figura 110	Indicadores de Vulnerabilidad a incendios de la cobertura vegetal	362

Figura 111	Indicadores de Vulnerabilidad a avenidas torrenciales.....	363
Figura 112	Matriz propuesta para la Categorización de niveles de riesgo	364
Figura 113	Escenario de riesgo priorizado de riesgo por movimientos en masa.....	365
Figura 114	Escenario de riesgo priorizado por inundaciones.	366
Figura 115	Escenario de riesgo priorizado por Incendios De la cobertura vegetal.....	368
Figura 116	Escenario de riesgo priorizado por Avenidas Torrenciales	369

1 CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL RIESGO PARA LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUÁITARA.

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 Guáitara, 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 Guáitara, 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 de la cobertura vegetal 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 Guáitara, 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 – CORPONARIÑO.

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 Guáitara, 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 en 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.

Sobre la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara se han realizado diferentes estudios de gestión del riesgo que permiten una visión global sobre el territorio; sin embargo, se debe tener en cuenta que la amenaza y por tanto el riesgo son dinámicos y cambian con relación a condiciones climatológicas, económicas y sociales, por consiguiente es importante que esta información sea actualizada para la toma de decisiones efectivas que integren a la comunidad, el ecosistema y las políticas e instrumentos normativos a nivel nacional, departamental y municipal.

En el presente documento se detalla, entre otras cosas, la metodología propuesta para la determinación de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por inundaciones en la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara, 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 Guátara, 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.

1.3 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 ésta evaluación.

1.4 GENERALIDADES

El área de interés del presente proyecto comprende la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara, dentro del departamento de Nariño, que abarca un área de 3649 Km², en donde se ubican 33 municipios que alojan una población de 923.686 habitantes, aproximadamente.

Este proyecto se desarrolla en el departamento de Nariño entre los municipios de Aldana, Acunayá, Consacá, Contadero, Cuaspud, Cumbal, Córdoba, El Peñol, el Tambo, Funes, Guachucal, Guaitarilla, Gualmatón, Iles, Imués, Ipiales, La Florida, La Llanada, Linares, Los Andes, Ospina, Pasto, Potosí, Providencia, Puerres, Pupiales, Samaniego, Sandoná, Santa Cruz, Sapuyes, Tangua, Túquerres y Yacuanquer. El corredor vial se destacan las vías Pasto-Túquerres y Pasto-Ipiales. Adicionalmente se localizan dentro de los diferentes municipios numerosas vías secundarias carreteables y algunas sin pavimentar que conducen a las zonas rurales pertenecientes al área de estudio.

1.5 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 M. , 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 & Malamud, 2000) (Guzzetti, Reichenbach, Cardinali, & Galli, 2005), ya que se encuentra sujeto a la calidad y cantidad de información que se recopile y se interprete durante el proceso de elaboración del mismo. En consecuencia, un inventario incompleto o poco confiable puede dar como resultado una evaluación errónea de la susceptibilidad, la amenaza o el riesgo.
- 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 & Crozier, 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 M. , 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 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 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 M. , 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, 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 súbitos 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 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

- l) **Incendios de la cobertura vegetal:** 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).

1.6 MARCO TEÓRICO

1.6.1 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) (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)(Figura 2).

Figura 2 Matriz Normalizada

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

Fuente: Saaty, 1990

Finalmente, los valores asignados dentro de la matriz de comparación por pares son evaluados mediante el índice de consistencia (CI) (como se evidencia en la siguiente ecuación), 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.

1.6.2 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 del modelamiento 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 paleo inundaciones. En lo que respecta a las paleo inundaciones, 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.

1.6.3 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 d 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 η^2 utilizado en el análisis de varianza de un factor ($\eta^2 =$ 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 un 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 de funciones discriminantes obtenidas con anterioridad al contraste (cuando sólo existe una función –porque sólo hay dos grupos–, $k = 0$). La gran ventaja diagnóstica del estadístico λ es que, puesto que se basa en las matrices de varianzas-covarianzas, puede calcularse antes de obtener las funciones discriminantes.

1.6.4 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 (Portilla M., 2001).

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.

1.6.4.1 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 (Frecuencia 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).

1.6.4.2 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 (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.

1.6.4.3 OPERADORES DIFUSOS

1.6.4.3.1 T – Norma, T – Cornorma y Operador Promedio

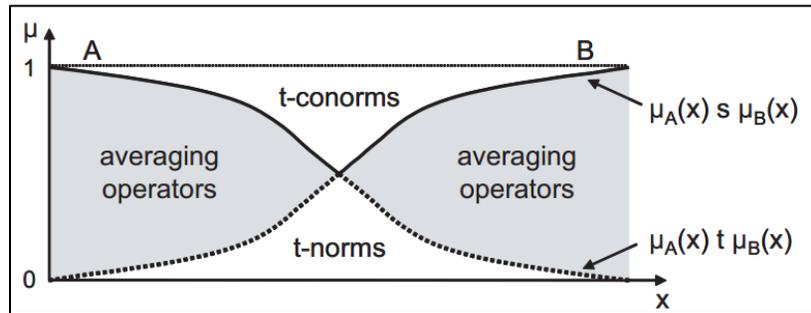
En general, las familias de operaciones que implementan en la intersección de conjuntos se conocen como normas triangulares o por su abreviación: **t - Norma**, mientras que las operaciones que implementan la *unión de conjuntos* se conocen como conormas triangulares o **t – conorma** (Werro, 2008).

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 $\mu_B(x)$ (Figura 3):

Figura 3 T –norma, T- Cornorma y Operadores promedio



Fuente: Werro, (2008).

1.6.4.3.2 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).

1.6.4.3.3 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).

1.6.4.3.4 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 K. H., 2004); (Zadeh, 1965):

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

Para n conjuntos difusos, 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 $i = 1, 2, 3, \dots, n$.

1.6.4.3.5 Suma Algebraica o Suma probabilística

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 K. H., 2004); (Zadeh, 1965):

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

Para n conjuntos difusos, 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 $i = 1, 2, 3, \dots, n$

1.6.4.3.6 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 (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:

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

En 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-cornorma (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.

1.6.4.4 ÁREA BAJO LA CURVA (AUC)

Para llevar a cabo la validación de los modelos con el método AUC (Chi, Park, & Chung, 2002; Choi, y otros, 2011; Gemtzi, Falalakis, Eskioglou, & Petalas, 2011; Lee S. , 2007; Pradhan B. , 2010; Tien Bui D. , Pradhan, Lofman, Revhaug, & Dick, 2012; Tien Bui D. , Pradhan, Lofman, Revhaug, & Dick, 2012), se deben dividir de 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 & Fabbri, 1999)

Siguiendo el método propuesto para llevar la validación de los modelos de Chung & 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.

1.6.5 Índices morfométrico de las cuencas

1.6.5.1 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).

1.6.5.2 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 corresponden 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.

Variables	Inundaciones (agua clara)	Crecientes de Detritos	Flujos de Detritos
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, Sakals, Innes, Sidle, & Bergerud, 2004).

1.6.5.3 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:

1.6.5.3.1 El 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).

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)

1.6.5.3.2 Índice morfométrico

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 3).

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. 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 vulnerabilidad frente a eventos torrenciales IVET.

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

Fuente: (IDEAM, 2013)

1.7 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 de la cobertura vegetal 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) de la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara 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 Guátara, especificando las fuentes de consulta y las áreas afectadas.

Amenaza según su origen	Tipo de amenaza	Fuentes	Áreas afectadas
Hidrometeorológica	Inundaciones	EL TIEMPO, DNPAD, DGR, UNDGRD, BDOD, BDOSSO, EL PAIS, ING, REONAD.	El Municipio de Ancunýa, en las veredas Los Frisoles, Indo, San Vicente, Macas, Cruz, Collal y La loma (sector el placer) donde las lluvias, colapso del alcantarillado (2013), deslizamientos y el desbordamiento de la Represa La Ancuya (1975) han afectado vías (como la vía Ancuya-Guaitarilla), personas, enseres, infraestructura, cultivos y personas.
			El Municipio de Consacá en las veredas San José del Salado, San Miguel de Cariaco y en la cabecera municipal el barrio San Vicente, el cual se vio afectado por el desbordamiento del sistema de alcantarillado, donde se han afectado centros educativos, cultivos y viviendas.
			El Municipio de Contadero en zonas aledañas al Río Guátara por desbordamiento del mismo, y en la Vereda de Santodomingo, donde se afectaron viviendas y personas resaltando el

Amenaza según su origen	Tipo de amenaza	Fuentes	Áreas afectadas
			evento de la Vereda de Santodomingo en el 2000.
			El Municipio de Córdoba en zonas aledañas al Río Pasto, en las quebradas La Aurora, La Pipa Alta, La Humildad y El Basal, afectando las veredas de Quebrada Blanca, Alisales, El Llorente, El Palmar y el corregimiento de Llorente; se destruyeron puentes que comunicaban las veredas, vías (como la que conduce del Corregimiento de Llorente al Municipio de Córdoba), el acueducto que beneficiaba al Corregimiento de Llorente y cultivos.
			El Municipio de Cumbal donde las crecientes de los ríos en Nariño destruyeron varios puentes, afectando 18 municipios como Sotomayor, El Tambo, Túquerres, Sapuyes, Funes, Córdoba, Ipiales, Gualmatán, Contadero, Potosí, Guachucal, Iles, Barbacoas, Genova, San José de Albán, Cartago y Ospina.
			El Municipio de El Peñol donde los desbordamientos de ríos y las lluvias afectaron el casco urbano del municipio.
			El Municipio de El Tambo en cercanías de los ríos Pasto y la Playa y Quebrada Las Brisas, por desbordamientos afectando personas, vías, infraestructura y viviendas en los barrios Jesús Nazareno, Barrio Nuevo y las veredas Capulí y Villa Nueva.
			El Municipio de Funes en las veredas Téllez Alto y Chapal, barrios El Estadio y Santafé afectando cultivos, acueductos, infraestructura, viviendas, y vías como Funes-Chitarran, Pilcuan-Funes y Chapal-Chutarran, Guapusal (sector El Totoral), Guapusal-Peñas Blancas, La Vega-Tellez Bajo, Pradera-Tellez Alto, Funes-Sucumbios, y San Rafael-La Soledad, por

Amenaza según su origen	Tipo de amenaza	Fuentes	Áreas afectadas
			deslizamientos, taponamientos, y desbordamientos.
			El Municipio de Guachucal donde las lluvias han afectado viviendas en el sitio La Planada.
			El Municipio de Guaitarilla en cercanías a las quebradas Cumbal y El Cucho y la vía Imués-Guaitarilla donde se han afectado viviendas, cultivos, red eléctrica y personas en los barrios El Rosal, Belén, Calle Real, Calle Nueva, Calle Laureano Gómez, Calle Libertados y la Vereda El Rosal.
			El Municipio de Gualmatán donde se han visto afectado viviendas y cultivos en los años 2009 y 2011.
			El Municipio de Iles en cercanías al Río Pasto se han afectado viviendas y se reportan pérdidas agropecuarias en 38 municipios en el 2009, los cuales son: Alban, Ancuya, Arboleda, Barbacoas, Belén, Buesaco, Colon, Consacá, Córdoba, Cumbal, Cumbitara, El Penol, El Rosario, El Tablón De Gómez, El Tambo, Funes Imués, Iles, La Cruz, La Florida, La Unión, Leiva, Linares, Los Ángeles, Magui, Payan, Providencia, Ricarte, Roberto Payan, San Bernardo, San Pablo, San Pedro, Sandoná, Taminango, Tangua, Tumaco Y Túquerres.
			El Municipio de Imués donde se afectaron cultivos en el año 2009.
			El Municipio de Ipiales debido a lluvias intensas y el desbordamiento del Río Pasto se han afectado vías, el aeropuerto, el terminal, el colegio, el Instituto del sur y diversas viviendas en los barrios Seminario, La Laguna, El Charco, la plaza de mercado, los parques y otros lugares urbanos.

Amenaza según su origen	Tipo de amenaza	Fuentes	Áreas afectadas
			El Municipio de La Florida en los sectores de Pachindo y El Placer se han afectado viviendas en los años 2004, 2009 y 2011.
			En el Municipio de La Llanada han sido afectados cultivos y viviendas en los años 2004 y 2008.
			El Municipio de Linares donde se han visto afectadas personas, viviendas con averías en techo, agrietamientos de paredes y hundimiento de pisos.
			El Municipio de Los Andes donde los barrios Colón y Cabrera se han visto afectados por colapso del sistema de alcantarillado.
			El Municipio de Ospina en cercanías al Río Pasto, afectando puentes por las crecientes del río.
			En la ciudad de Pasto, en zonas aledañas a los ríos Pasto, Blanco, Las Monjas, Mijitayo, Chapal, Laguna de La Cocha, quebradas La Gallinera, La Milagrosa, Malagato, el Caño Chaparrito, donde las lluvias excepcionales, han afectado vías (como Pasto-Ipiales), personas, enseres, infraestructura, cultivos, redes eléctricas, comunicaciones, viviendas y ganado, en los barrios San Andrés, El Cementerio, Obrero, Juan XXIII, Centenario, Maridiaz, Río Blanco, Fátima, Lorenzo de Aldana, Chapal, Las Ferias, Las Américas, San Felipe Neri, Mijitayo, San José, Las Lunas, Venecia, Dos Puentes, el Recuerdo, San Ignacio, Chile, Santa Clara, Miraflores, Potrerillo, Las Lunas, Tamagrasa, Playón, Morasurco, Capusigra, El Remanso, Pilar, La Colina, Santa Mónica, Pandiaco, Quintas de San Pedro, Santa Bárbara, entre otros, y bodegas de alimentos, la Clínica Martínez, la Terminal de Transporte, El Cementerio; además de las veredas El Puerto, Naranjal, Motilón, El

Amenaza según su origen	Tipo de amenaza	Fuentes	Áreas afectadas
			<p>Puerto, Ramos, Casapampa, El Puerto, El Motilón, Santa Teresita, Carrizo, Santa Lucia, Romerillo, y los corregimientos de El Encanto, Obonuco, Cabrera, Mocondino, El Encano; donde se presentan algunas deficiencias en el sistema de desagüe, causado en muchos casos por las basuras acumuladas de los habitantes del área.</p>
			<p>Los Municipio de Potosí, Providencia, Samaniego (veredas Panamá, La Laguna y Tenguqui), Sapuyes (Corregimiento del Espino, y vía Sapuyes-Malaver), se vieron afectados por las crecientes del Río pasto y sus afluentes.</p>
			<p>El Municipio de Sandoná en cercanías al Río Ingenio, quebradas Care Perro y Guarango y otras más que atraviesan la zona urbana, donde se vieron afectados barrios como San Francisco, Hernando Gómez, Campo Alegre, Belén, Avenida Centenario, Manantial, Cafesan, Porvenir, Villa del Rosario, 20 de Julio, Mundo Nuevo, Comercio, Madrigal y Naranjal; además de los acueductos de la región, Hospital Claritas Santos, instituciones educativas, terreno agrícola, vías (como Pasto-Sandoná).</p>
			<p>El Municipio de Santacruz en cercanías al Río Pascual, afectando viviendas y puentes.</p>
			<p>El Municipio de Tangua en cercanías a la Quebrada Tangua afectando personas y cultivos.</p>
			<p>El Municipio de Túquerres donde las fuertes lluvias han afectado instituciones educativas y vías en las veredas Cuatro Esquinas, La Florida, San Carlos, Pinzón, El Chanarro Alto y El Guanama además de barrios como San Fernando y Libertad.</p>

Amenaza según su origen	Tipo de amenaza	Fuentes	Áreas afectadas
			El Municipio de Yacuanquer en cercanías a la Quebrada Telpies en la Vereda Tasnaque, donde se han afectado vías (como La Guada-La Pradera; Cebadal-Yacuanquer) y cultivos.
Hidrometeorológica	Avenida Torrencial	El Tiempo, ING, BDOSSO, DNPAD, UNDGRD, DGR, REONAD, BDOD.	Los municipios de Ancuný (Quebrada Los Frisoles), Consacá (Quebrada Agua Dulce), Contadero, El Tambo (Quebrada Sarancocho), Funes (veredas San Miguel y Guapascal Alto), Guaitarilla (Quebrada el Arrastre), Ipiales, Pasto (Río El Encanto en el Corregimiento El Encanto, Río Guamués en el caserío El Puerto, Barrio Miraflores y Vereda San José), Puerres (Vereda El Verde), Samaniego (Vereda Cachaquez), Sandoná, Tangua (Río Curiaco y Quebrada la Bombeadora, veredas San Luis Alto y San Luis Bajo) afectando centros de salud, el depósito de la Federación de Cafeteros, sistemas de riego, ganado, viviendas, personas, oleoductos y escuelas.
Natural	Movimientos en masa	BDOD, BSOSSO, El Tiempo, DGR, DNPAD, El País, ING, Montero, REONAD, UNDGRD	<p>El Municipio de Aldana afectando el Centro de Acopio de Leche ASOPROCOLIDA.</p> <p>El Municipio de Acuný en las veredas como El Tablón, San Luis Grande, El Gradual, Tusnian, Concha Blanca y El Rosario afectando carreteras como La Granja-Ancuya-Linares, Ancuya Consacá, Ancuya-Sandoná, Ancuya-Guaitarilla, Ancuya-Vereda Cruz De Mayo, Ancuya-Cocha Blanca, El Ingeni-Guayabal personas, centros educativos como El Limonar, La Palma y El Collal viviendas, puentes, acueductos y cultivos.</p>

Amenaza según su origen	Tipo de amenaza	Fuentes	Áreas afectadas
			<p>El Municipio de Consacá en veredas como Campamento afectando vías como Consacá-Pasto, Circunvalar Galeras, Consacá-Acunyá, Sandoná-Consacá, Yacuanquer-Consacá, Rumichaca-Pasto y camino San José de Bombona, los sectores de la falda de Volcán Galeras, Puente Azufral, acueductos e instituciones educativas.</p>
			<p>El Municipio de Contadero en las veredas Santo Domingo, San Francisco, Josefina y Simón Bolívar y el barrio Obrero, afectando vías, personas y viviendas.</p>
			<p>El Municipio de Córdoba en corregimientos como Quebrada Blanca (Vereda Llorente), afectando, vías como Córdoba-El Quemado-La Cumbre, vía al Mirador Arrayanes y Córdoba-Las Delicias, cultivos, centros educativos y los centros de salud de Santa Brigida, San Pablo y Arrayanes</p>
			<p>El Municipio de Cuaspud en cercanías a la cabecera urbana, afectando bocatomas, vías como Carlosama - Las Macas Centro; Macas Centro - Chungana; Vía Carlosama - Cuatro Esquinas; Carlosama - Santa Rosa - El Edén; Carlosama - Ipiales; Carlosama - Puente Tierra, puentes, acueductos, centros educativos personas y viviendas.</p>
			<p>El Municipio de Cumbal en veredas como San Martín afectando vías como El Tambo - San Felipe; Panamericana-Carlo Sama; Cumbal - La Hortiga, Tambillo-San Martín-Miraflores y Vía Al Nevado, centros educativos como el Instituto Técnico Agropecuario Indígena, San Vicente, Río Blanco, El Mariño, El Tambillo San Martín, El Mortiño y La Balsa, cultivos, pastos, acueductos, bocatomas y viaductos</p>
			<p>El Municipio de El Peñol en veredas como Banao, afectando torres eléctricas, vías como El</p>

Amenaza según su origen	Tipo de amenaza	Fuentes	Áreas afectadas
			Peñol-San Francisco, Alto Peñol-Aguada, Pueblo Nuevo-Molinoyaco, El Peñol-El Tambo, acueductos, instituciones educativas cultivos, viviendas y personas.
			El Municipio de El Tambo en corregimientos como El Peñol, afectando vías como Pasto-El Tambo, Popayán-El Tambo, El Tambo- San Pedro, El Tambo-Chuza, El Tambo- Motilón, cultivos, puentes, viviendas y personas.
			El Municipio de Funes en veredas como San Miguel de Telles Alto, La Loma, afectando vías como la Panamericana, Funes-Pilcuan, Funes-Pasto, Funes-Chapal, Funes-La Vega, Funes-Telles Bajo, Funes-San Rafael, Río Telles-La Vega, Funes-Purutal, Guapuscal Alto-Peñas Blancas, La Pradera-Tellez Alto, Funes-La Soledad, Funes-La Joya, Funes-Sucumbias, acueductos, centros educativos, cultivos, personas y viviendas.
			El Municipio de Guachucal afectando vías como Guachucal-Ipiales, personas y viviendas.
			El Municipio de Guaitarilla en veredas como San Francisco, afectando vías como Guaitarilla – Motilón, Guaitarilla–Cabuyo, Guaitarilla-San Alejandro, Guaitarilla-Plan Grande, Guaitarilla–Yunguita, Guaitarilla-Guáitara, Cuatro Esquinas–Girardot, Girardot-El Rosario De Inga, Guaitarilla-Ciénaga, San José-Buenos Aires, San Alejandro–Alex, Yunguita-Guáitara, Guaitarilla-Auma centros educativos como San Francisco, Juan Bosco, La Victoria, alcantarillados, personas y viviendas.
			El Municipio de Gualmatán en cercanías a veredas como Cuatiz, afectando vías como Circunvalar-Dos Caminos, Circunvalar-Arrayan-Cedros, Cuatiz-Cofradia-Cofradia Alta, alcantarillados, cultivos, viviendas y personas.

Amenaza según su origen	Tipo de amenaza	Fuentes	Áreas afectadas
			<p>El Municipio de Iles en cercanías al casco urbano y veredas como La Esperanza, El Rosario, San Javier afectando vías como Pilcuan-Iles, Iles-Rosario Occidente, Iles – Tamburan, Iles - Alto Del Rey, Iles - Loma De Argotys Alto, Iles - Loma De Argotys Bajo, Iles – Izcuzan, Iles - Loma Alta, La Esperanza – Iles, La Vieja, Pilcuan Viejo – Iles, Iles - Vereda El Carmen, El Porvenir-Pilcuan, Iles - Vereda Loma Larga, cultivos, viviendas y personas.</p> <p>El Municipio de Imués en veredas como Cerro Gordo, vías como Pilcual-Pedregal, Chirristes-Casco-Urbano y la vía Panamericana, además de cultivos, viviendas y personas.</p> <p>El Municipio de Ipiales en cercanías al Río Guáitara y los barrios Avenida Las Lajas, Benjamín Herrera, La Florida, afectando vías como Pasto-Ipiales, vía a Ecuador, Ipiales-La Victoria-Monopamba, puentes, viviendas y personas.</p> <p>El Municipio de La Florida afectando vías como Pasto-La Florida-Sandoná, viviendas, ganado, personas, centros educativos y cultivos.</p> <p>El Municipio de La Llanada en cercanías al casco urbano y en las veredas Escaleras, El Vergel y La Florida, afectando vías como la que conduce de La Llanada a Los Andes, La Llanada-Canadá, personas, cultivos, viviendas y centros educativos como La Palma.</p> <p>El Municipio de Linares en veredas como Alto De Aranda, Arboleda, Balsal, Bella Florida, Bellavista, El Recreo, Gramal, Higueronal, La Cocha, La Encillada, San Antonio, La Mina, La Palma, La Tola, Tambillo De Bravos y Vendeahuja afectando vías como Corregimiento El Peñol-San Pedro Linares, Corregimiento El Peñol-El Tambo, Linares-Ancuya, San José-El Empate, Panamericana, Tabile-Samaniego,</p>

Amenaza según su origen	Tipo de amenaza	Fuentes	Áreas afectadas
			<p>Linares-Tabiles, Linares-Poroto, Linares-Carrizal-Cuat, Motilones-Tabiles, Linares-Llano Grande personas, acueductos, viviendas, centros educativos como Higronal, Motilón, Poroto y Llano Grande Bajo, puentes y cultivos.</p> <p>El Municipio de Los Andes en el casco urbano del municipio, veredas como La Carrera, Boqueron, La Loma, Guabos, Providencia y la cabecera municipal de Sotomayor, afectando vías como El Tambo-El Peñol, carretera a Tumaco, Vía Al Carrizal, Vía A La Llanada, San Francisco-San Vicente, Curiaco-Guayabal, Los Guabos-Pangos, Sotomayor-Quebrada Honda, Sotomayor-San Vicente, viviendas, centro educativos, personas y cultivos.</p> <p>El Municipio de Ospina afectando vías como Túquerres-Ospina, Ospina - Manzano. Guaquiran - San Miguel; San Miguel - San Vicente; Ospina - Guaquiran; Guaquiran - San José; Guaquiran - San Isidro; San Isidro - San Antonio; San Isidro - Villa Del Sur; Villa El Sur - La Florida; Villa Del Sur Cunchila; Cunchila - Gavilanes; Cunchilla - Las Mercedes; Las Mercedes - Cuadquiran; Las Mercedes - Villa Del Sur; San Miguel - San José, Ospina - El Manzano; San Isidro - San Antonio; San Isidro - El Cidral - La Florida; La Florida - Intersección Villa Del Sur; Cuadquiran - Mercedes - Puente De Tabla e instituciones educativas como Francisco de Paula Santander.</p> <p>El Municipio de Pasto en la Ciudad de Pasto en los barrios Buenos Aires, Las Malvas, Obreros, San Miguel de Jonjonito y Alameda, Juanoy, Centenario, San Fernando, Caicedo, las veredas Molinoyaco, San Juan, El Vergelu y El Motilón afectando canteras, minas, vías como Pasto-Ipiales, Pasto-Mocoa, Pasto-Rumichaca, Sebadal-Pasto, Pasto-Genoy, Pasto-Laguna de Cocha, La Cruz-El Empate, Iguerones-El Empate,</p>

Amenaza según su origen	Tipo de amenaza	Fuentes	Áreas afectadas
			<p>La Unión-Taminango, Casafria-Matacea, Corregimiento de El Peñol-San Pedro Linares, Corregimiento de El Peñol-El Tambo, Pasto-Chachagú, Pasto-Tumaco, Pasto-Popayán, Puente Quiña - San José De Alban; San José - El Carmelo - Campo Bello y Pasto-Aeropuerto Antonio Nariño, acueductos, la planta de purificación Centenario, cultivos, viviendas y personas.</p> <p>El Municipio de Potosí en cercanías al casco urbano afectando vías como Pasto-Ipiales, Pasto-Mojarras, Casco Urbano-Puente Las Lajas, Cuaspud-Núcleo Kirama, Museses-Cerro Gordo, Centro Hospitalario Luis Antonio Montero, viviendas, cultivos, instituciones educativas y personas.</p> <p>El Municipio de Providencia en la Vereda Guanama Chiquito, afectando ,viviendas, personas y vías como German - Ahumada; German - Providencia; Providencia - Guadrahuma (Deslizamientos Y Perdida De La Banca); Ranchería - La Floresta, Departamental Providencia - Vereda Germán en el Sector Casa Grande, Germán-Ahumada en el sector López, da Providencia- Santa Lucía Y Santa Lucía-Guarahuma.</p> <p>El Municipio de Puerres, el corregimiento de Paramo, veredas La Laguna, y Loma Larga afectando vías como la Panamericana, Puerres-Monopamba, Puerres-Maicira, Puerres-Chitamar Bajo, Puerres-Alisales, Puerres-San Juan, centros educativos como El Escritorio, Paramo, Quebrada Blanca, Loma Redonda</p> <p>El Municipio de Pupiales en la cabecera urbana (Barrio El Bosque), afectando vías como Casafria-Matacea, alcantarillado, estación de policía, y un ancianato.</p>

Amenaza según su origen	Tipo de amenaza	Fuentes	Áreas afectadas
			<p>El Municipio de Samaniego en las veredas Alto Y Bajo Canadá; Motilón; El Limón; Naranjal; Pichuelo; Chuglundy; La Capilla; La Laguna; Piedrablanca; El Salado; Puerchag; La Mesa; Motilón; Vistahermosa; Guadual; Doña Ana y los barrios Los Ángeles; La Avenida; Siloe; Schumacher afectando vías como Samaniego-La Llanada, Tanama - El Pichuelo; Decio - Buena Vista - La Cuchilla; Samaniego - El Empate; Bermejál - El Pichuelo; Doña Ana - El Casino; Puerchag - Doñana; Samaniego-Chuguldly; German - La Aguada; Tanama Túquerres-Sotomayor, acueductos, familias, institución educativa San Martín de Porres, cultivos y viviendas.</p> <p>El Municipio de Sandoná en la cabecera municipal en los barrios Obreros y Melendes, las veredas El Basal, Chupadero, Dorada Guáitara, San Fernando, San Andrés, La Joya, Alto Jiménez, Regadera y Paraguay afectando viviendas, cultivos, familias, centros educativos como Santo Tomas de Aquino, vías como Sandoná-Pasto, Sandoná-El Maco-Alto Jiménez, San Francisco-Las Delicias, Puente Alto-Ingenio, Sandoná-Puente Guáitara, El Salto-La Regadera-San Miguel y Florida-Sandoná, los acueductos de Feliciano, Vergel, Bella Vista, Bolívar, Porto Viejo, Bolívar Y Vergel.</p> <p>El Municipio de Santacruz en el sector de Guachavés afectando personas, viviendas, cultivos y vías como Alaica-Guachavéz, Santa Rosa-El Perú; Balalaika-San José, Guachavéz-Diamante; Rio Cristal-Madroño y Guachavéz-San Martin y los centros educativos de Cundes, Santa Rosa, San Martin Y Guarango.</p> <p>El Municipio de Sapuyes afectando cultivos, viviendas, familias y vías como Sapuyes-La Campana, Sapuyes-La Floresta, Sapuyes-Maramba Alto, Sapuyes-Maramba Bajo,</p>

Amenaza según su origen	Tipo de amenaza	Fuentes	Áreas afectadas
			<p>Sapuyes-Los Monos, Sapuyes-Malaver, Sapuyes-La Comunidad, Sapuyes-El Espino, Sapuyes-San Ignacio y Sapuyes-La Verbena.</p> <p>El Municipio de Tangua afectando el casco urbano del municipio, familias, viviendas, veredas como La Palizada, Puentes, Cocha Verde, Las Palmas; Paramillo; San Antonio Y San Rafael y vías como Tangua - San Pedro, Tangua - Paramillo; Tangua - San Antonio; Tangua - Paramo; Paramo – Chávez, vías como Pialquer Alto - San Rafael; Paramillo - Siquitan; Vereda Birmania; Vereda San Pedro Obraje; Barrio Corazón De Jesús, instituciones educativas como el Colegio Misael Pastrana, La Cocha, Nazcan, Paramillo, Birmania y San Luis Bajo, el centro de salud de la vereda Las Palmas, el estadio municipal y la Casa del Adulto Mayor.</p> <p>El Municipio de Túquerres en la cabecera municipal en el barrio El Carmen. Afectando vías como la Panamericana, Pedregal-Túquerres, Túquerres-Sotomayor, El Pedregal-Túquerres, Túquerres-San Roque, Olaya-Yascual, La Laguna-Chalitala, Chalitala-Arrayanes, viviendas y familias.</p> <p>El Municipio de Yacuanquer afectando veredas como Chapacual, Arguello, San Felipa, El Rosal, Ojo de Agua, Inantas, Tasnaque, Capullo y Tasnque, vías como Yacuanquer-Consacá, Circunvalar al Galeras, minas y cultivos.</p>
Socio-natural	Incendios de la cobertura vegetal	(UNDGRD),	<p>El Municipio de Ancuya en las veredas La Soledad (sector Cerro Gordo), Rosario, Limonal, Cruz de Mayo, Ceballos, Arada, Chorrillo, Floresta, Placer, Loma, La Palma y Las Brisas, afectando vías (como Ancuya-Linares), viviendas, personas y cultivos consumiendo en algunos casos hasta 647 Ha.</p> <p>El Municipio de Consacá en las veredas Rumipamba, El Guabo y Churupamba donde se</p>

Amenaza según su origen	Tipo de amenaza	Fuentes	Áreas afectadas
			vieron afectados bosques, cultivos, trapiches y el Santuario de Fauna y Flora Galeras.
			El Municipio de Cumbal en las veredas Tasmag, Cuel, Miraflores, afectando páramos y bosques.
			Los municipios de El Peñol, Linares, Samaniego donde se vieron afectados bosques y cultivos.
			El Municipio de El Tambo en las veredas San Pedro, San José del Trigal, San Pablo Alto, La Minga, Capuli Grande, San José del Cidral y los corregimientos de El Tambo y Ricaurte, afectando vegetación nativa, personas y viviendas.
			El Municipio de Gualmatán afectando el Páramo de Paja Blanca.
			El Municipio de Iles en la Vereda El Salado, Corregimiento El Tablón afectando 55 Ha.
			El Municipio de Imués en la Vereda Pilcuán afectando 1 Ha de pasto.
			El Municipio de Ipiales en los sectores Partidero, Carlosama, Puente Nuevo, la Vereda Peques y el Barrio Altamira, afectando vías (como Ipiales-Rumichaca, Ipiales-Carlosama) y bosques.
			El Municipio de La Florida en cercanías a la Quebrada Honda, en las veredas Chilchal, Santa Rosa Yunquilla, Cachaco, Cacique Alto, Cacique Bajo, Chacagualco, El Maco, Rodeo, Guayabal, Bellavista, El Hueco, Grande, Rosa Pamba, Pescador Bajo, Duarte, Las Lomas, Robles, El Carmelo y El Hachal, afectando cultivos y bosque nativo.
			El Municipio de La Llanada donde se afectaron 150 Ha de bosque nativo.
			El Municipio de Los Andes en las veredas Los Balsos, El Guadual, El Cerro Los Mayas

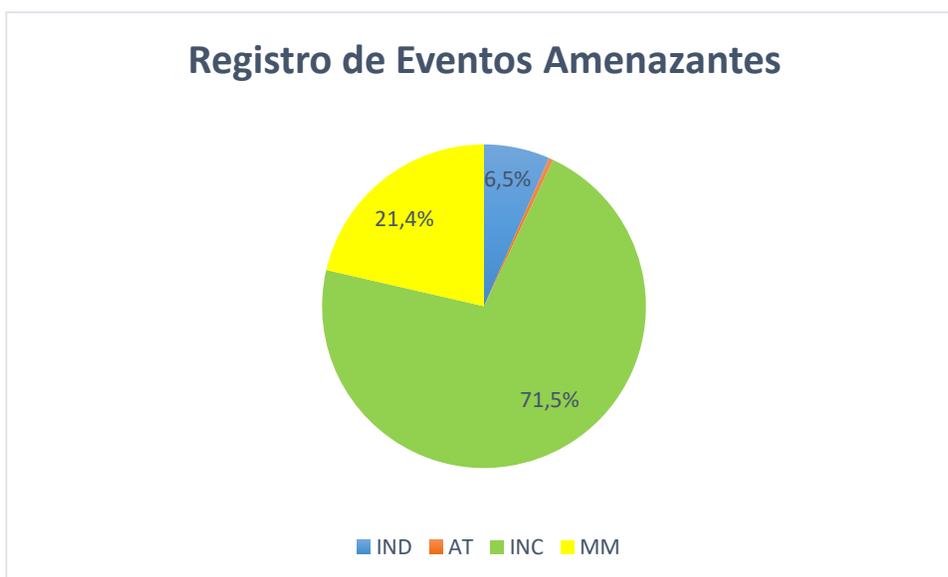
Amenaza según su origen	Tipo de amenaza	Fuentes	Áreas afectadas
			afectando vías (como Los Andes-Pasto), cultivos y la sede de CORPONARIÑO.
			El Municipio de Pasto en cercanías al aeropuerto Antonio Nariño, El Río Pasto, el Parque Nacional Galeras, en las veredas El Rosal y San Felipe en los corregimientos de Chachagui, La Caldera, Obonunco, Genoy, Pullito Pamba, en los sectores conocidos como Alto Daza, Altos de Chapalito, Atagualpa, San Antonio, Plazuelas y Arrayanes afectando plantaciones de Eucalipto, páramo, vías (como la vía Panamericana y Pasto-Chichagui), el Volcán Galeras, Parque Chapalito, bosques y cultivos.
			El Municipio de Providencia en el barrio Betania y las veredas Villamaria y Rosario.
			El Municipio de Puerres en la Vereda San Mateo del Corregimiento San Mateo afectando cultivos.
			El Municipio de Sandoná en las veredas de Loma Chávez, Plan Guáitara (Corregimiento de Bolívar), Los Corrales, Taraconcho, Bolívar, Vergel, Bellavista, Tambillo, San Francisco, San Miguel, La Regadera, Romachaves y los barrios de la cabecera municipal de Porvenir Y Villa Cafelina donde se vieron afectados trapiches, vegetación nativa, personas y viviendas,.
			El Municipio de Santacruz en cercanías al Páramo de la Laguna Verde del Volcán Azufral, en las veredas El Diamante, El Hato, El Tablón, Chapuesquer, Piaramag y Chipacued.
			El Municipio de Túquerres en cercanías al Volcán Azufral, en el Corregimiento de Rancho Grande y en los sectores Laguna Verde y el Amarillo.
			El Municipio de Yacuanquer en los sectores Mochiza Bajo e Inantas Alto.

Fuente: Consorcio POMCA, 2015 53

El registro histórico y la recopilación de toda la información disponible son fundamentales ya que permiten 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 el área de la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara es afectada principalmente por Movimientos en Masa (como se observa en la Figura 4). Aunque la frecuencia de ocurrencia de los diferentes fenómenos amenazantes es variable, en los últimos 20 años se encuentran concentrados aproximadamente el 70% de todos ellos por lo cual, su adecuada caracterización e identificación es primordial para el análisis y zonificación de la susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo.

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



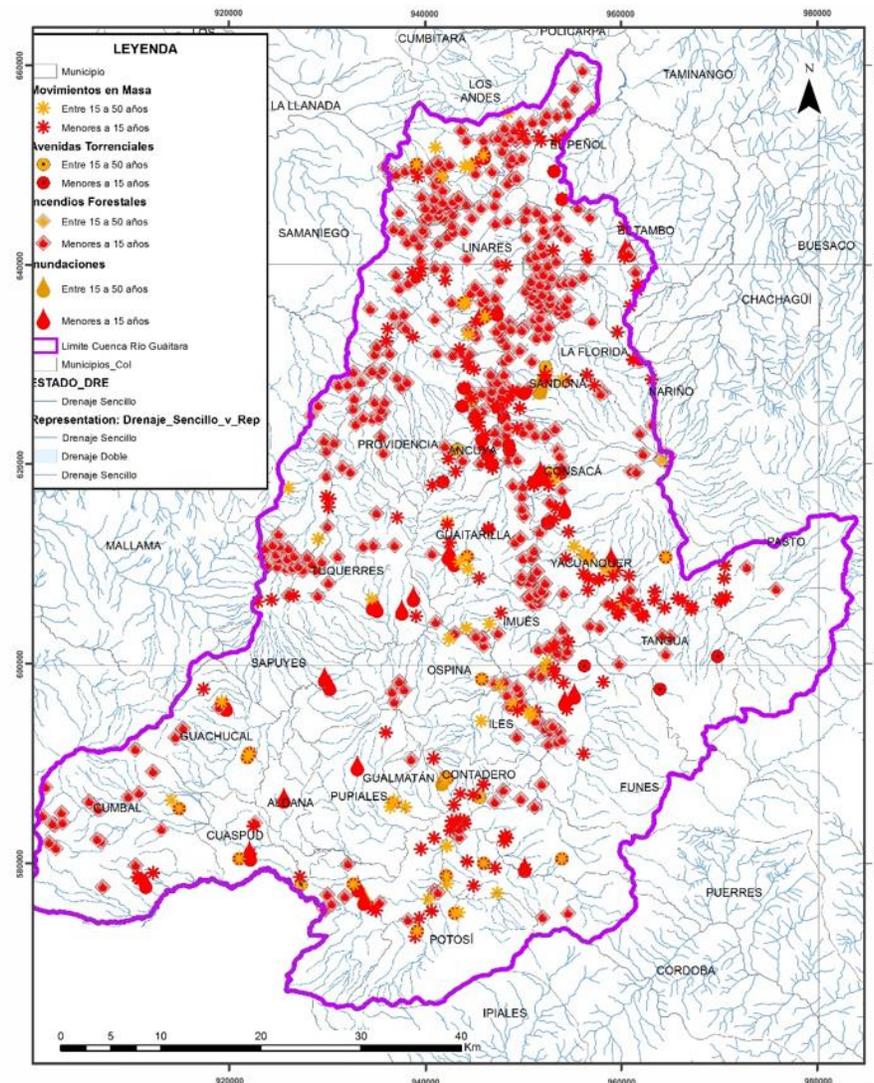
Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

Un análisis preliminar de la información recopilada permite observar que en la Cuenca del Río Guátara los fenómenos de movimientos en masa son muy frecuentes con un total de 140 eventos reportados, lo que equivale a un 21.48% del total de registros. Los eventos de incendios de la cobertura vegetal son frecuentes, con un 71.55% del total (468 eventos registrados), seguido de las inundaciones (6,59%) y por ultimo las avenidas torrenciales (0,45%). La correcta caracterización e identificación de todos los eventos ocurridos, sin importar su porcentaje de recurrencia, es fundamental para el análisis y zonificación de la susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo.

1.7.1 Mapa de eventos

Figura 5 Mapa de eventos amenazantes reconocidos dentro de la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara.

Ocurrencia de eventos históricos Cuenca Hidrográfica del Río Guátara



Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

La Cuenca Hidrográfica del Río Guátara presenta una concentración de las avenidas torrenciales y los incendios hacia el sector norte de la misma, mientras que los reportes de movimientos en masa e inundaciones presentan una distribución más amplia, abarcando a su vez el centro y sur de la cuenca.

Tabla 6. Porcentaje de espacialización de eventos

Tipo de evento	Catalogo inicial de eventos	Eventos espacializados	Porcentaje de espacialización (%)
Avenida torrencial	23	3	0,35
Deslizamiento	494	140	16,88
Incendio de la cobertura vegetal	541	468	85,79
Inundación	212	35	4,19
Sumatoria	1.270	646	50.86

Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

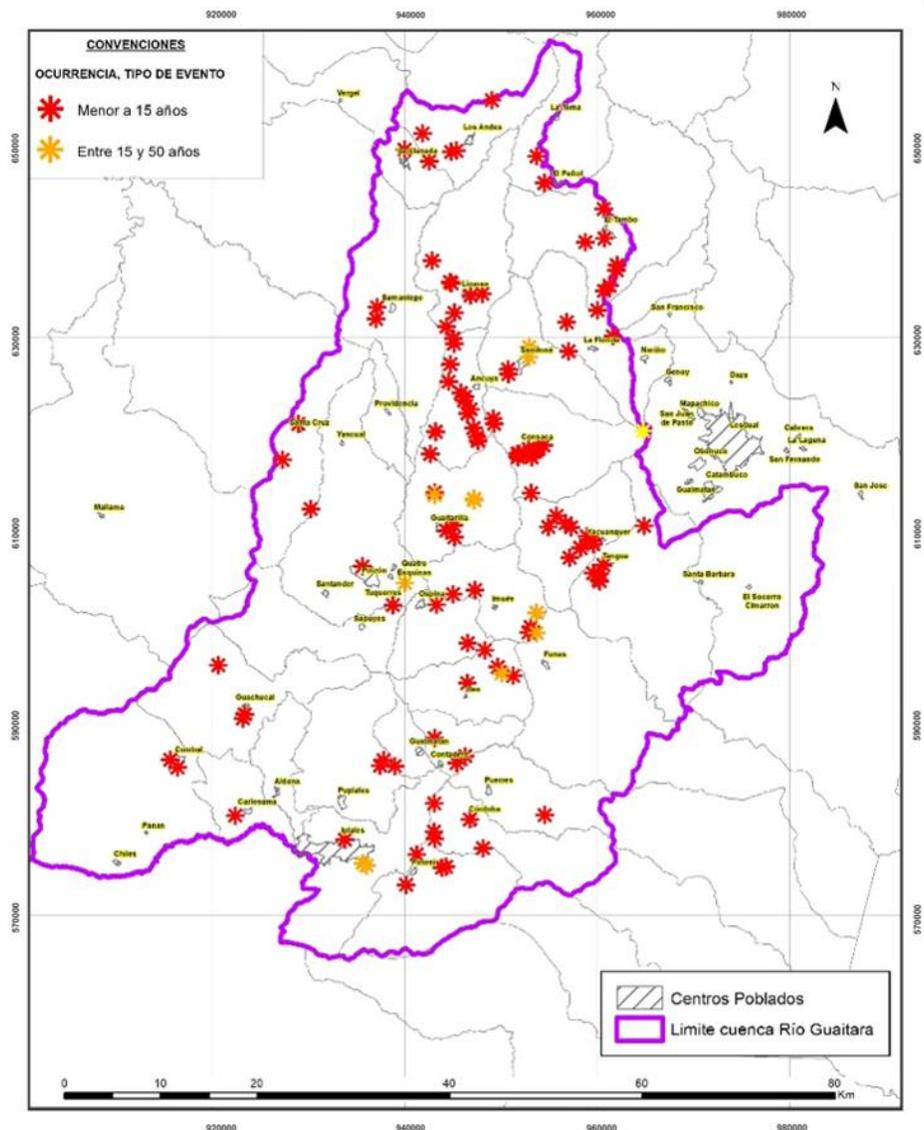
La tabla anterior muestra la efectividad de localización de eventos (coordenadas x, y) que inicia con una base de datos de 1270 eventos reportados (desinventar, simma, datos abiertos, datos campo entre otras) a tan solo 646 registros espacializados esto representa el 50.86% del total de eventos recopilados. Pese al número de eventos localizados, los análisis hechos a lo largo del componente de gestión del riesgo de la presente cuenca tuvieron en cuenta la importancia de cada evento relacionado en el catálogo inicial de eventos.

1.7.2 Recurrencia de eventos históricos por movimientos en masa.

La Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara tiene reportes de eventos históricos para movimientos en masa distribuidos de norte a sur en la parte central. Principalmente los reportes evidencian sucesos de tipo deslizamientos en el sector Sur de la cuenca, en el municipio de Contadero, con algunos registros de sismos en el centro y suroeste de la Cuenca.

La Figura 6 cuenta con 13 reportes históricos de este tipo de procesos desde 1971 hasta la actualidad. Los eventos presentan una elevada recurrencia desde 1994 hasta 1998. Se observa que en los últimos 5 años se reportaron mayor cantidad de deslizamientos.

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



Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

1.7.3 Recurrencia de eventos históricos por inundaciones

En relación con la recurrencia de eventos por inundaciones para la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara 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 corrientes fluviales (como el Río Pasto, Río Guáitara, Río Téllez Quebrada El Chuzo, Quebrada Cumac, Quebrada Potrerillo, Quebrada Peña Flor, Quebrada Chorrera Negra), con reportes principalmente asociados a las poblaciones de Guaitarilla, Túquerres, Sandoná, Consacá, Fúnes, Pasto, Sapuyes e Ipiales. En general, los reportes de

eventos por inundación para la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara han tenido un progresivo incremento durante los últimos 15 años.

En particular para el área metropolitana de la ciudad de Pasto, suele presentar inundaciones en los costados del Río Pasto y caños que atraviesan la ciudad. Principalmente por acumulación de basuras en estos que no permiten el flujo adecuado del agua lluvia.

Tabla 7. Causas y efectos de las inundaciones en la cuenca del río Guátara

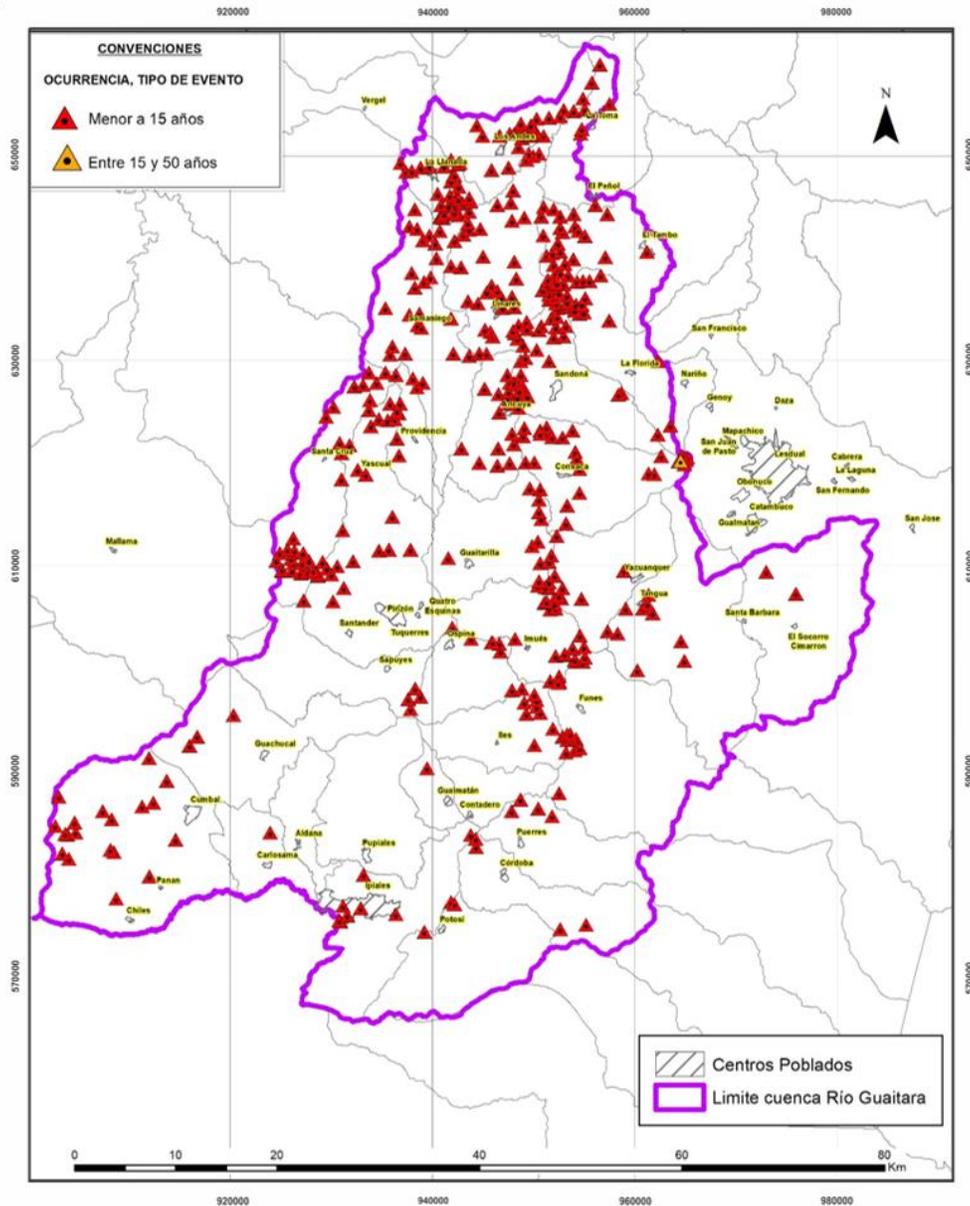
AMENAZA	CAUSAS	EFFECTOS
Inundaciones	Desborde de río principal	Además de las pérdidas en bienes materiales y vidas, se presentan problemas en las actividades económicas, tales como la afectación en cultivos y áreas de pasto para ganadería. También se rompe el balance hídrico del área, generando a su vez, una sustancial disminución de la productividad pesquera al reducirse las migraciones reproductivas y la oferta de nutrición de los peces de importancia comercial.
	Encharcamiento por aguas lluvias	
	Aportes laterales de afluentes	

Fuente: Adaptado de Narvaez Mora & Viteri Palacios (2009)

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

municipios de Consacá, Sandoná, Ancuya, El Tambo y La Florida, mientras que en el sector sur se afectaron los municipios de Imués, Iles, Contadero y Cumbal (Figura 8).

Figura 8 Recurrencia de eventos por Incendios De la cobertura vegetal para la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara.

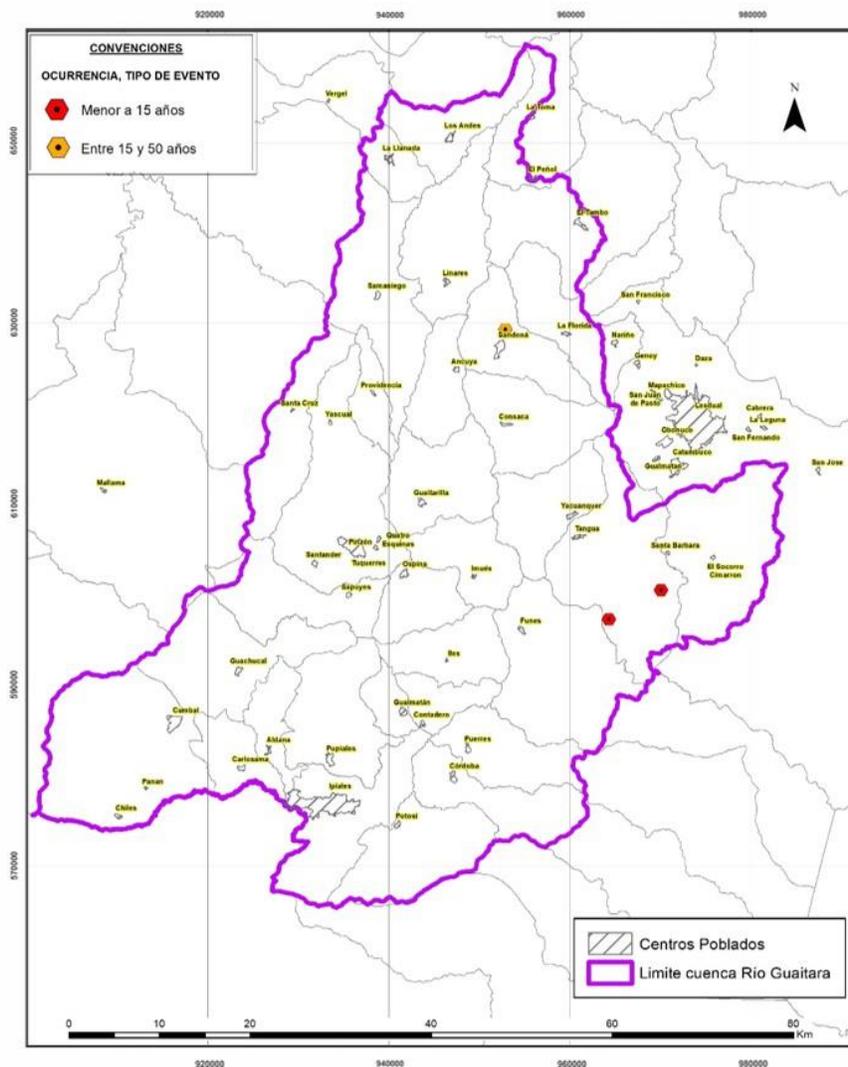


Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

1.7.5 Recurrencia de eventos históricos por Avenidas Torrenciales.

La Cuenca Hidrográfica del Río Guátara tiene reportes de eventos históricos para Avenidas Torrenciales causados principalmente por desbordamientos de cuerpos de agua como las quebradas El Salado, Honda, Guaico, Bombiadora, Peñas Blancas y los ríos El Ingenio, Azufral y Blanco. Estos eventos tienen una amplia distribución a lo largo de la Cuenca (Figura 9) donde se han visto afectadas personas, viviendas y cultivos principalmente, teniendo su mayor frecuencia de ocurrencia en los periodos de los años 1972-1975 y 1993-1999.

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



Fuente: Consorcio POMCA 2015 053

1.8 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 Guátara 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 climáticos y sísmicos, influyen como agentes morfogenéticos, en la medida que contribuyen y facilitan los procesos denudacionales.

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 M. , 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 remoción en masa, a partir de varias fuentes, dentro de las que se incluyen la información de campo, eventos históricos y de información secundaria tomados de las bases de datos del CDGRD (Consejo Departamental de Gestión del Riesgo de Desastre), CREPAD NARIÑO (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, como se puede evidenciar en la Figura 5 y Figura 6.

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 Guátara; de este modo se estima la probabilidad de ocurrencia de una falla en cada ladera.

1.8.1 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.

1.8.1.1 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.

1.8.1.2 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.

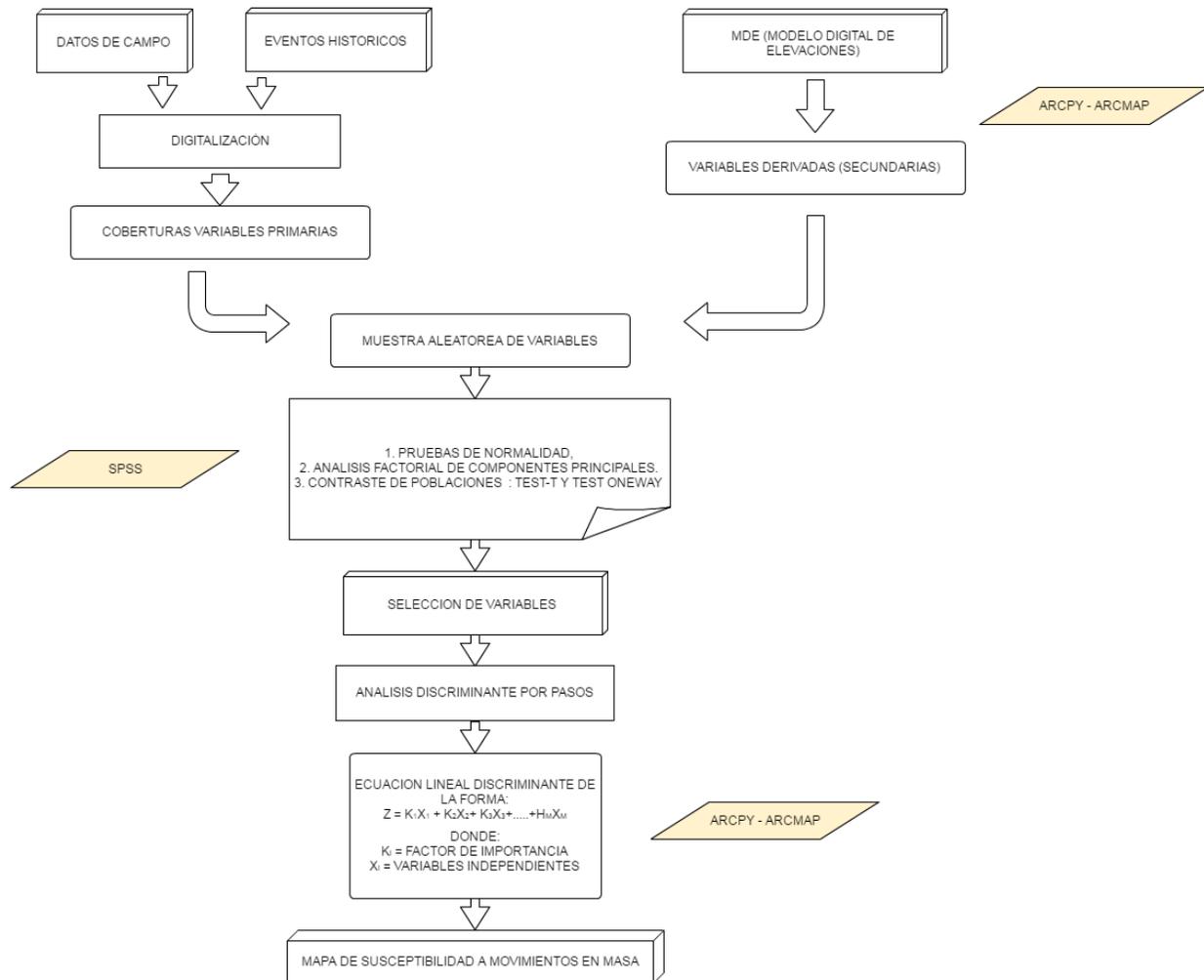
Los métodos geomorfológicos se basan en la determinación de condiciones de inestabilidad de ladera mediante técnicas morfológicas, cartografía y zonificación. La principal ventaja es la validez, detalle del análisis y mapas resultantes, sin embargo, posee un alto grado de susceptibilidad dependiente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

1.8.1.3 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 Guátara, 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.

1.8.1.4 DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES

De acuerdo a los insumos necesarios definidos por la metodología empleada, la Tabla 8 recopila las variables a utilizar, que varían en su topología y cuyas definiciones y características serán descritas posteriormente en el numeral 1.8.2.

Tabla 8. Variables utilizadas para el modelo de susceptibilidad a movimientos en masa.

Variables Primarias			
Grupo	NOMBRE	Definición	Topología
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	Coefficiente 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
PLA	Grado de concavidad/convexidad en la	Raster	

		dirección transversal de la pendiente	
Cuenca Vertiente	ACUENCA	Área acumulada de la cuenca	Raster
	LONG	Longitud máxima de la cuenca acumulada ponderada con la pendiente	Raster

Fuente: Consorcio POMCA 2015- 053.

1.8.1.5 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.

A continuación, se describe cada etapa:

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:

- Chequeo del ajuste de las variables a una distribución normal
- Chequeo de variables independientes
- 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.

1.8.2 Descripción de las variables de susceptibilidad a movimientos en masa

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

1.8.2.1 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: Equipo técnico Consorcio POMCA 2015- 053.

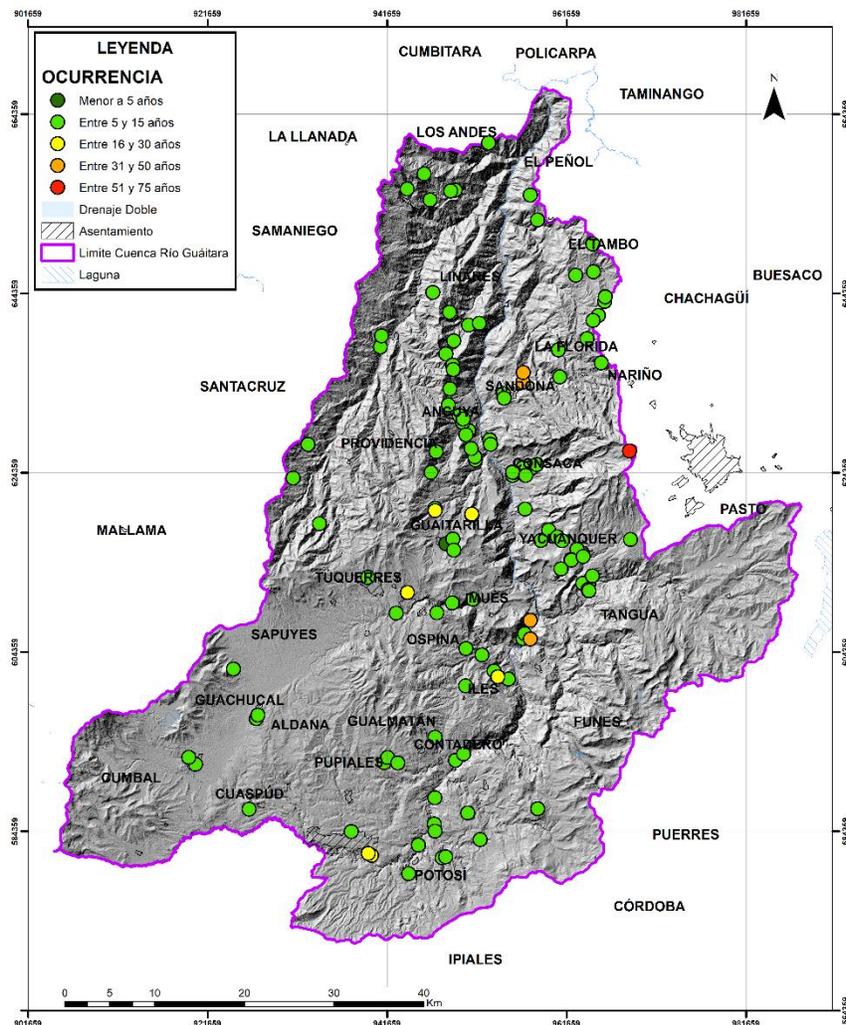
Para la integración de esta base de datos se tienen en cuenta la localización de los eventos obtenidos de diversas fuentes, adicional a esto, se determinan puntos aleatorios en donde se presenten condiciones de susceptibilidad a movimientos en masa bajas, también llamados verdaderos positivos, que se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

Los eventos anteriormente mencionados son los obtenidos en la fase del análisis situacional y para la subzona hidrográfica corresponden a eventos antiguos (ver temporalidad en la Figura 12 eventos mayores a 5 años), registrados históricamente; por otra parte con base en el análisis geomorfológico y el trabajo en campo, se pudieron identificar movimientos en masa, los cuales hacen referencia a eventos activos y/o recientes (menores a 5 años) de la cuenca (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014). En la siguiente figura se visualizan los eventos históricos (antiguos) de color rojo y los procesos morfodinámicos recientes de color naranja.

Figura 12 Mapa de procesos por movimientos en masa para la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara.



Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

El análisis de la distribución espacial y el comportamiento de esta variable, para la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara, fueron descritos previamente, y pueden ser consultados detalladamente en el numeral 1.7 y en los párrafos iniciales del numeral 1.8.

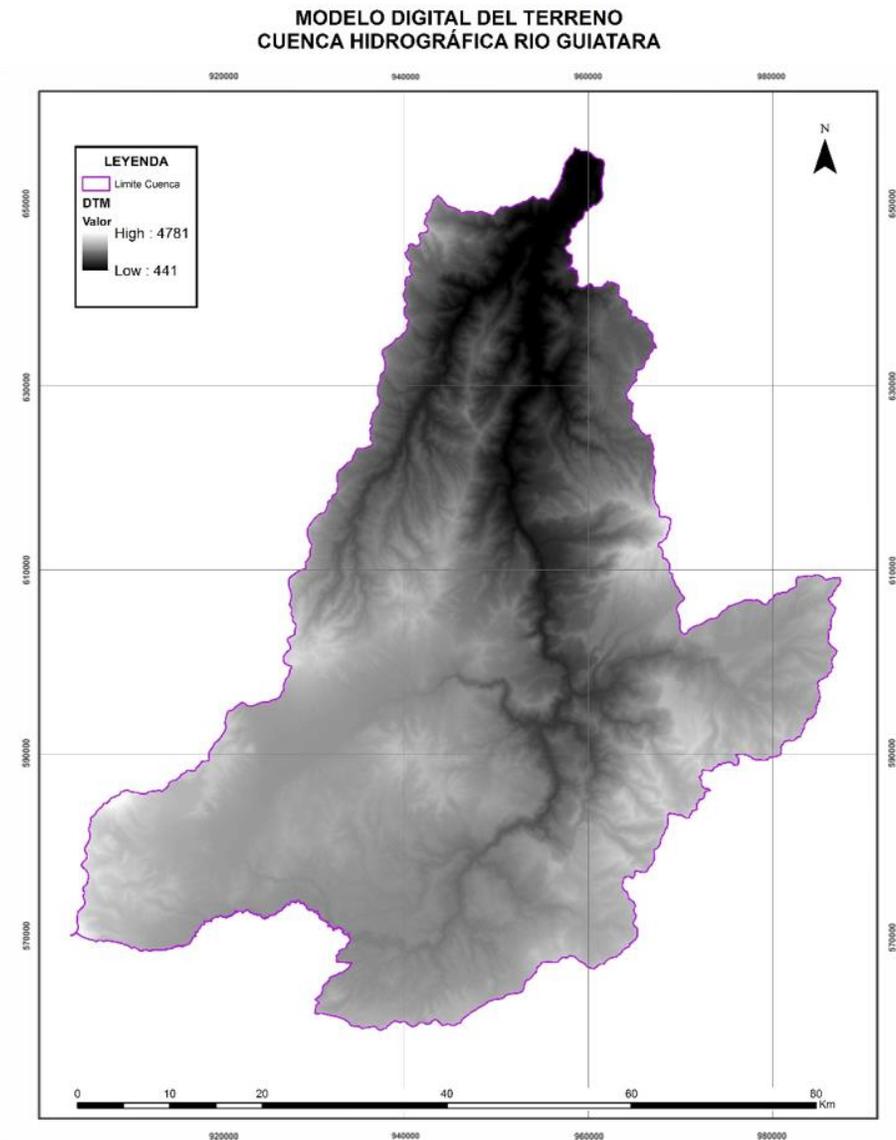
1.8.2.2 FACTORES CONDICIONANTES

1.8.2.2.1 Modelo Digital de Elevación (DEM)

El Modelo Digital de Elevación (DEM) es una matriz (raster) en la que el valor de cada pixel corresponde a la altitud sobre el nivel del mar en metros de las superficies reflectantes de árboles, edificios y otras características elevadas sobre la Tierra. 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.. (Ver Figura 13).

- Formato: Raster (Valor de celda indica el valor de la elevación)
- Fuente: Cartografía Base

Figura 13 Modelo Digital de Elevación DEM utilizado para calcular variables de características geométricas de la ladera en función de la susceptibilidad a movimientos en masa

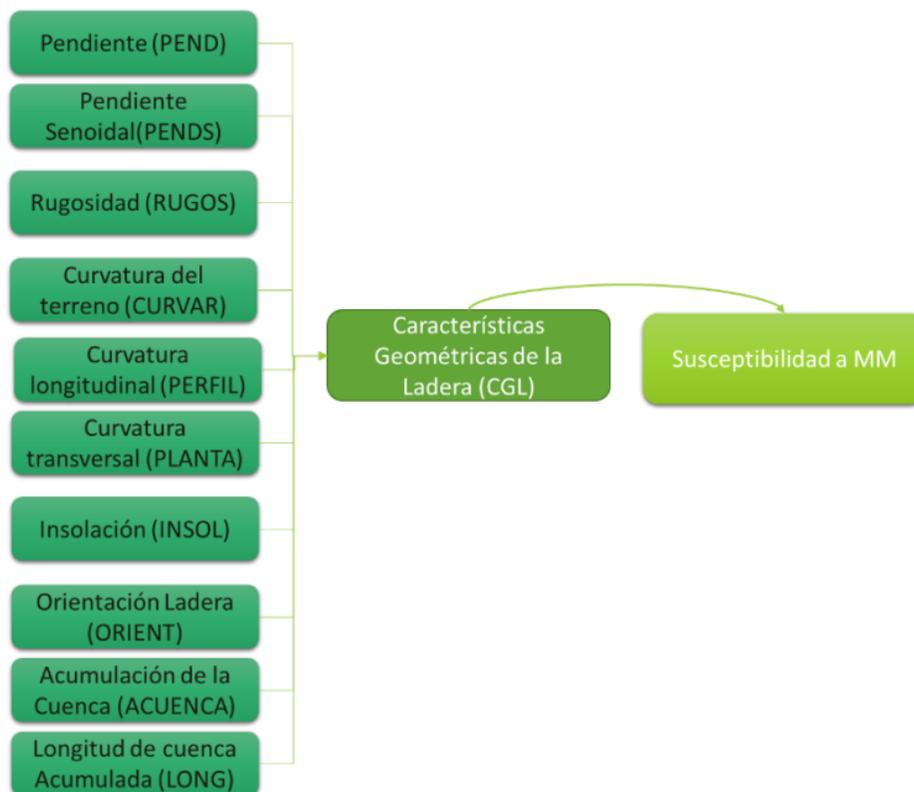


Fuente: Consorcio POMCA 2015- 053.

1.8.2.2.2 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: Equipo técnico Consorcio POMCA 2015- 053.

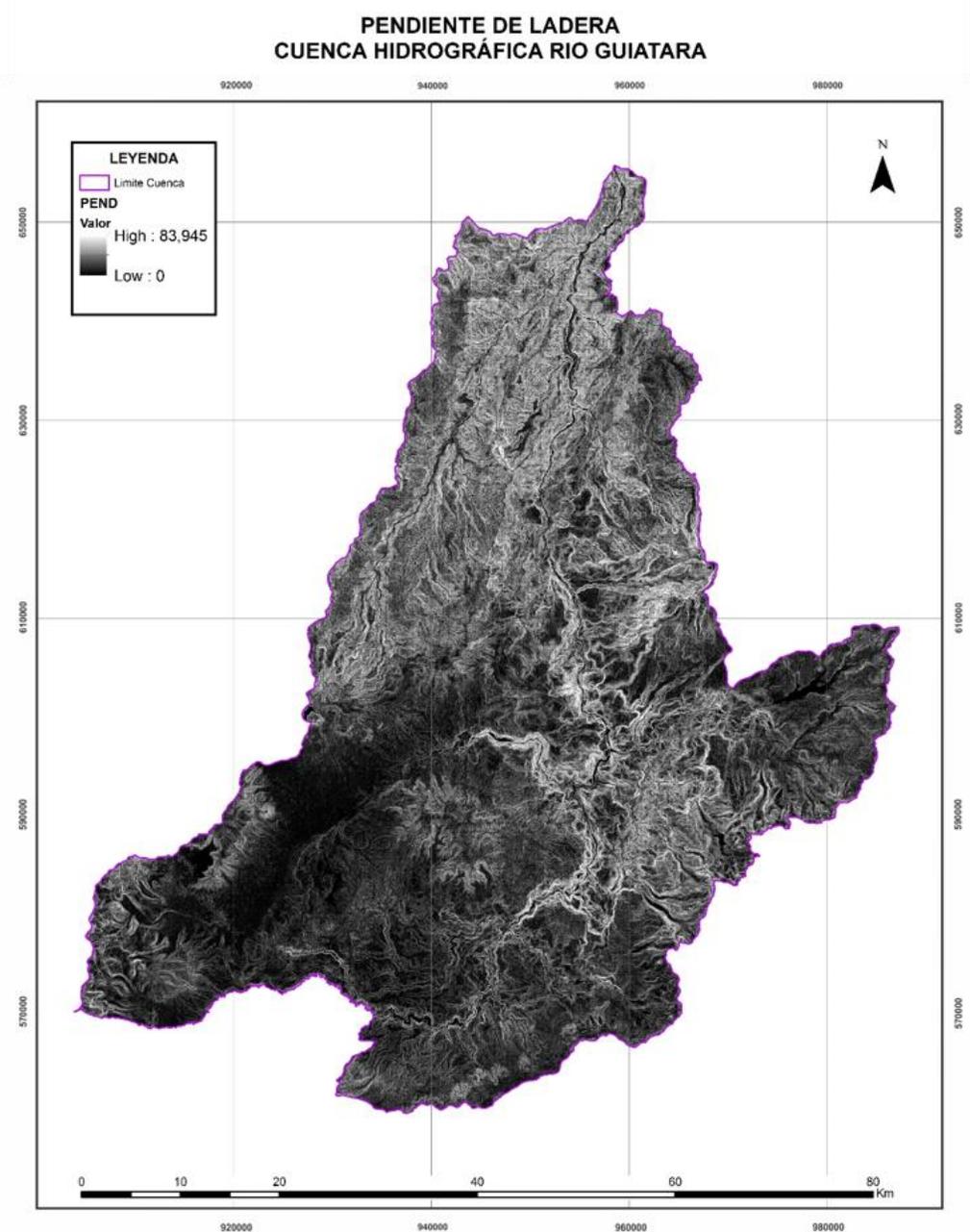
1.8.2.2.2.1 Pendiente de la ladera (PEND)

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: Raster
- Fuente: derivado del DEM

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: Equipo técnico Consorcio POMCA 2015- 053.

1.8.2.2.2 Pendiente senoidal de la ladera (PENDS)

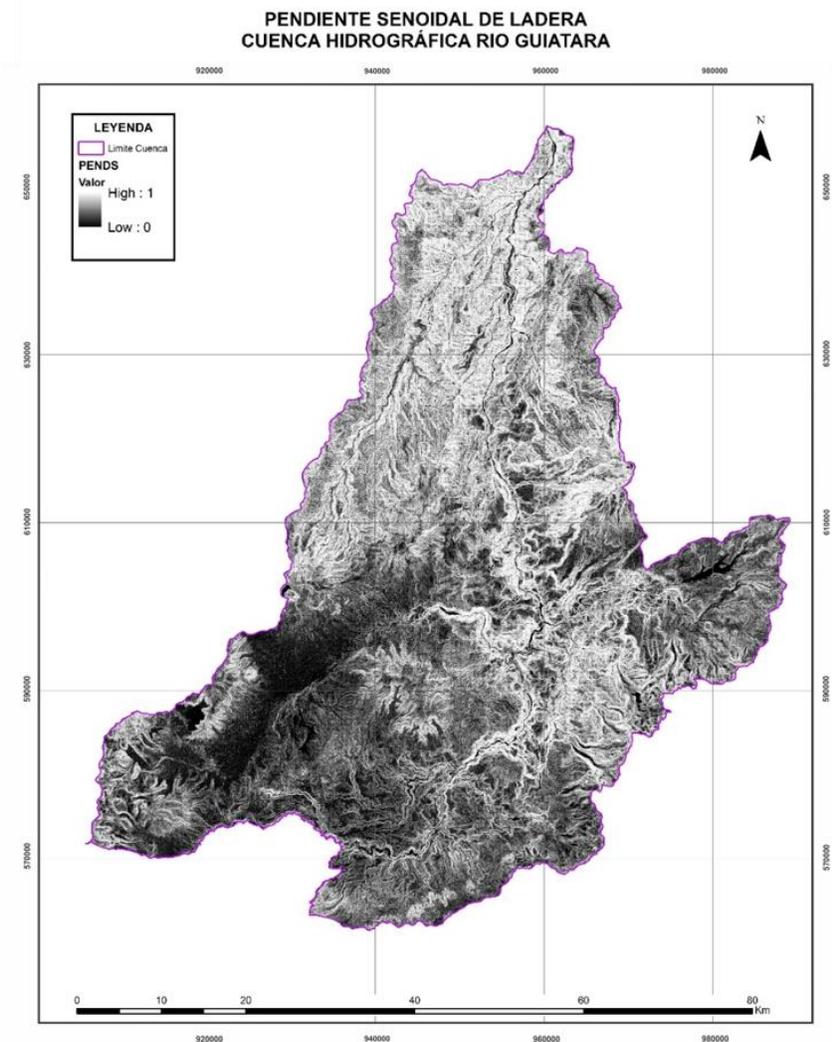
Corresponde a la pendiente senoidal de la ladera que tiene un comportamiento relevante con respecto a las zonas de rotura de los deslizamientos superficiales, pues la afectación del aumento de la

pendiente es proporcional hasta los 45°, valor a partir del cual empieza a tener un comportamiento inversamente proporcional. (Ver Figura 16).

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

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.

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



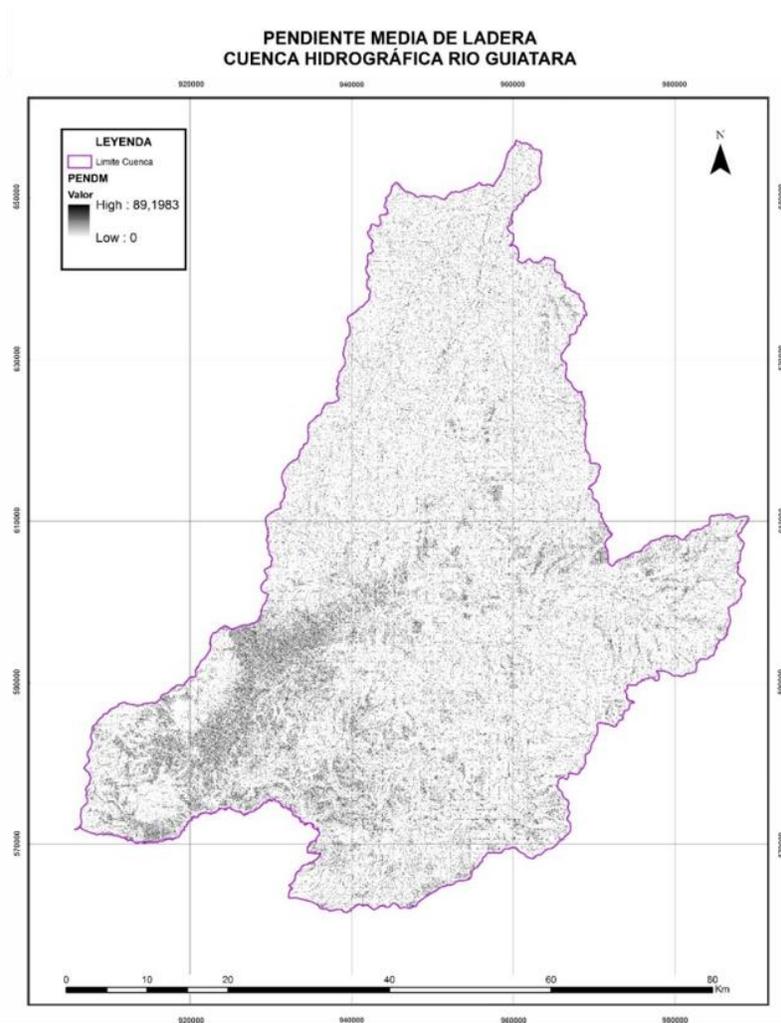
Fuente: Equipo técnico Consorcio POMCA 2015- 053.

1.8.2.2.3 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.

- Formato: Raster.
- Fuente: derivado del DEM

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



Fuente: Consorcio POMCA 2015- 053

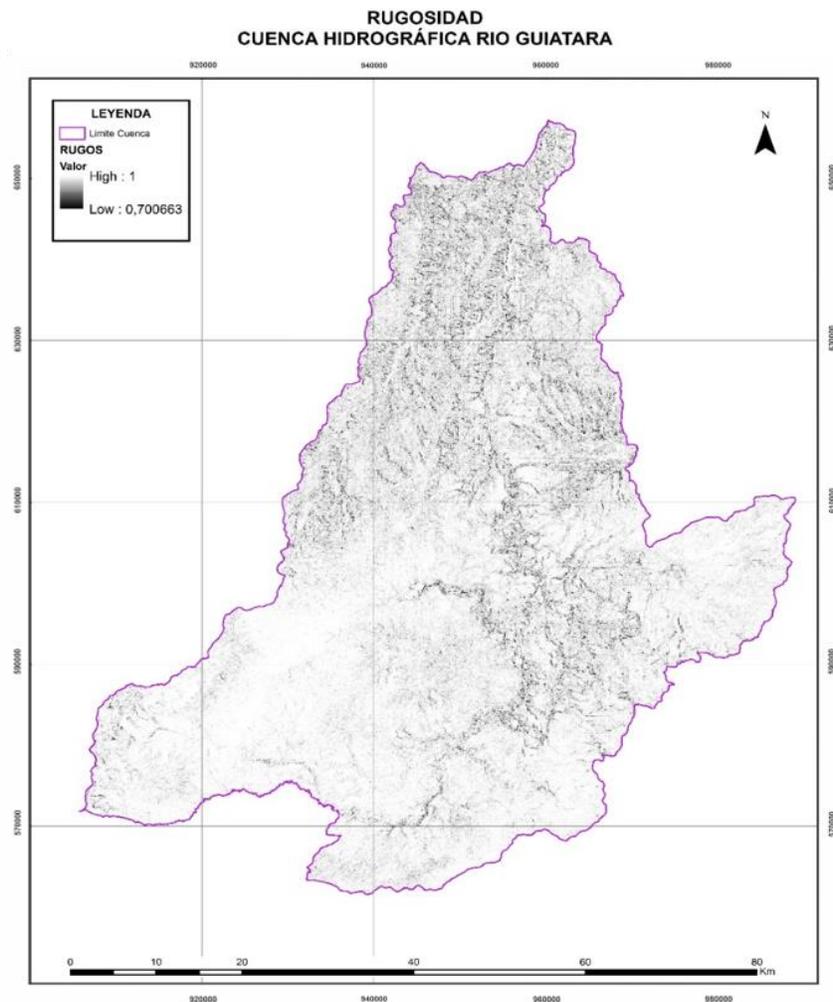
1.8.2.2.4 Rugosidad o variación de la pendiente del terreno (RUGOS)

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 DEM

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.

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



Fuente: Consorcio POMCA 2015- 053.

1.8.2.2.5 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 9 se presenta la calificación y categorización de curvatura del terreno utilizada en el presente estudio.

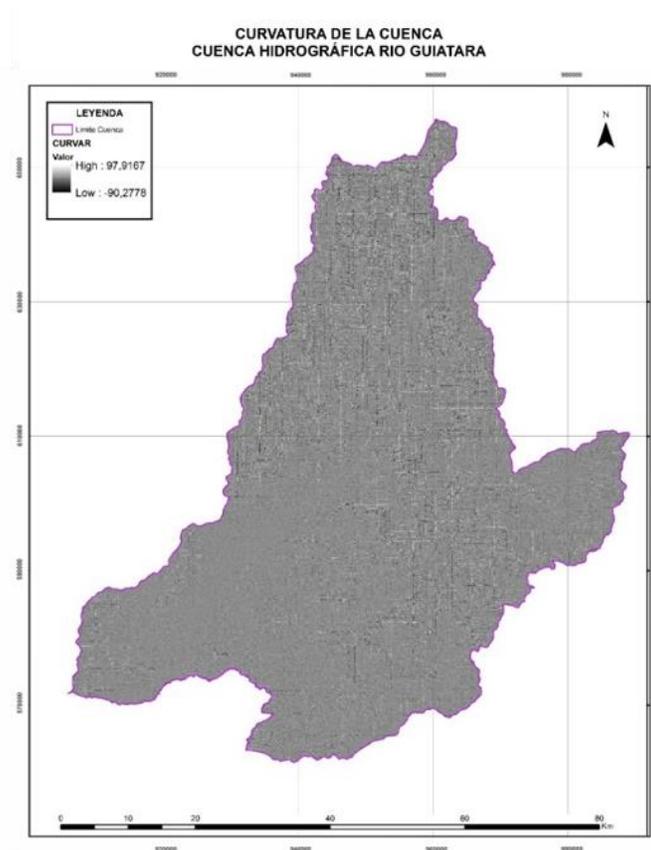
- Formato: Raster.
- Fuente: derivado del DEM.

Tabla 9. 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.

1.8.2.2.2.6 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 10 se presenta la calificación y categorización de curvatura del terreno con respecto al perfil utilizada en el presente estudio.

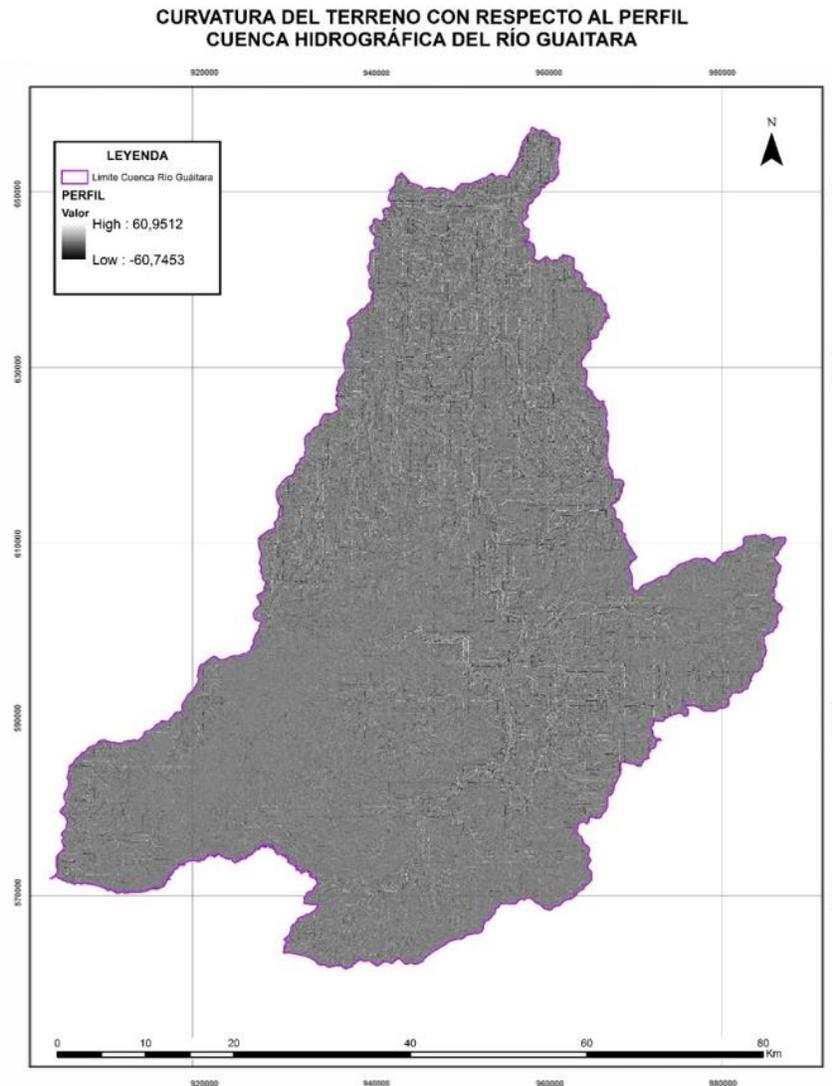
- Formato: Raster.
- Fuente: derivado del DEM.

Tabla 10. 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.

1.8.2.2.2.7 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 11 se presenta la calificación y categorización de curvatura del terreno con respecto al plano horizontal utilizada en el presente estudio.

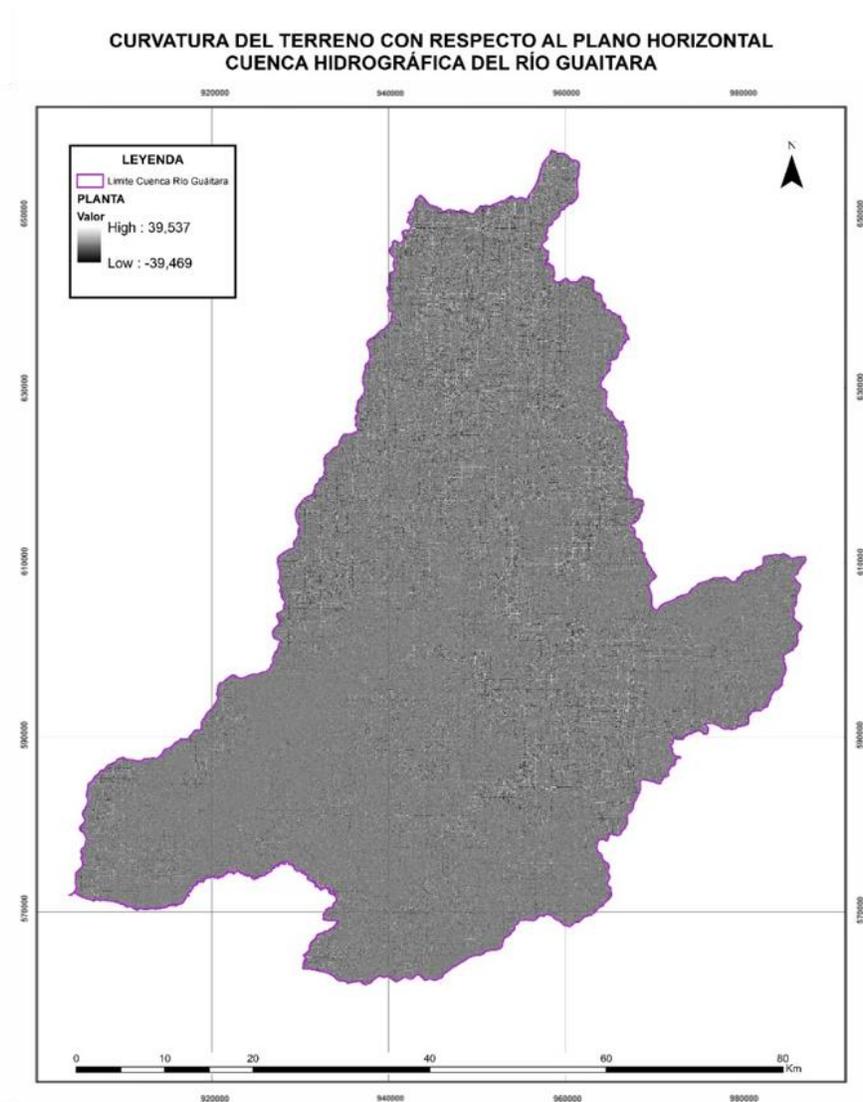
- Formato: Raster.
- Fuente: derivado del DEM.

Tabla 11. 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: Consorcio POMCA 2015- 053.

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



Fuente: Equipo técnico Consorcio POMCA 2015- 053.

1.8.2.2.8 Insolación (INSOL)

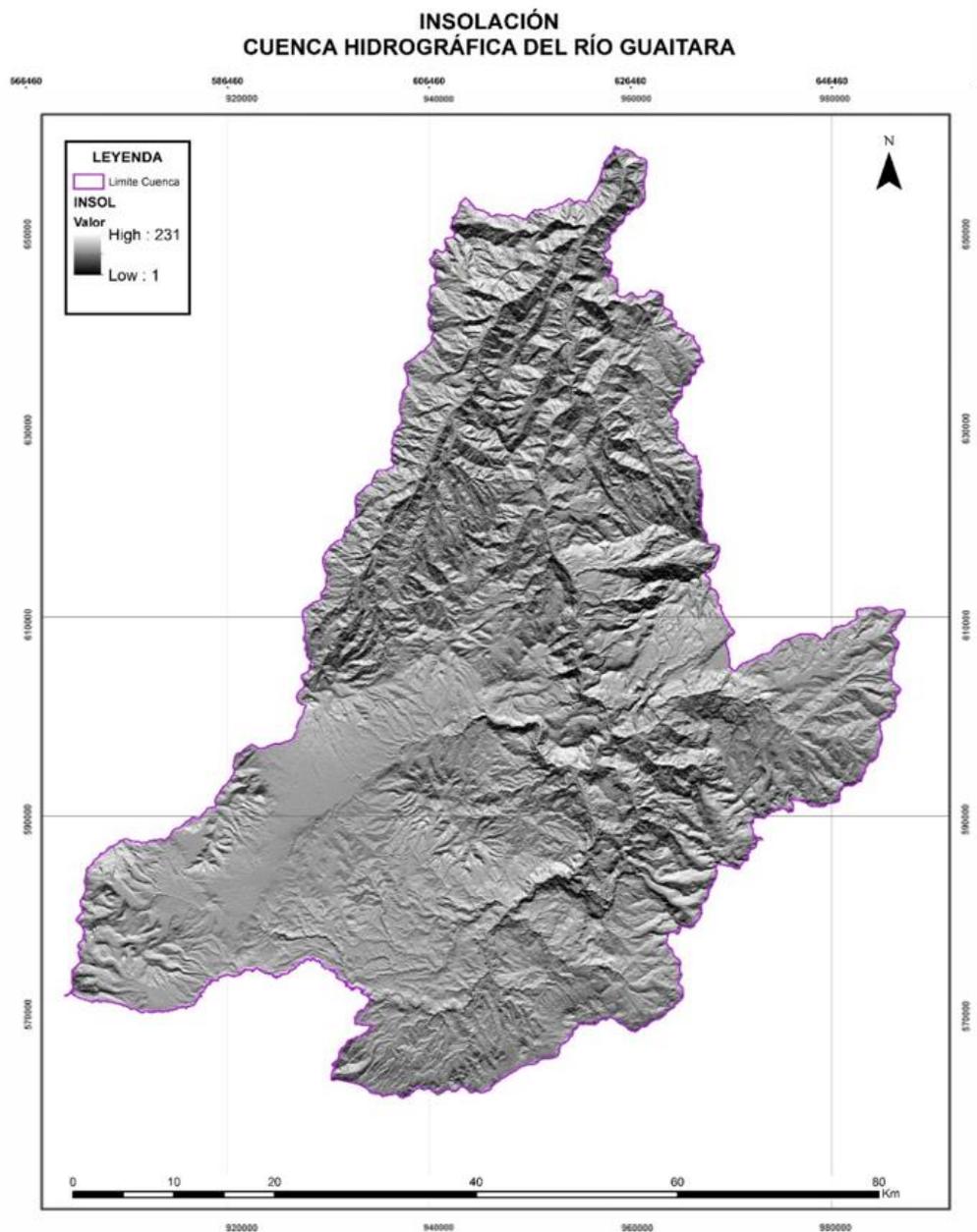
Corresponde al coeficiente de iluminación o intensidad reflejada de la superficie terrestre, indicando el tiempo en que cada punto a evaluar dentro de la cuenca se encuentra en la sombra, lo que tiene incidencia en la humedad del suelo y a cambios bruscos.

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

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

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

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



Fuente: Equipo técnico Consorcio POMCA 2015- 053.

1.8.2.2.2.9 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 12 se presenta la calificación y categorización de la orientación de la ladera utilizada para realizar el análisis de la variable en el presente estudio.

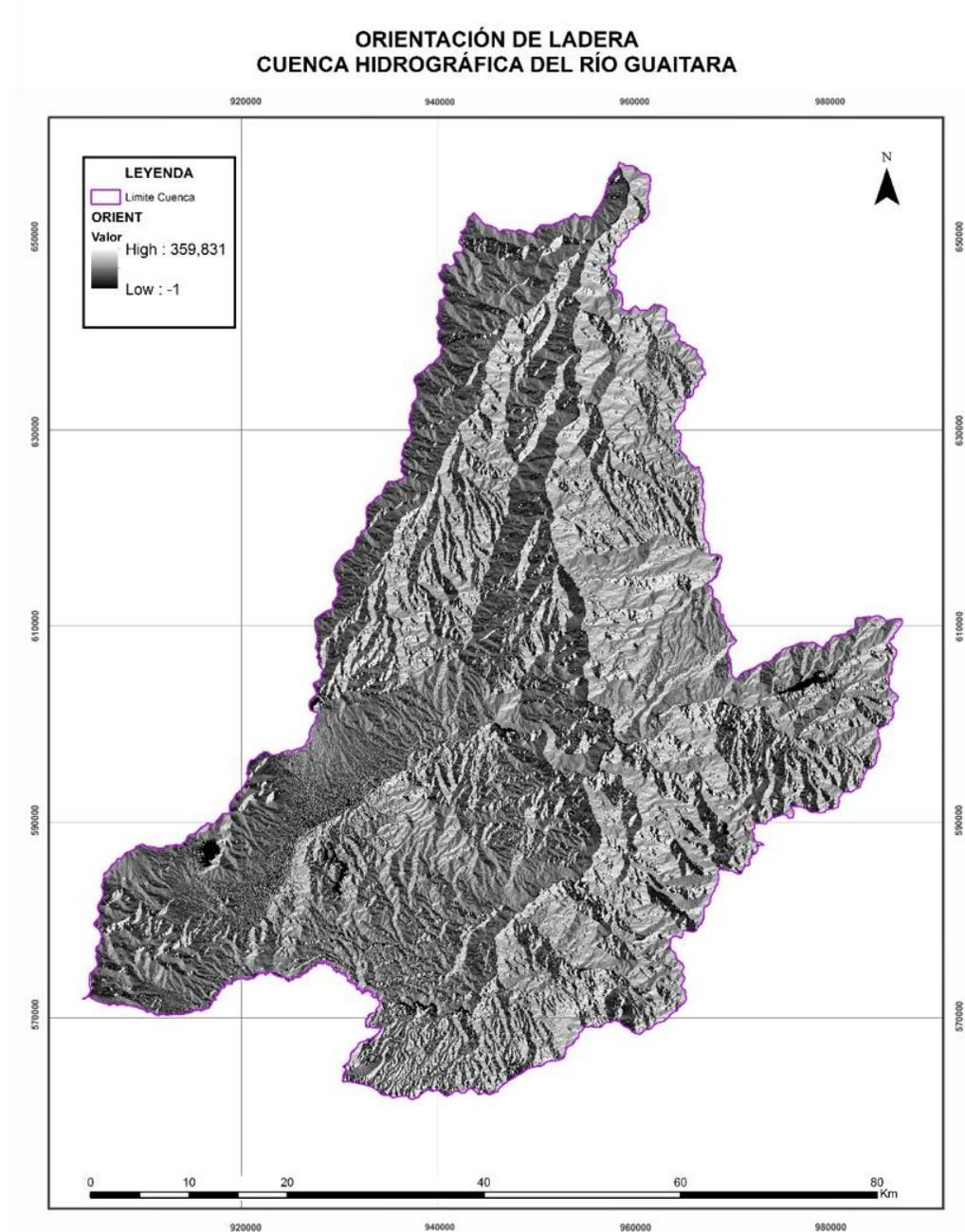
- Formato: Raster.
- Fuente: derivado del DEM.

Tabla 12. 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: Equipo técnico Consorcio POMCA 2015- 053.

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



Fuente: Equipo técnico Consorcio POMCA 2015- 053.

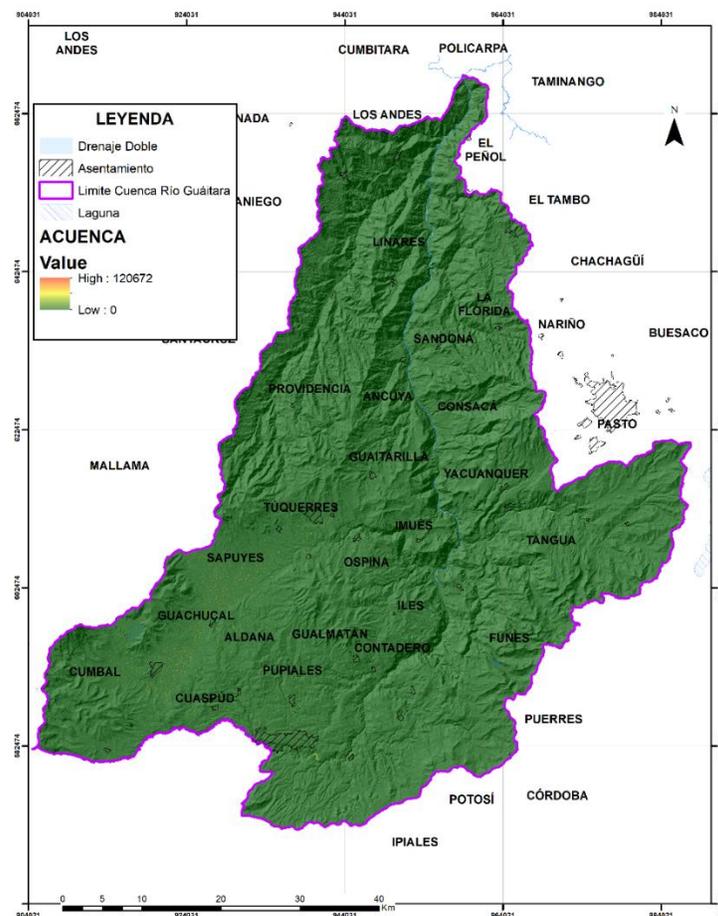
1.8.2.2.10 Acumulación de la cuenca (ACUENCA)

El área de la 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 DEM.

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

Debido a que sus valores varían entre 0 y 1, donde 1 hace referencia a las zonas de mayor acumulación de agua y 0 las zonas de menor acumulación de agua, la calificación para esta variable es equiparable con su valor.

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



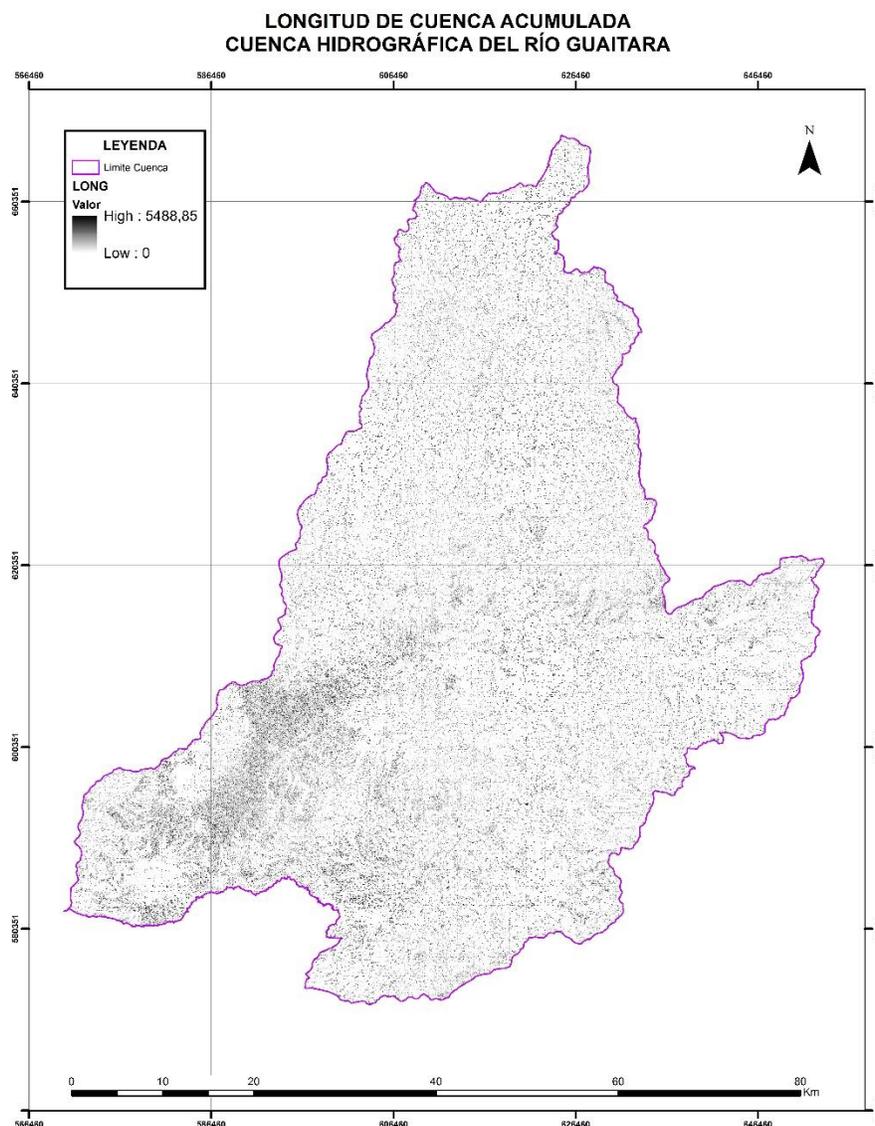
Fuente: Equipo técnico Consorcio POMCA 2015- 053.

1.8.2.2.11 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 DEM.

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

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



Fuente: Equipo técnico 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 Guaitara, 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 de Elevación (DEM, 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, 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 se encuentran asociados al cauce del río Guaitara y sus áreas de influencia, atravesando gran parte de la cuenca, en forma curva, hacia el cuadrante noroccidental de la cuenca. Las localizaciones de eventos de movimientos en masa se encuentran asociadas 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 elevada, 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 a movimientos en masa. Los valores más altos se presentan en el cuadrante nororiental de la cuenca donde se dan tramos encañonados del Río Guaitara, 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 Guaitara 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 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 depositacionales (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 Guáitara, 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 Guáitara, representada por las variables ACUENCA (acumulación de la cuenca) y LONG (longitud de cuenca acumulada), lo cual hace que disminuya la susceptibilidad a movimientos en masa. Los municipios ubicados en el sector nororiental, 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.

1.8.2.2.3 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: Equipo técnico Consorcio POMCA 2015- 053.

1.8.2.2.3.1 Distancia fallas y lineamientos (FALLA)

Corresponde a las discontinuidades estructurales locales y lineamientos regionales de los macizos rocosos que disminuyen la resistencia de este, 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 (Tabla 13).

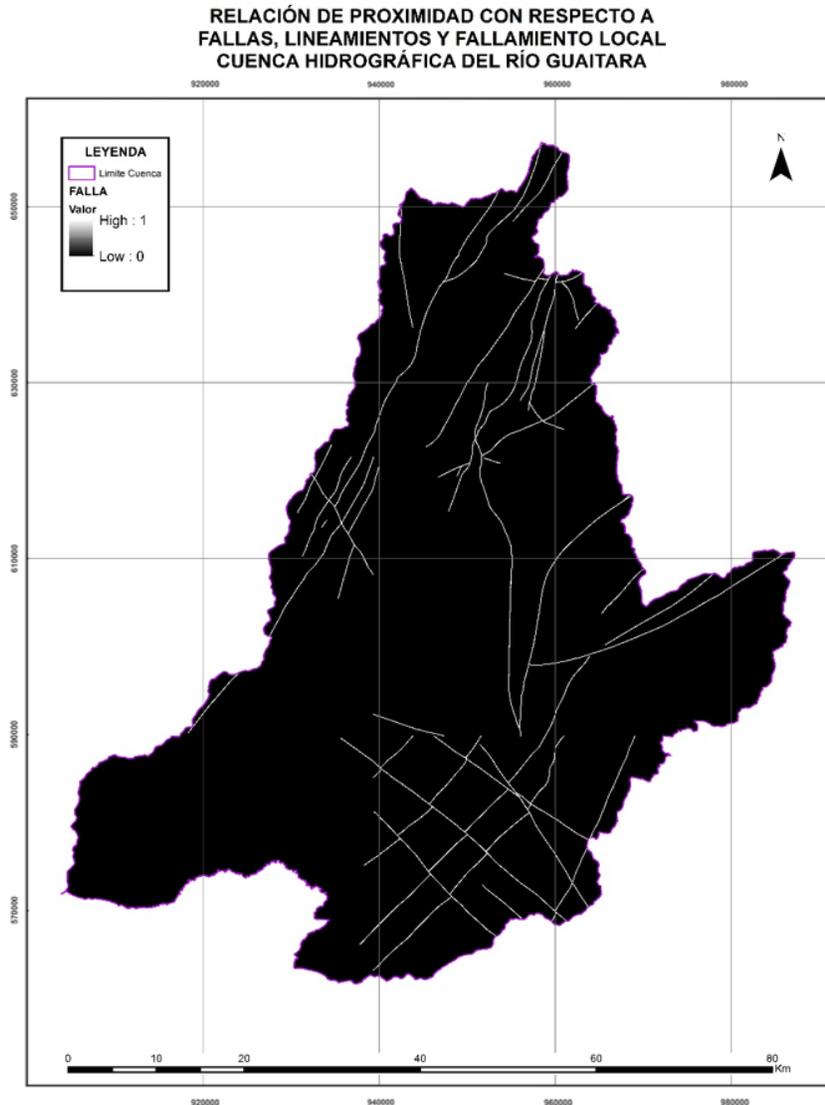
- Formato: Vector tipo línea.
- Fuente: SGC (Mapa geológico y la memoria explicativa de las Planchas 409-Las Cruces, 410-La Unión, 428-Túquerres, 429-Pasto, 447-Ipiales, 448-Monopamba).

Tabla 13. Calificación y categorización de la distancia a fallamiento local

DISTANCIA FALLAMIENTO LOCAL (Grosor del buffer en m)	CATEGORIA	CALIFICACIÓN
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: Equipo técnico Consorcio POMCA 2015- 053.

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



Fuente: Equipo técnico 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 red vial, ferroviaria y zonas de extracción minera 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 del análisis 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 y zonas de extracción minera son las áreas cercanas a los cascos urbanos de los municipios de San Juan de Yacuanquer, Tangua, Santander de Opongoy, Cumbal, Guachucal, Cuaspud, Muellamues, Sapuyes, Tuquerres, Linares y La Llanada, a lo largo de toda la cuenca.

Dentro de sus características físicas, la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara está condicionada por un denso sistema de drenaje el cual inicia su aparición en los altos topográficos ubicados en el sector sur de la Cuenca, y sigue su curso en dirección de la pendiente, hacia la franja central, donde confluyen con los ríos Sapuyes, Guáitara, Bobo y Téllez. 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 de origen volcánico (depósitos piroclásticos aterrazados, flujos laháricos), y sierras de origen estructural y denudativo (sierras residuales, lomeríos disectados, lomos denudados), 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 Guáitara, los sectores más susceptibles a fenómenos de remoción en masa por este motivo se agrupan en dos sectores principales: el sector sur, donde visiblemente se han visto involucrados los municipios de San Juan, Contadero, Gualmatam, Tatambú, Potosí, Córdoba, Puerres, San Mateo e Iles, afectados por el trazo de las fallas locales que se entrecruzan por llevar sentidos NE-SW y NW-SE asociados a dinámicas estructurales diferentes (compresivas y de rumbo respectivamente), y el sector Norte donde la morfología de la zona y la orientación de los cursos fluviales están fuertemente marcados por el rumbo SSW-NNE de las fallas locales que a su vez están relacionadas con los lineamientos y fallas regionales del Sistema Silvia-Pijao y Cauca-Patía.

1.8.2.2.4 Variables Categóricas

1.8.2.2.4.1 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 14 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 14. Calificación de la susceptibilidad del tipo de unidad geológica

NOMENCL	UNIDAD	CALIF
Q2dp	Depósitos piroclásticos	0,7
Q1dg	Depósitos glaciares	0,4
Q1la	Lavas Azufral	0,4
Qsgf	Depósitos glaciares y fluvio-glaciares	0,3
N2Q1i	Depósitos Ignimbríticos	0,3
Q2da	Domos del Azufral	0,4
N2apb	Andesitas de Pajablanca (lavas andesíticas)	0,4
Qal	Depósitos aluviales	0
N2Q1dc	Domos de Colimba	0,6
N2aca	Andesitas del Cumbal Antiguo	0,5
Q1acm3	Andesitas del Cumbal Moderno (más reciente)	0,3
Q1acm2	Andesitas del Cumbal Moderno	0,3
Q1dcr	Depósitos de cenizas de Rumichaca	0,5
Q1acc	Andesitas del Cerro Colorado	0,6
N2amc	Andesitas de Macas	0,6
pCAMct	Complejo Migmatítico de la Cocha - Río Tellez	0,5
Q1ag	Andesitas del Cerro Granizo	0,3
Q1ach1	Andesitas del Chiles (más antiguo)	0,4

NOMENCL	UNIDAD	CALIF
Q1ach3	Andesitas del Chiles (más reciente)	0,5
Q1fech	Flujo de Escombros del Chiles	0,7
Q1ach2	Andesitas del Chiles	0,3
TQvlc	Lavas y cenizas	0,6
TQvlc + Qsgf	Lavas y cenizas + Depósitos glaciares y fluvio-glaciares	0,2
Th	Rocas ígneas hipoabisales	0,6
TQvlp	Lahares y piroclastos	0,7
Ku	Rocas Ultramáficas	0,2
Kv	Conjunto Kv	0,4
TMe	Formación Esmita	0,6
TQvl	Lavas	0,6
TQvsd	Depósitos volcánicos sin diferenciar	0,5
Qvc	Lluvias de ceniza	0,7
Ql	Depósitos lacustres	0,2
Qcal	Depósitos coluviales y aluviales	0,5
TQva	Avalanchas ardientes y de escombros	0,4
TQvi	Ignimbritas Eutaxíticas	0,6
TQsv	Conjunto Sedimentario Volcánico - de la Magdalena	0,4
TQst	Conjunto Sedimentario de Tapialquer	0,7
Kmsv	Grupo Dagua	0,6
TQvf	Flujos de ceniza y pumita	0,5
Tic	Rocas intrusivas	0,2
TEOm	Formación Mosquera	0,3
Tha	Rocas ígneas hipoabisales andesíticas	0,2
Thd	Rocas ígneas hipoabisales dacíticas	0,2
Kvs	Conjunto Kvs	0,6
Q1acm1	Andesitas del Cumbal Moderno (más antiguo)	0,3

NOMENCL	UNIDAD	CALIF
Kvd	Conjunto Kvd	0,6
Qdvs	Depósitos volcanosedimentarios	0,7
Qt	Depósitos de terrazas	0,6
N2agt	Andesitas de Guáitara	0,3
Qft	Depósitos fluvioaluviales	0,7
Qc	Depósitos coluviales	1

Fuente: Equipo técnico Consorcio POMCA 2015- 053.

1.8.2.2.4.2 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

En la Tabla 15 se presenta la Calificación de la susceptibilidad del tipo de subunidad geomorfológica (Leiva, Moya Berbeo, Trejo Gonzalez, & Carvajal, 2012).

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

Tabla 15. Calificación de la susceptibilidad del tipo de subunidad geomorfológica

CODIGO	SUBUNIDAD	CALIFICACIÓN
Faa	Abanico aluvial	0,6
Ga	Aguja glacial (Horn)	0,4
Gag	Artesa glacial	0,3
Fbl	Barra longitudinal	0,2
Vcr	Caldera	0,5
Fca	Cauce aluvial	0
Dcrem	Cerro remanente o relicto	0,4
Sce	Cerros estructurales	0,6
Gc	Circo glacial y de nivación	0,2
Vcoe	Cono de escoria o cono de ceniza	0,6

CODIGO	SUBUNIDAD	CALIFICACIÓN
Dct	Cono de talus	0,8
Dco	Cono o lobulo coluvial y de solifluxion	1
Gcgf	Conos glaciofluviales	0,6
Vc	Cráter volcánico	0,1
Vd	Domo volcánico	0,5
Aemb	Embalse	0,9
Vce	Escarpe de cráter	0,6
Deem	Escarpe de erosión mayor	0,5
Deeme	Escarpe de erosión menor	0,5
Vfle	Escarpe de flujo de lava	0,4
Vflae	Escarpe de flujo lahárico aterrazado	0,4
Vfpe	Escarpe de flujo piroclástico aterrazado	0,6
Ftae	Escarpe de terraza de acumulación	0,4
Gfve	Escarpe del flujo volcánico glaciado	0,7
Sife	Escarpe línea de falla	0,7
Ses	Espolón	0,7
Sesml	Espolón moderado de longitud larga	0,7
Gflv	Flancos de valle Glacial	0,6
Vfl	Flujo de lava	0,4
Vfla	Flujo lahárico aterrazado	0,6
Vfp	Flujo piroclástico aterrazado	0,6
Gfv	Flujo volcánico glaciado	0,6
Dle	Ladera erosiva	0,8
Sssle	Ladera estructural de sierra sinclinal	0,7
Flg	Laguna	0
Glg	Laguna glaciario	0
Dld	Loma denudada	0,7

CODIGO	SUBUNIDAD	CALIFICACIÓN
Dldi	Lomeríos Disectados	0,7
Dlmd	Lomeríos muy disectados	0,8
Dlpd	Lomeríos poco disectados	0,6
Slf	Lomo de Falla	0,7
Dldebl	Lomo denudado bajo de longitud larga	0,4
Dldeml	Lomo denudado moderado de longitud larga	0,5
Sl	Lomos	0,7
Vmp	Manto de piroclastos	0,5
Dmo	Montículo y ondulaciones denudacionales	0,5
Gmf	Morrena de fondo	0,3
Fpac	Planicie Aluvial Confinada	0
Fpla	Planicie y delta lacustrino	0
Fpi	Plano o llanura de inundación	0
Gpgl	Plano Glaciolacustrino	0
Dsd	Sierra denudada	0,7
Ss	Sierra estructural	0,7
Gsg	Sierra Glaciada	0,5
Ssh	Sierra homoclinal	0,7
Dsr	Sierra residual	0,6
Fta	Terraza de acumulación	0,3
Ftan	Terraza de acumulación antigua	0,3
Ve	Volcán o edificio volcánico	0,5

Fuente: Equipo técnico Consorcio POMCA 2015- 053.

1.8.2.2.4.3 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 intervención antrópica puede incidir en la susceptibilidad

a remoción en masa, dada la pérdida de vegetación, suelo, o cortes de taludes para la generación de vías. 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. La Tabla 16 muestra el peso asignado a cada tipo de cobertura de acuerdo a su influencia en la susceptibilidad a procesos de remoción en masa.

- Formato: Vector tipo polígono.
- Fuente: Cobertura CORINE LAND COVER - Consorcio POMCA.

Tabla 16. Calificación de la susceptibilidad del tipo de Cobertura (CORINE LAND COVER) a movimientos en masa

COBERTURA	CALIF
Aeropuertos	0
Afloramientos rocosos	1
Arbustal	9
Bosque abierto	12
Bosque de galería y ripario	15
Bosque denso	15
Bosque fragmentado	12
Construcciones rurales	0
Cultivos agroforestales	12
Herbazal	9
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	1
Mosaico de cultivos	12
Mosaico de cultivos con espacios naturales	12
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	12

COBERTURA	CALIF
Mosaico de pastos con espacios naturales	12
Mosaico de pastos y cultivos	12
Otros cultivos transitorios	12
Pastos arbolados	6
Pastos enmalezados	6
Pastos limpios	6
Plantación forestal	12
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	0
Ríos (50 m)	1
Tejido urbano continuo	0
Tejido urbano discontinuo	0
Tierras desnudas y degradadas	1
Vegetación secundaria o en transición	9
Zonas arenosas naturales	1
Zonas de extracción minera	1
Zonas industriales o comerciales	0

Fuente: Equipo técnico Consorcio POMCA 2015- 053.

La susceptibilidad a 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. Las combinaciones de estos tres 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 del Río Guáitara por unidades geológicas, geomorfológicas, es predominantemente alta, puesto que en su granulometría y en cuanto a los procesos de meteorización relacionados con tipo de roca y génesis de los depósitos que son predominantemente de cenizas, lavas y piroclastos, aumenta la probabilidad de ocurrencia de fenómenos de remoción en masa, sumado a la dinámica fuerte de los ambientes escarpados de sierras estructurales y denudacionales. En cercanías al cauce del Río Guáitara, afloran depósitos aluviales, de

baja susceptibilidad, debido a que, aunque se trata de un material no consolidado, su pendiente es muy baja al tratarse de llanuras de inundación y terrazas aluviales.

Por el contrario, se presenta una baja susceptibilidad en distintos sectores de la Cuenca (zonas cercanas a las poblaciones de Cumbal, Guachucal, Potosí, El Tambo), donde afloran rocas un poco más competentes, con presencia de unidades arenosas, rocas ignimbríticas y rocas metavolcánicas e hipoabisales, junto con algunos depósitos fluvio-glaciares y aluviales de valles confinados (y amplios hacia el sector terminal del Río Guáitara). Estas unidades geológicas se correlacionan directamente con las unidades geomorfológicas representadas con laderas de sierras denudacionales, planicies de inundación y algunos conos glaciofluviales.

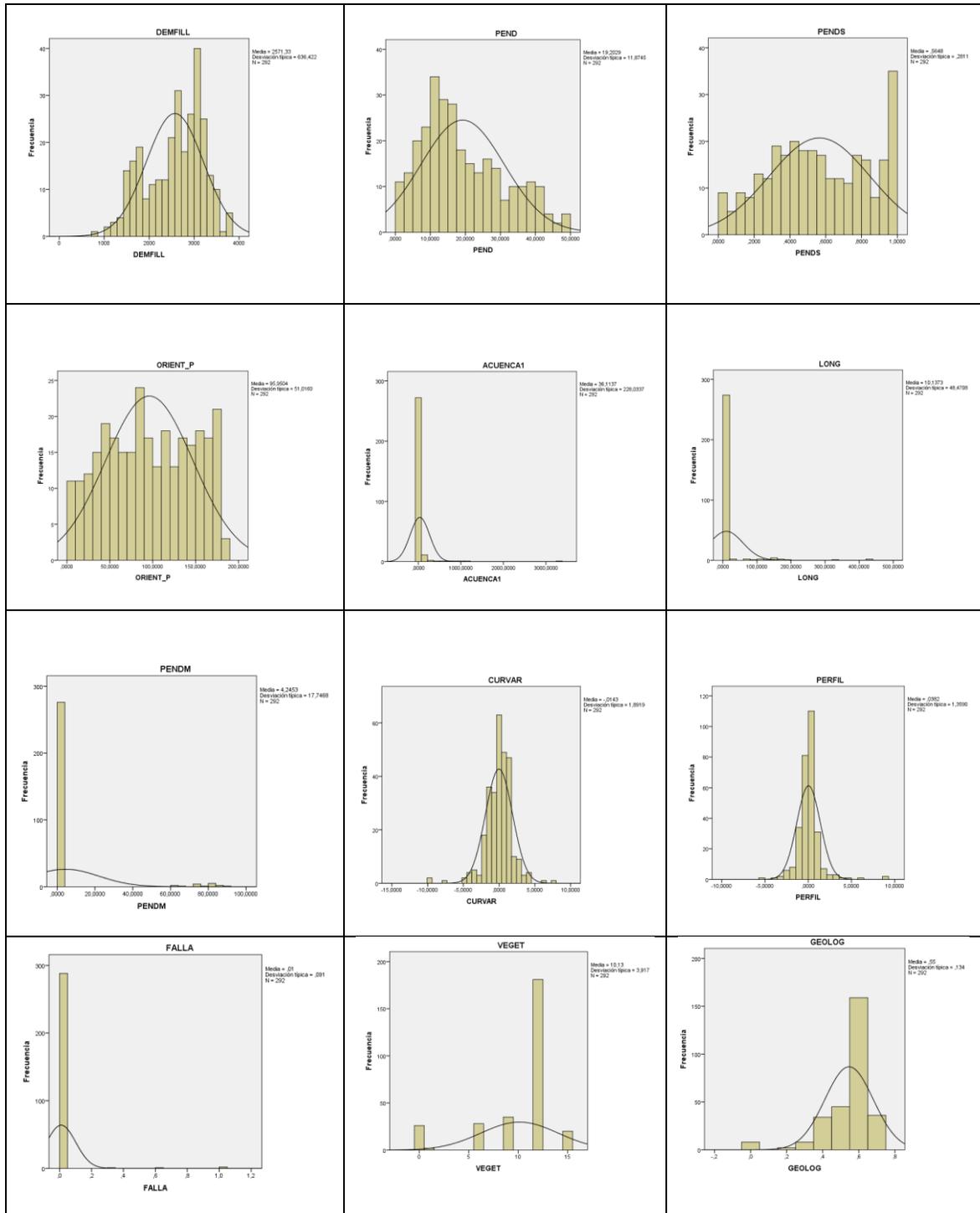
La susceptibilidad de movimientos en masa por el tipo de cobertura para la cuenca del Río Guáitara, muestra una predominancia marcada de valores altos, donde el uso de la tierra comprende los mosaicos de pastos, cultivos y espacios naturales, así como herbazales y bosques densos, que aumentan la fijación del terreno, disminuye los fenómenos erosivos y por ende reduciendo la susceptibilidad de éste. Por el contrario, en las zonas altas de la cuenca hacia la zona central y sur se presentan zonas dispersas con la mayor susceptibilidad para movimientos en masa, al encontrarse el terreno con lagunas naturales, tierras desnudas, pastos limpios y afloramientos rocosos, lo que aumenta la capacidad de infiltración, saturando el suelo y subsuelo de manera más rápida y generando condiciones con mayor potencial de ocurrencia de movimientos en masa.

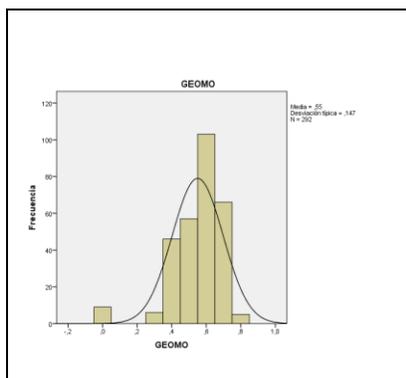
1.8.3 Análisis de la zonificación de la susceptibilidad a movimientos en masa

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 Guáitara, y se identifican los sectores con baja, media y alta susceptibilidad para este tipo de eventos, los cuales se encuentran representados en la Figura 30.

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: Equipo técnico 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 Tabla 17.

Tabla 17. Resultados del test de Kolmogorov – Smirnov.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

	DEMFI	PEND	PENDS	ORIENT_P	ACUENCA1	LONG	LONG1	PENDM	CURVAR	PERFIL	PLA	RUGOS1	INSOL	FALLA	VEGET	GEOLOG	GEMO
N	292	292	292	292	292	292	292	292	292	292	292	292	292	292	292	292	292
Parámetros normales ^{a,b}																	
Media	2571,33	19,202940	,564777	95,950357	36,113699	10,137348	11,237348	4,245332	-,014269	,038166	,023896	,995322	153,33	,010	10,13	,546	,550
Desviación típica	636,422	11,8744510	,2811491	51,0159780	228,0336660	48,4707530	48,4707530	17,7467590	1,8919318	1,3589845	,9491406	,0070391	38,313	,0912	3,917	,1343	,1475
Diferencias más extremas																	
Absoluta	,091	,103	,070	,076	,493	,514	,514	,540	,143	,145	,079	,253	,059	,530	,372	,323	,228
Positiva	,074	,103	,061	,059	,493	,514	,514	,540	,133	,145	,079	,253	,026	,530	,248	,221	,138
Negativa	-,091	-,055	-,070	-,076	-,439	-,417	-,417	-,405	-,143	-,133	-,077	-,247	-,059	-,457	-,372	-,323	-,228
Z de Kolmogorov-Smirnov	1,553	1,752	1,193	1,298	8,416	8,789	8,789	9,223	2,451	2,472	1,342	4,326	1,004	9,051	6,359	5,526	3,891
Sig. asintót. (lateral)	,016	,004	,116	,069	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,055	,000	,266	,000	,000	,000	,000

a. La distribución de contraste es la Normal.

b. Se han calculado a partir de los datos.

Fuente: Equipo técnico 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, a excepción de las variables ACUENCA y LONG.

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 (Tabla 18)**, se puede ver que hay una fuerte correlación entre las variables PEND y PENDS, con un valor superior a 0,9.

Tabla 18. Matriz de correlaciones entre variables.

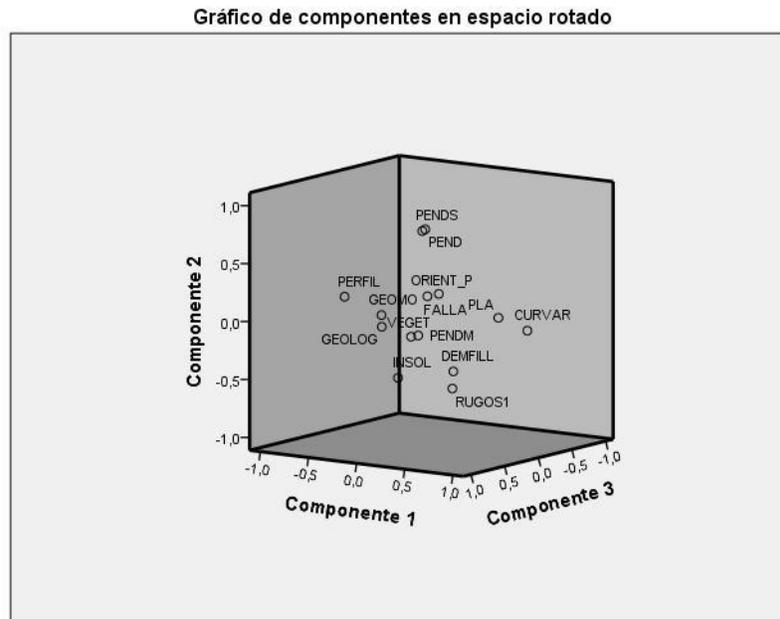
Matriz de correlaciones

	DEMFI	PEND	PENDS	ORIENT_P	PENDM	CURVAR	PERFIL	PLA	RUGOS1	INSOL	FALLA	VEGET	GEOLOG	GEOMO	
Correlación	DEMFI	1,000	-,307	-,293	,025	,045	,006	-,057	-,069	,233	,036	-,052	-,002	-,140	-,125
	PEND	-,307	1,000	,974	,093	-,212	,023	,043	,108	-,271	-,195	,114	,112	,136	,199
	PENDS	-,293	,974	1,000	,087	-,245	,006	,053	,088	-,268	-,196	,105	,135	,165	,218
	ORIENT_P	,025	,093	,087	1,000	-,028	-,075	,093	-,017	-,106	-,003	-,047	-,042	,003	,033
	PENDM	,045	-,212	-,245	-,028	1,000	,006	-,023	-,020	,092	,034	-,026	-,086	,024	-,009
	CURVAR	,006	,023	,006	-,075	,006	1,000	-,880	,733	,172	-,090	,034	-,049	,015	-,011
	PERFIL	-,057	,043	,053	,093	-,023	-,880	1,000	-,322	-,160	,079	-,006	,049	,010	,059
	PLA	-,069	,108	,088	-,017	-,020	,733	-,322	1,000	,114	-,065	,059	-,027	,043	,063
	RUGOS1	,233	-,271	-,268	-,106	,092	,172	-,160	,114	1,000	,175	-,021	-,020	-,016	-,070
	INSOL	,036	-,195	-,196	-,003	,034	-,090	,079	-,065	,175	1,000	-,037	,047	,059	,035
	FALLA	-,052	,114	,105	-,047	-,026	,034	-,006	,059	-,021	-,037	1,000	,023	-,088	,065
	VEGET	-,002	,112	,135	-,042	-,086	-,049	,049	-,027	-,020	,047	,023	1,000	,074	,099
	GEOLOG	-,140	,136	,165	,003	,024	,015	,010	,043	-,016	,059	-,088	,074	1,000	,363
	GEOMO	-,125	,199	,218	,033	-,009	-,011	,059	,063	-,070	,035	,065	,099	,363	1,000

Fuente: Equipo técnico 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 (Figura 29), se puede ver que, al igual que en la matriz, las variables de mayor dependencia son PEND y PENDS, pero adicionalmente se ve que las variables GEOLOG y GEOMO así como las de ORIENT y FALLA muestran una correlación fuerte. Con base en esto, para proceder con el análisis discriminante es evidente que las variables que puede ser discriminada a partir de este punto es PENDS, debido a que es la que mayor dependencia presenta.

Figura 29 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 Guátara.



Fuente: Equipo técnico 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 19 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 19. Contraste entre poblaciones (T-Test).

Estadísticos de grupo

	SAMPLE	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
DEMFILL	1	146	2827,12	627,447	51,928
	2	146	2315,53	536,099	44,368
PEND	1	146	18,200756	12,0840352	1,0000819
	2	146	20,205123	11,6159847	,9613457
ORIENT_P	1	146	90,375461	49,6025501	4,1051363
	2	146	101,525253	51,9635315	4,3005325
PENDM	1	146	4,690205	18,4616265	1,5278951
	2	146	3,800459	17,0539366	1,4113938
CURVAR	1	146	-,118912	1,6761376	,1387181
	2	146	,090373	2,0861470	,1726508
PERFIL	1	146	,040953	1,2324869	,1020013
	2	146	,035378	1,4789778	,1224011
RUGOS1	1	146	,996087	,0072239	,0005979
	2	146	,994558	,0067881	,0005618
INSOL	1	146	152,40	37,009	3,063
	2	146	154,25	39,681	3,284
FALLA	1	146	,013	,0991	,0082
	2	146	,007	,0828	,0068
VEGET	1	146	10,92	2,960	,245
	2	146	9,33	4,555	,377
GEOLOG	1	146	,526	,1467	,0121
	2	146	,566	,1176	,0097
GEOMO	1	146	,538	,1572	,0130
	2	146	,562	,1365	,0113
PLA	1	146	-,077958	,9072871	,0750876
	2	146	,125751	,9817773	,0812525

Fuente: Equipo técnico Consorcio POMCA 2015- 053.

La Tabla 20 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 las significancias se encuentran por encima de 0,6.

Tabla 20. Anova

ANOVA de un factor

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
DEMFI	Inter-grupos	19106315,92	1	19106315,92	56,105	,000
	Intra-grupos	98758254,17	290	340545,704		
	Total	117864570,1	291			
PEND	Inter-grupos	293,277	1	293,277	2,088	,150
	Intra-grupos	40738,476	290	140,478		
	Total	41031,753	291			
ORIENT_P	Inter-grupos	9075,204	1	9075,204	3,517	,062
	Intra-grupos	748290,130	290	2580,311		
	Total	757365,335	291			
PENDM	Inter-grupos	57,790	1	57,790	,183	,669
	Intra-grupos	91591,919	290	315,834		
	Total	91649,710	291			
CURVAR	Inter-grupos	3,197	1	3,197	,893	,345
	Intra-grupos	1038,410	290	3,581		
	Total	1041,607	291			
PERFIL	Inter-grupos	,002	1	,002	,001	,972
	Intra-grupos	537,428	290	1,853		
	Total	537,430	291			
PLA	Inter-grupos	3,029	1	3,029	3,390	,067
	Intra-grupos	259,123	290	,894		
	Total	262,153	291			
INSOL	Inter-grupos	247,812	1	247,812	,168	,682
	Intra-grupos	426914,281	290	1472,118		
	Total	427162,092	291			
FALLA	Inter-grupos	,003	1	,003	,333	,565
	Intra-grupos	2,418	290	,008		
	Total	2,421	291			
VEGET	Inter-grupos	185,921	1	185,921	12,602	,000
	Intra-grupos	4278,390	290	14,753		
	Total	4464,312	291			
GEOLOG	Inter-grupos	,119	1	,119	6,744	,010
	Intra-grupos	5,127	290	,018		
	Total	5,246	291			
GEOMO	Inter-grupos	,042	1	,042	1,935	,165
	Intra-grupos	6,288	290	,022		
	Total	6,330	291			

Fuente: Equipo técnico Consorcio POMCA 2015- 053.

Por todo lo anterior, se han seleccionado como variables de mejor discriminación las siguientes: DEMFILL, VEGET y PENDM.

Al correr la función discriminante que permite la asignación de pesos para las variables que se conservaron después de la depuración estadística realizada (Tabla 21), se realizó un algebra de mapas con la siguiente función:

$$SUSC_MM = -0.001*DEM+0.120*VEGET+geologia*(-1.8)+PLA(-0.193)+(-0.005)*Orientacion+PEND*(0.010)+GEOM*(-0.271)+falla*(0.921)-3.569$$

Tabla 21. Coeficientes de funciones canónicas discriminantes.

Coeficientes de las funciones canónicas discriminantes

	Función
	1
DEMFILL	,001
VEGET	,120
GEOLOG	-1,800
PLA	-,193
ORIENT_P	-,005
PEND	,010
GEOMO	-,271
FALLA	,921
(Constante)	-3,569

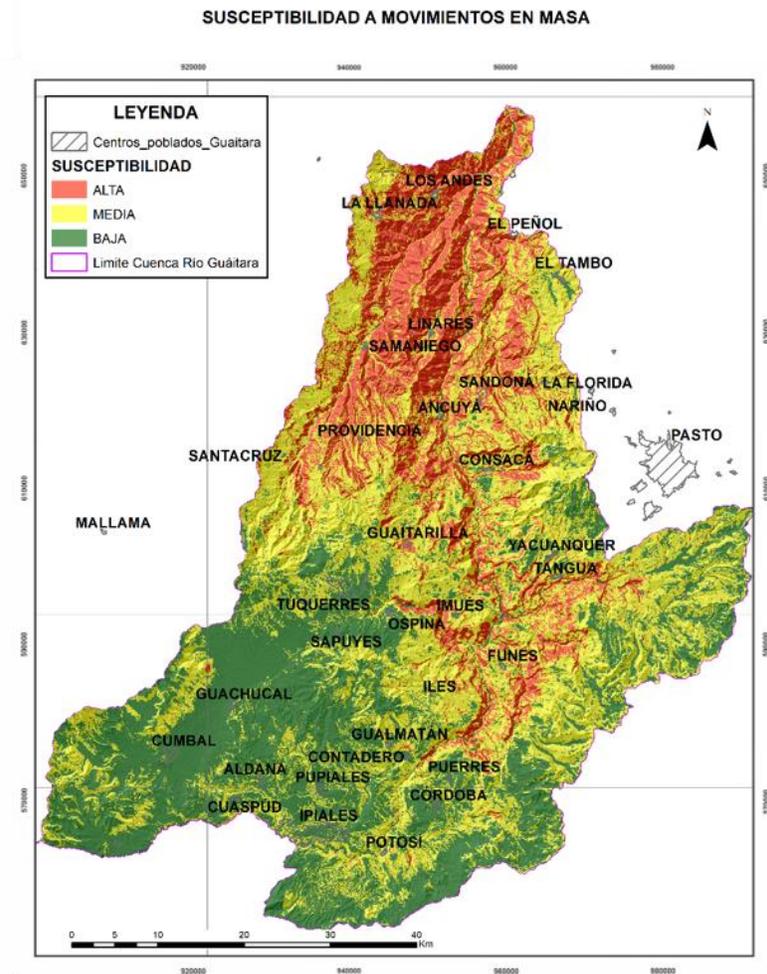
Coeficientes no tipificados

Fuente: Equipo técnico Consorcio POMCA 2015- 053.

Lo anterior indica que la variable VEGET se encuentra mayormente correlacionada con la ocurrencia de movimientos en masa, seguido por PENDM y DEMFILL respectivamente. Al realizar la verificación por puntos para determinar la fiabilidad de los resultados, ésta muestra que el 83,4% 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 Guátara, y se identifican los sectores con baja, media y alta susceptibilidad para este tipo de eventos, los cuales se encuentran representados en la Figura 30.

Figura 30 Mapa de Susceptibilidad a Movimientos en Masa para la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara



Fuente: Equipo técnico Consorcio POMCA 2015- 053.

La susceptibilidad a movimientos en masa indica qué variables propician un escenario favorable para la ocurrencia de movimientos en masa. El mapa provisto en la Figura 30 muestra que para la cuenca se obtuvieron valores bajos, medios y altos, siendo aquella de calificación media, la de valores más representativos (color amarillo en la Figura 30), abarcando la mayor proporción del área de la cuenca.

El área de alta susceptibilidad (color verde en la Figura 30), abarca un área equivalente al 19,88 % del total de la cuenca, representa el área de influencia del Río Guáitara a lo largo del eje N-S de la cuenca desde la parte central hasta la parte terminal del río (en el sector norte de la cuenca), así como el área comprendida por las veredas Los Andes, El Peñol, Linares, Samaniego y Providencia principalmente. Para estos sectores, que representan unidades geomorfológicas de tipo estructural, denudacional, y de depósitos aluviales, en dónde existe una alta susceptibilidad de presentarse fenómenos de remoción en masa al tratarse de zonas con pendiente altas, en donde existe una mayor

probabilidad de presentarse procesos erosivos. Así mismo, en estos sectores es común encontrar litologías poco competentes, con rasgos que señalan mayor acción de los factores climáticos aumentando la profundidad y la magnitud de la alteración meteórica, y cercanía a fallas las cuales afectan la resistencia del material.

Los sectores menos susceptibles (color verde en la Figura 30), representan el 34,34% del área total de la cuenca, se encuentran predominantemente en la zona sur y en las margenes oriental y occidental de la zona central, en donde se presentan zonas planas y de pendientes menores a 5°, y relieve generalmente homogéneo.

La actividad antrópica normalmente juega también un rol importante en la susceptibilidad a 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 el talud, por corte y denudación vegetal, sin embargo, en este caso no hay ocurrencia significativa que implique modificación del terreno en magnitudes considerables. Así mismo, se evidencia la importancia de la cobertura vegetal en la disminución de susceptibilidad, ya que en áreas de topografía elevada y de altas pendientes, la susceptibilidad disminuye para clasificarse en baja y media, en áreas donde se encontraba cubierto con herbazales densos y bosques densos, a pesar de presentar condiciones desfavorables por las otras variables.

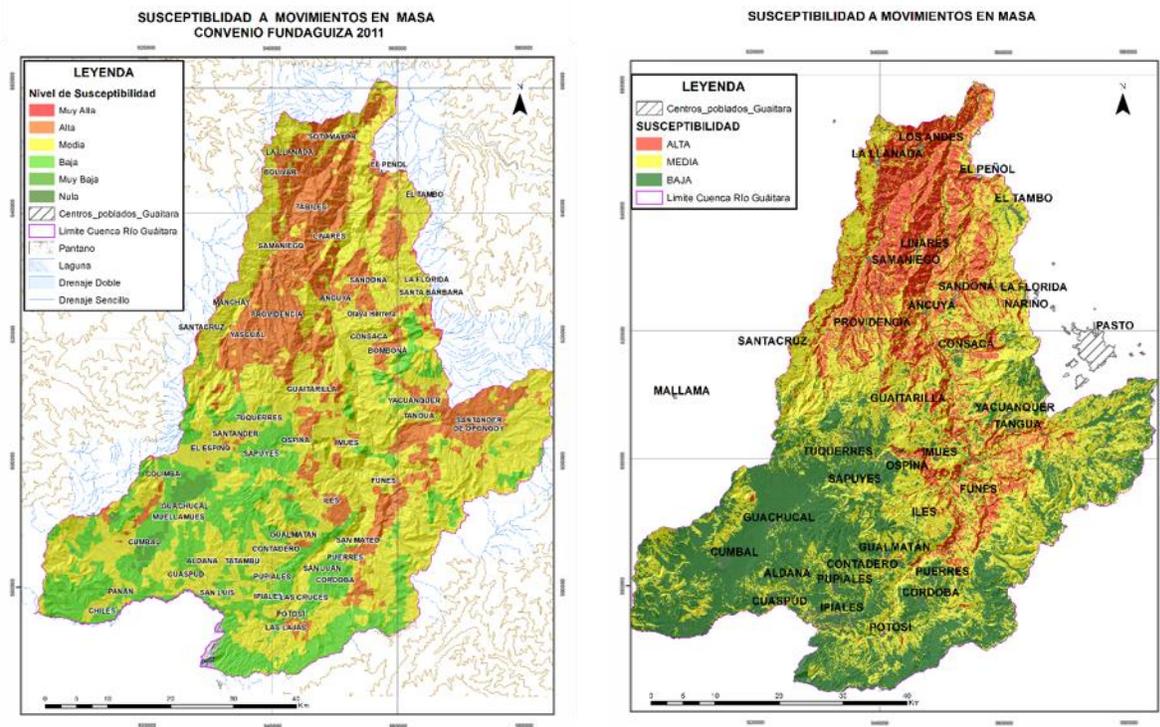
1.8.4 Análisis de la zonificación existente en el departamento de Nariño.

La ola invernal ocasionada por el fenómeno de la niña en 2010 y 2011, provoco serias afectaciones en diferentes municipios de Nariño; razón por la cual se suscribió un convenio de cooperación científica entre CORPONARIÑO y Fundagúiza con el objeto de *"Realizar la zonificación y análisis de inundaciones y susceptibilidad a procesos de remoción en masa en zonas priorizadas del departamento de Nariño y realizar el acompañamiento técnico para la restauración de áreas y corrientes afectadas por la ola invernal 2010-2011"*.

Producto de dicho convenio, se realizó una zonificación de susceptibilidad a movimientos en masa la cual se ha convertido en un valioso insumo para la toma de decisiones de Corponariño y las diferentes entidades del orden local, regional o nacional establezcan, especialmente, para fortalecer conjuntamente sus sistemas de gestión del riesgo (Fundagúiza 2011).

La Figura 31 muestra los resultados de la zonificación de Susceptibilidad a movimientos en masa obtenida por el convenio Fundagúiza comparada con la zonificación obtenida por el presente POMCA.

Figura 31 Comparación de zonificación de susceptibilidad a movimientos en masa



Existen diferencias y similitudes entre los dos productos que, pueden obedecer a diferentes argumentos. Inicialmente, la zonificación obtenida por Fundaguiza, se basa en el documento 'Zonificación de Susceptibilidad y amenaza por Movimientos en Masa escala 1:100.000' (INGEOMINAS, 2011), y la zonificación de susceptibilidad realizada por el POMCA se encuentra a escala 1:25.000. La metodología para obtener susceptibilidad por Fundaguiza corresponde a la suma de los porcentajes ponderados de variables como Geología, Geomorfología Suelos y Coberturas, mientras que el POMCA emplea un análisis multivariante discriminante. Adicionalmente, los resultados del estudio realizado en el 2011 son entregados en 5 rangos desde Muy alta hasta Muy baja, y los rangos del POMCA sólo van de alta a baja.

Por otro lado, la zonificación realizada en el presente Pomca, es el resultado del análisis discriminante que permitió establecer las variables que mejor representaban el comportamiento real de la cuenca; puntualmente, la pendiente, cobertura y altura; para la cuenca hidrográfica del río Guaitara.

Al observar los dos productos, se puede apreciar que la zonificación de Fundaguiza presenta valores altos para la parte norte de la cuenca y valores bajos en el sector sur. La anterior zonificación contrasta con los resultados obtenidos en el presente estudio, donde los valores más altos se presentan en el Bloque sur, mientras que los valores de susceptibilidad baja se agrupan al norte del área de estudio. Dichos cambios pueden ser argumentados mediante los insumos utilizados, ya que, en el presente estudio, los insumos morfométricos tienen mayor relevancia. Finalmente, la comparación de los productos permite validar la susceptibilidad efectiva en algunas zonas. Sin embargo, para la toma de

decisiones, se recomienda tener en cuenta, la zonificación de amenaza por movimientos en masa, donde se tiene en cuenta los detonantes sismo y lluvia para la cuenca hidrográfica del río Guáitara.

1.8.5 Descripción metodológica para obtener amenaza por movimientos en masa

Dentro de la evaluación de la amenaza por Movimientos en Masa se tuvo en cuenta el procedimiento establecido por Cardona y Alzate para la evaluación de los diversos escenarios de amenaza por Movimientos en Masa descritos como “ 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).

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 un plano de falla horizontal a la pendiente del talud; se da cuando se excede el Factor de Seguridad (Fs) 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:

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

Donde:

c' = intercepción 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 tiempo de retorno de las precipitaciones calculados para a 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50, 100 y 500 años, generando así 60 modelamientos de la tabla de agua que deben resultar en formato raster.

$$H_w = P - \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0,8S}$$

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:

$$\frac{(C/\cos(a) + (\gamma \cos(a) - k \gamma \sin(a)) - hw \cos(a) \cos(a)) \tan(\phi)}{(\gamma \sin(a) + k \gamma \cos(a))}$$

Donde,

- C es la cohesión del material
- a 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.

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.

Tabla 22. 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
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).

1.8.6 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.

1.8.6.1 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 con la metodología Corinne Land Cover, adaptada para Colombia por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM I. d., (2010).), descrita 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 23).

Tabla 23. 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	77	85	90	92
1/8 de acre 65	61	75	83	87
1/4 de acre 38	57	72	81	86
1/3 de acre 30	54	70	80	85
1/2 de acre 25	51	68	79	84
1 de acre 20				
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

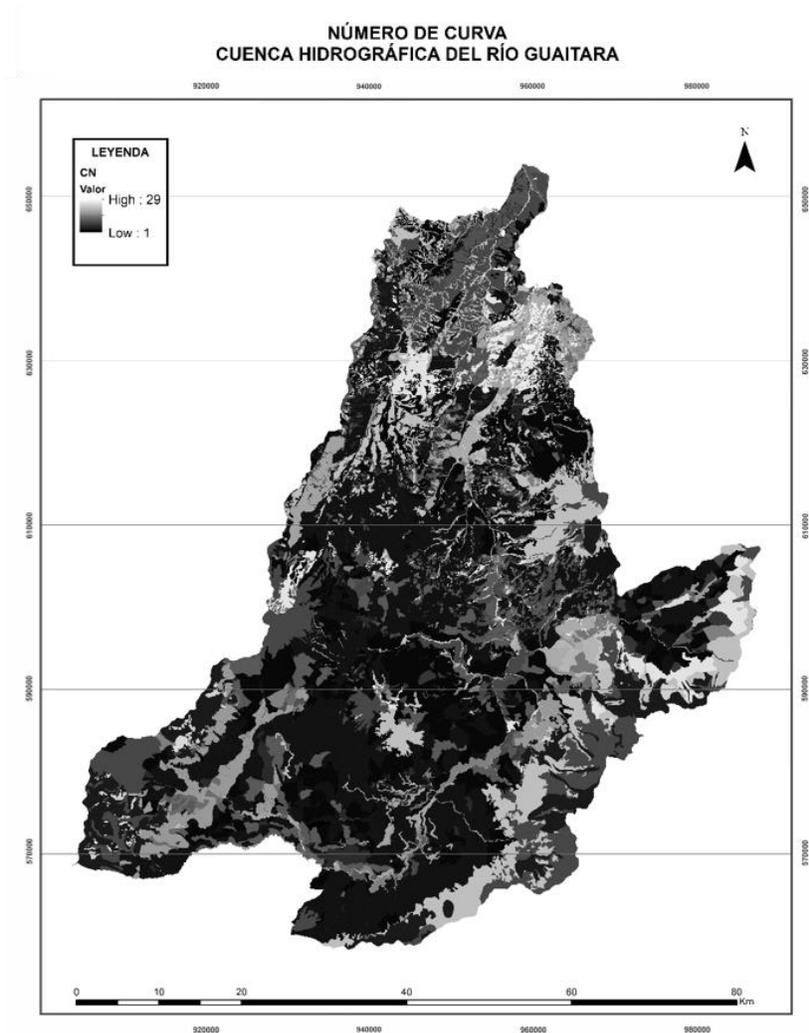
Fuente: Chow et al., 1994.

Fuente: UGS y Cobertura CORINE LAND COVER - Consorcio POMCA.

Formato: Vector

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 32 se presenta el mapa de número de curva.

Figura 32 Número de curva para la Cuenca Hidrográfica del Río Guaitara.



Fuente: Equipo técnico Consorcio POMCA 2015- 053.

1.8.6.2 PRECIPITACIÓN

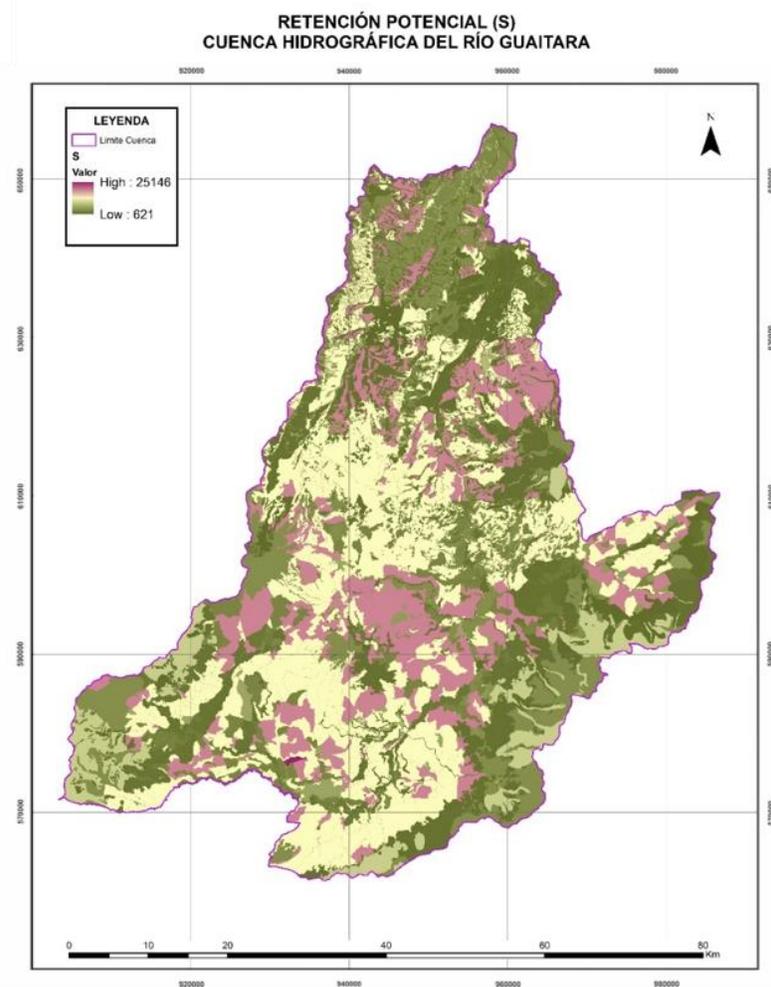
Hace referencia a la precipitación proyectada para determinado tiempo de retorno, mediante la medición de la cantidad de lluvia en milímetros reportadas por las diferentes estaciones ubicadas por el IDEAM a lo largo de la Cuenca.

- Fuente: Mediciones estaciones climáticas multiparamétricas - Consorcio POMCA.
- Formato: Raster

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 Hidrología.

Para la cuenca del Río Guátara se observan los mayores valores de retención potencial (S), hacia los sectores central y sur (color púrpura en la Figura 33), y algunas zonas al oriente y norte de la cuenca, correlacionables con los valores de infiltración en zona de páramos y en otras áreas que obedecen mayormente a los parámetros litológicos y de cobertura de las rocas y depósitos porosos, suelos bien drenados y 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 33 Retención potencial para la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara



Fuente: Equipo técnico Consorcio POMCA 2015- 053.

1.8.6.3 AMPLIFICACIÓN SÍSMICA

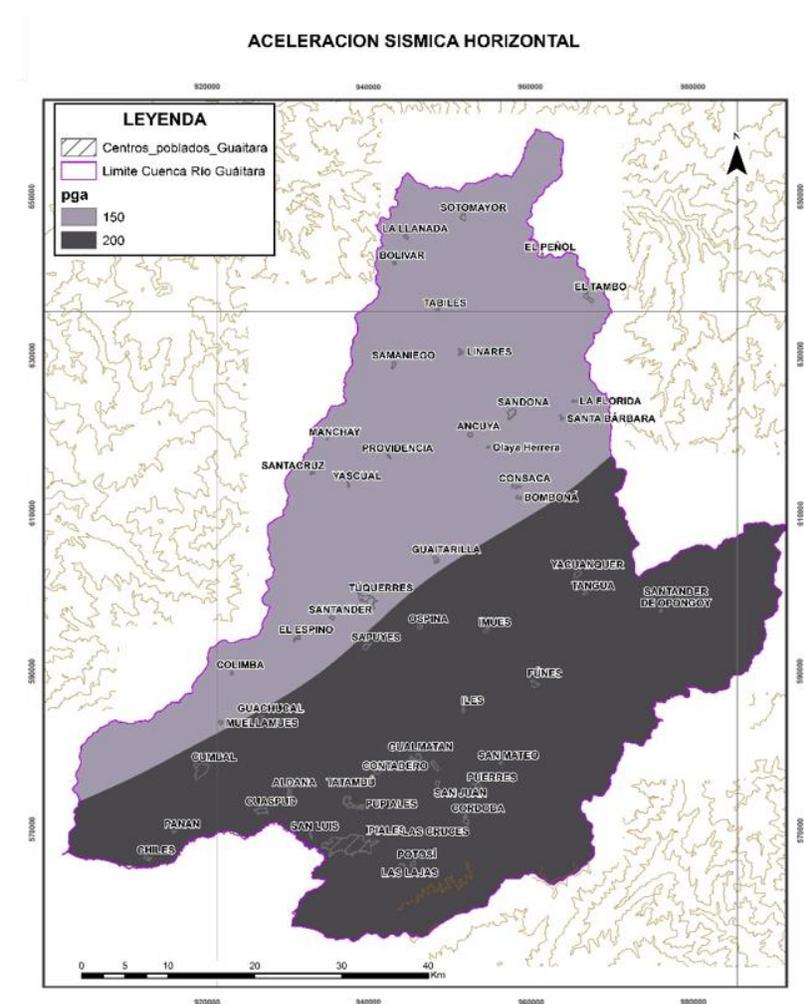
Los coeficientes de aceleración sísmica, corresponden a la determinación de la intensidad de un evento sísmico, en función de las características del terreno. La aceleración máxima del suelo medida en (PGA)

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 el document metodológicos del Servicio Geológico (Leiva, Moya Berbeo, Trejo Gonzalez, & Carvajal, 2012).

- Fuente: SGC
- Formato: Vector

Figura 34 Coeficiente de Aceleración Sísmica



Fuente: Equipo técnico Consorcio POMCA 2015- 053.

En donde los mayores coeficientes se encuentran al sur de la Cuenca

1.8.6.4 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, se muestran los valores utilizados, cuya descripción y análisis de encuentra en el apartado de UGS cuantitativas.

Tabla 24. Parametros utilizados

NOMENCLAT	< de Friccion (°)	Cohesion (Mpa)	P. Unitario kN_m3
Rbmc	54,00	0,177	27
Rbcat	36,05	0,098	24
Rbiu	50,16	0,176	25
Rbiu	50,16	0,176	25
Rbiu	50,16	0,176	25
Rbiu	50,16	0,176	25
Rbiu	50,16	0,176	25

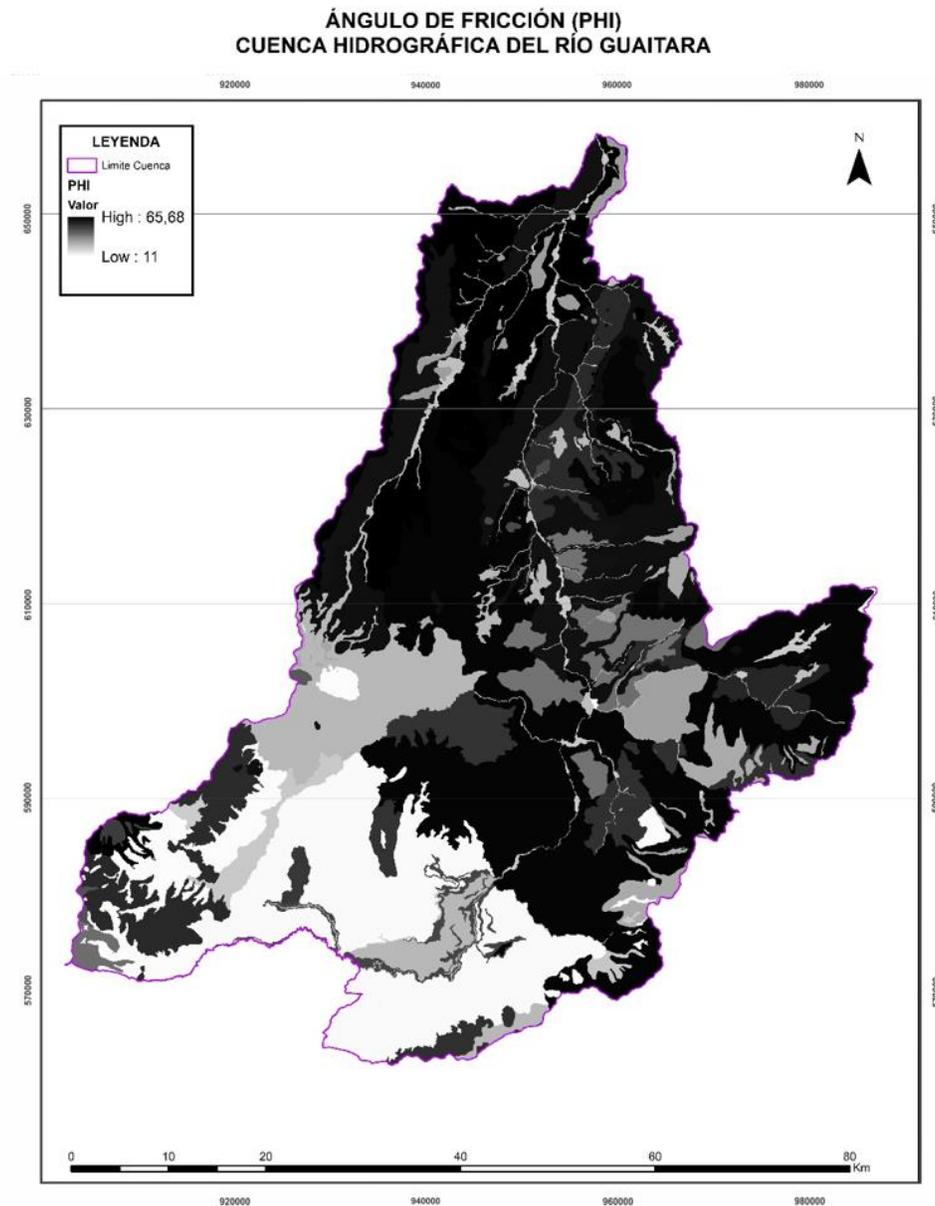
NOMENCLAT	< de Friccion (°)	Cohesion (Mpa)	P. Unitario kN_m3
Rbsacm	45,15	0,042	24
Rbsale	55,26	0,127	23
Rbvacan	54,82	0,159	26
Rbvac	44,40	0,200	25
Rbvaca	44,40	0,200	25
Rbvacc	55,36	0,120	26
Rbvacg	48,60	0,202	25
Rbvacr	44,40	0,200	25
Rbvacu	52,06	0,100	26
Rbvacua	63,30	0,120	32
Rbvacur	63,30	0,120	32
Rbvag	50,62	0,369	26
Rbvam	52,84	0,155	26
Rbvap	53,84	0,119	26
Rbvda	47,58	0,190	25
Rbvs	43,53	0,103	25
Rbvsaarm	44,38	0,106	24
Rbvslp	55,08	0,130	26
Rbvstca	59,10	0,140	27
Riihd	62,20	0,220	28
Rii	62,20	0,220	28
Riiha	62,20	0,220	28
Rimmd	65,68	0,663	28
Rivc	59,63	0,730	27
Rivgdd	59,48	0,435	27
Rivgds	59,23	0,335	26
Rivgdv	59,43	0,200	25

NOMENCLAT	< de Friccion (°)	Cohesion (Mpa)	P. Unitario kN_m3
Rivi	59,46	0,139	25
Rivie	55,63	0,428	25
Rivl	59,63	0,738	26
Rivlc	61,00	0,488	27
Stal	29,50	0,080	28
Stco	31,00	0,050	28
Stco	31,00	0,050	28
Stfg	34,50	0,050	22
Stfl	29,00	0,050	24
Stff	29,50	0,080	28
Stfto	26,80	0,050	22
Stvcr	21,60	0,100	26
Stvfc	11,00	0,190	24
Stvfp	32,00	0,040	24
Stvg	21,00	0,110	28
Stvg	21,00	0,110	28
Stvi	36,50	0,050	28
Stvla	35,00	0,050	22
Stvs	30,00	0,080	20
Rbih	50,00	0,220	22

Fuente: Consorcio POMCA 2015 053

Para la Cuenca del Río Guátara se puede ver que los mayores valores de ángulo de fricción se encuentran distribuidos entre la zona central y norte (Figura 35), a excepción de algunas franjas en la parte sur y suroeste de la cuenca, concordante con el comportamiento geomecánico esperado para las unidades litológicas encontradas donde las más compactas necesitan de mayores ángulos de fricción para superar el umbral de rotura.

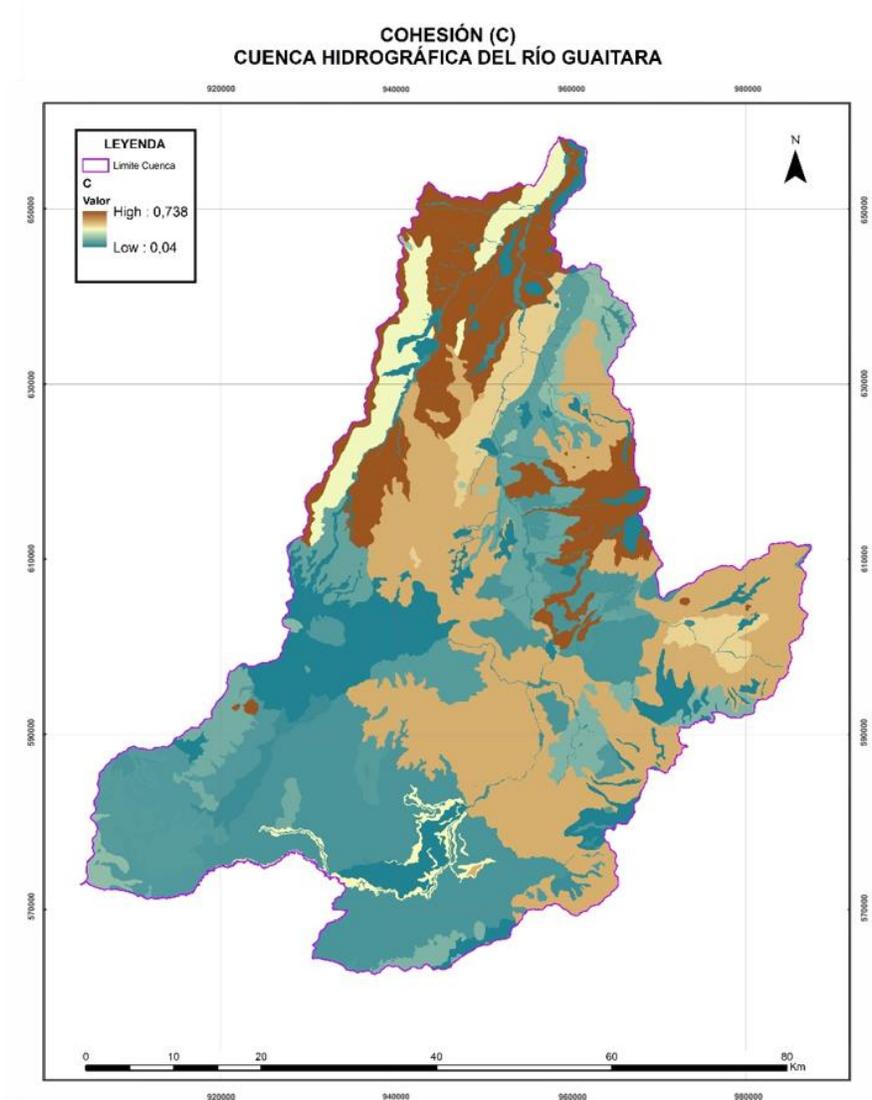
Figura 35 Parámetro PHI para la Cuenca Hidrográfica del Río Guaitara.



Fuente: Equipo técnico Consorcio POMCA 2015- 053.

En cuanto al parámetro de cohesión (C), se puede ver que las unidades que presentan mayores valores se encuentran localizadas en la zona norte y en la zona oriental de la cuenca respectivamente. Esto concuerda con los valores obtenidos para el parámetro PHI, donde se tiene un comportamiento directamente proporcional a la cohesión de las unidades.

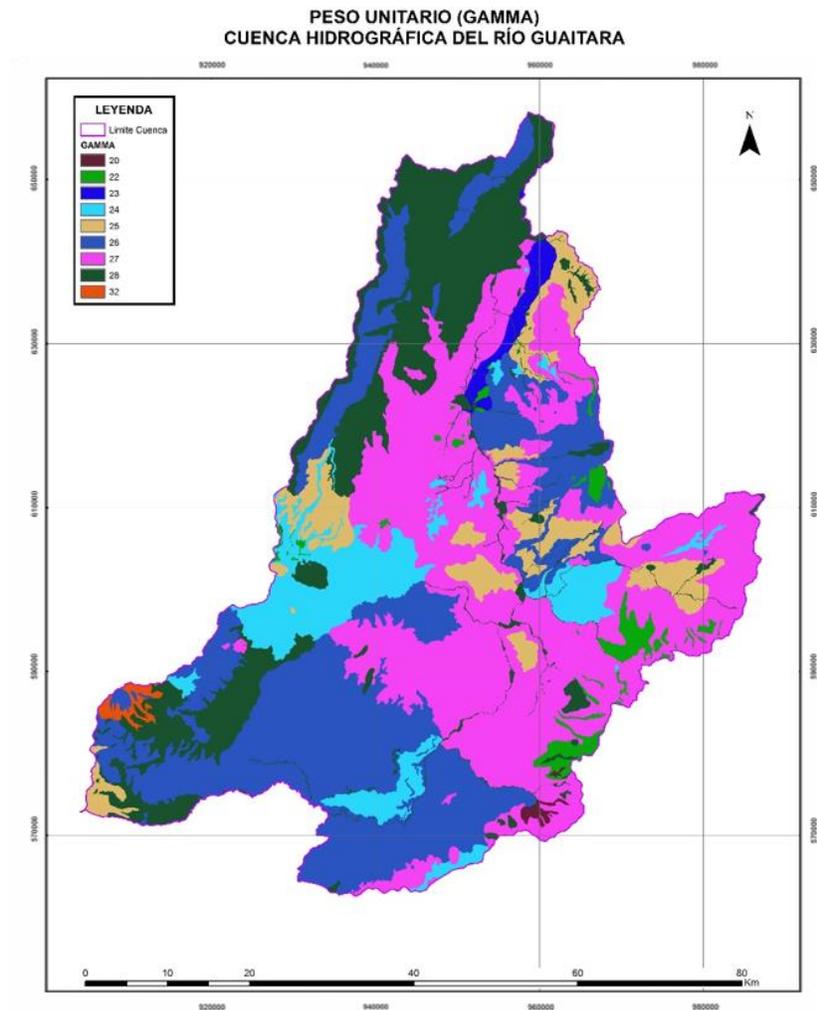
Figura 36 Parámetro C para la Cuenca Hidrográfica del Río Guaitara.



Fuente: Equipo técnico Consorcio POMCA 2015- 053.

Para el parámetro de peso unitario (Γ), se puede ver una zona en el extremo del cuadrante suroccidental donde las unidades presentan los mayores valores (Figura 37), seguido de varias franjas de color fucsia y verde oscuro que abarcan gran parte de las áreas norte y oriental de la cuenca, y donde los valores oscilan entre los 27 y los 30 Kn/m^3 .

Figura 37 Parámetro GAMMA para la Cuenca Hidrográfica del Río Guaitara.



Fuente: Equipo técnico Consorcio POMCA 2015- 053.

1.8.7 Análisis de la zonificación de la amenaza por 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.

Tabla 25. Grados de estabilidad según los resultados del factor de seguridad

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

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:

$$pf = 1 - \Phi(\beta) \qquad \beta = ((\mu_{FS} - 1.0)) / \sigma_{FS}$$

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:

Tabla 26. 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	2,178628	1,305913	40,657964
20 años con sismo	2,178692	1,305930	40,656065
50 años con sismo	2,178718	1,305937	40,655287
100 años con sismo	2,178740	1,305942	40,654648

Escenario	Media	DesvEstand	Ajuste a la curva normal
seco con sismo	5,806471	7,536732	8,638547
suelo completamente saturado	5,806519	7,536876	8,638414
seco sin sismo	5,806519	7,536876	8,638414
100 años sin sismo	5,743694	7,709342	8,564605
2 años sin sismo	5,743694	7,709342	8,564605
20 años sin sismo	5,743694	7,709342	8,564605
sin sismo 50 años	5,743694	7,709342	8,564605

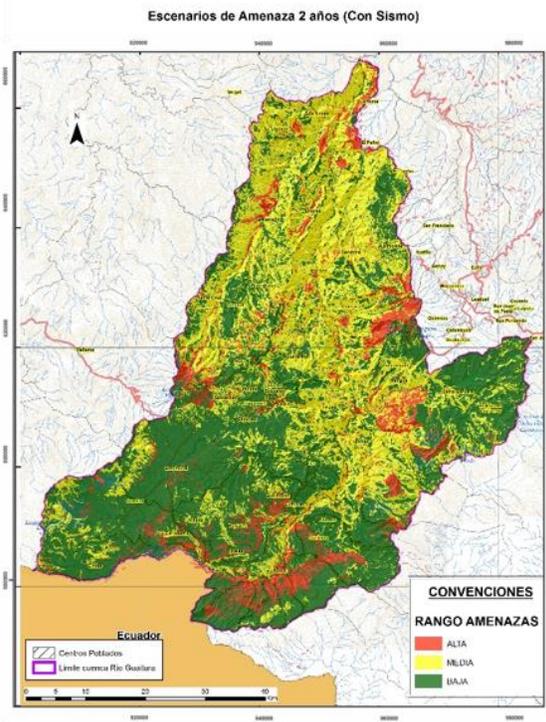
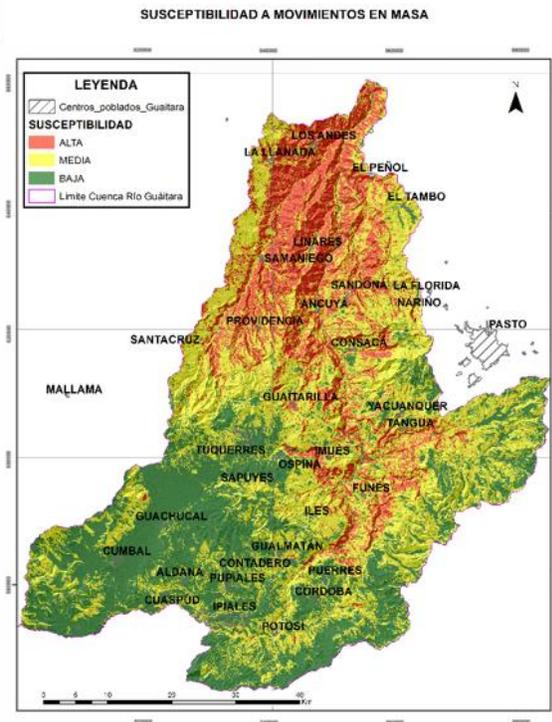
Fuente: Consorcio POMCA 2015 053

Mediante la comparación de los 10 escenarios de amenaza por movimientos en masa frente al modelo de susceptibilidad, se pudo concluir que el escenario con periodo de retorno de 2 años y con el factor de sismo como detonante, es el que más se asemeja al escenario de susceptibilidad (Figura 38), y por lo tanto el que más refleja la realidad de la cuenca ante este evento amenazante; teniendo en cuenta lo anterior se seleccionó este escenario, para tener en cuenta en los cálculos del riesgo por movimientos en masa, y en el análisis de la gestión del riesgo en la fase de prospectiva y zonificación ambiental. 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. En la siguiente figura se muestra una comparación entre la susceptibilidad y la amenaza por movimientos en masa.

Figura 38 Comparación de la susceptibilidad y la amenaza por movimientos en masa

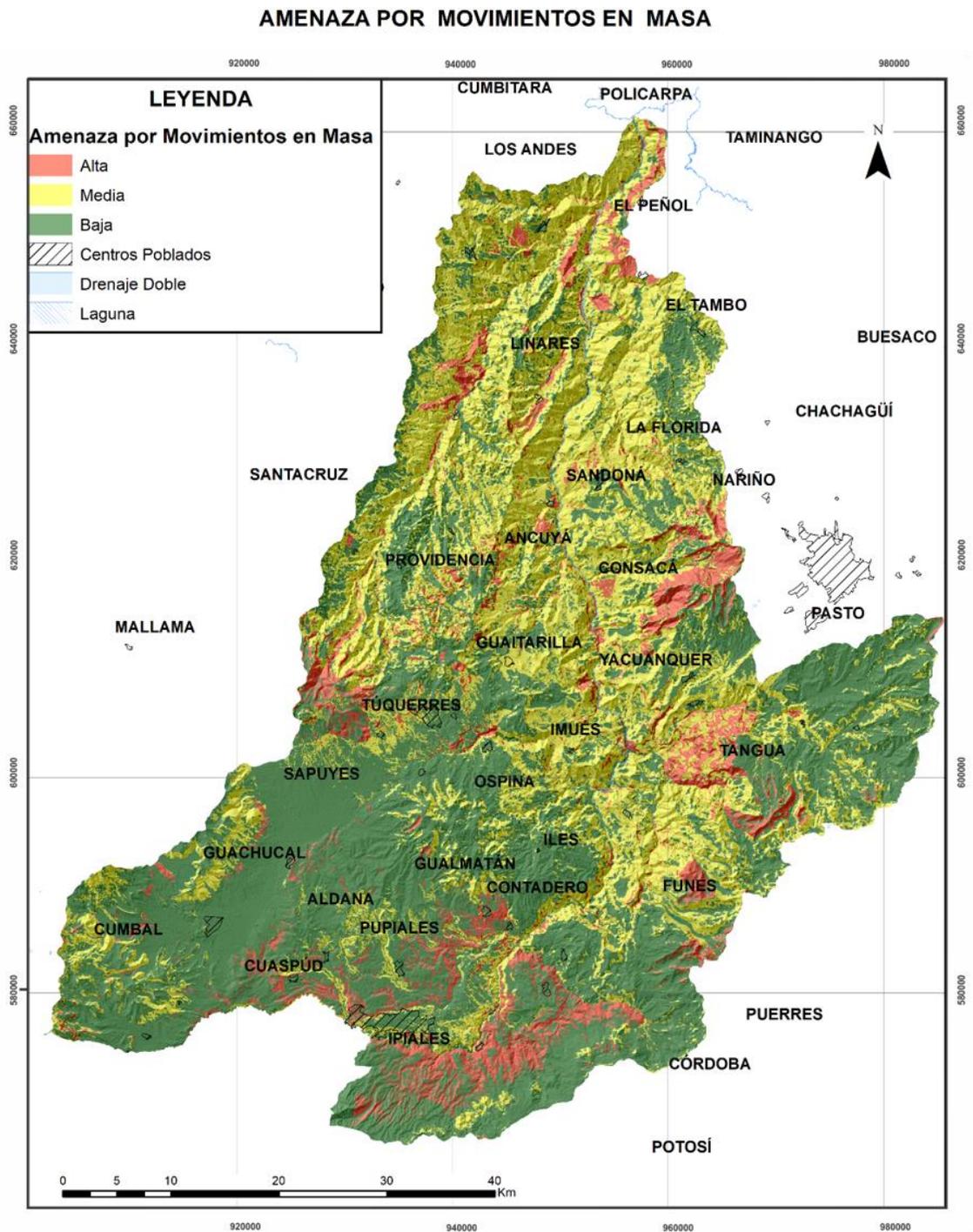
Susceptibilidad por movimientos en masa

Amenaza por movimientos en masa (periodo de retorno de 2 años y con la presencia de sismo como detonante)



Fuente: Consorcio POMCA 2015, 053

Figura 39 Zonificación de la amenaza por movimientos en masa



Fuente: Consorcio POMCA 2015- 053.

En general, se observa un bajo porcentaje de zonas con amenaza alta por movimientos en masa (9,8%), siendo los municipios de Ipiales, Tuquerres, Consacá, Funes y El Peñol las zonas en las que se encuentra principalmente este grado de amenaza. La amenaza media representa el 39,43% (143,287 ha) del total de la cuenca (363.645 ha), abarcando el área correspondiente a los municipios Linares, El Peñol, La Florida, El Tambo, Sandona, Ancuya, Imues y Yancuanquer (ver Figura 39). Las zonas con amenaza baja están concentradas hacia la parte media y sur de la cuenca principalmente y representan el 50,7% del área total de la cuenca este tipo de amenaza está concentrado en aquellos sectores cuyo relieve es en general homogéneo y con bajas pendientes.

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 Guáitara se observa una correlación alta entre el inventario de procesos y las zonas de amenaza media y alta a eventos de remoción en masa, con una fiabilidad cercana al 84%. Ésto obedece a que las variables utilizadas son altamente afectadas por precipitaciones y aceleraciones en roca generadas por sismos, pero mantienen una reacción constante y pareja a los efectos de las perturbaciones generadas por estos agentes.
- Aquellas zonas en donde predomina la amenaza alta por movimientos en masa se observan variaciones de pendientes bajas a moderadas (entre 10° y 45°), donde la morfografía está asociada a procesos de formación netamente volcánicos, y picos de precipitación reflejados en altos valores de infiltración.
- La influencia sísmica también juega un papel vital en esta zona siendo la región muy activa tectónicamente por la geodinámica interna de los volcanes asociados al complejo volcánico Cumbal y Chiles, y a las fallas asociadas al levantamiento de la cordillera de los Andes, específicamente la cordillera central.

Recomendaciones finales:

Como recomendación se sugiere tener en cuenta la zonificación en la planeación municipal, debido a que muchas de las zonas de expansión urbana están creciendo a ritmos acelerados, alcanzando las zonas categorizadas como amenaza alta. De igual manera se sugiere adoptar los sistemas de alertas tempranas y utilizar los mecanismos de reporte de eventos de movimientos en masa, en aras de buscar una mejor alimentación de la base de datos y una futura depuración de los modelos aquí empleados que se ajusten aún más a la realidad.

Para continuar avanzando en el conocimiento de esta amenaza, se sugiere la caracterización de taludes rocosos en los sectores catalogados con amenaza alta, con el fin de aumentar el detalle en las zonas en donde se hace necesario.

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

La Cuenca Hidrográfica Del Río Guáitara está compuesta por cuerpos de agua lenticos (lagunas y embalses) y cuerpos de agua lóticos (dentro de los que se destacan el Río Guáitara, Río Tellez, Río Blanco, Río Bobo, Quebrada Sarmientos, Quebrada Pescadillo, Quebrada Pinzón, Quebrada Peña Flor, Quebrada Potrerillo, Quebrada Frontales, Quebrada Chapuesmal, Quebrada La Ruidosa, Quebrada Boquerón). Para el caso de la sub zona hidrográfica se definieron en total 54 subcuencas y 45 microcuencas, siendo todas ellas de tipo exorreico con un dinamismo que está estrechamente relacionado con la litología, el relieve y las características estructurales del área. Es así como en las regiones con un índice de relieve mayor, presentan laderas escarpadas con tributarios de mediana y alta densidad (cuyos mayores valores se adoptan hacia el este y suroeste del área), los cuales generan una erosión uniforme (rebajando las partes con mayor índice de relieve), y aportando progresivamente (ladera abajo) agua y sedimentos, formando un patrón de drenaje dendrítico en las partes altas y medias de la cuenca, paralelo en la parte baja de la cuenca y radial centrífugo en los alrededores de las cumbre cónicas de los volcanes, cuyas propiedades podrán ser consultadas en mayor detalle en los capítulos Hidrografía y Morfometría de la caracterización Biofísica de la cuenca.

La cuenca se encuentra en un área conocida como concavidad ecuatorial donde el clima en general se encuentra bajo la convergencia de los vientos Alisios de cada hemisferio formando la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) (Trojer, 1958 en Centro Control Contaminación del Pacífico, 2002). Las lluvias en la cuenca tiene un comportamiento monomodal donde el invierno ocurre en el primer semestre del año donde se alcanzan temperaturas de hasta 26°C con muy poca pluviosidad, y el verano en la segunda parte del año donde las temperaturas descienden (cerca de los 25°C) y la pluviosidad aumenta con respecto al primer semestre (Centro Control Contaminación del Pacífico, 2002).

1.9.1 Descripción metodológica para obtener susceptibilidad a inundaciones

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

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

El objetivo de dicho análisis fue el de encontrar vestigios y evidencias físicas de inundaciones dentro de la cuenca. Una vez identificadas las geoformas (subunidades geomorfológicas y las unidades de terreno) relacionadas con los eventos de desplazo 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.

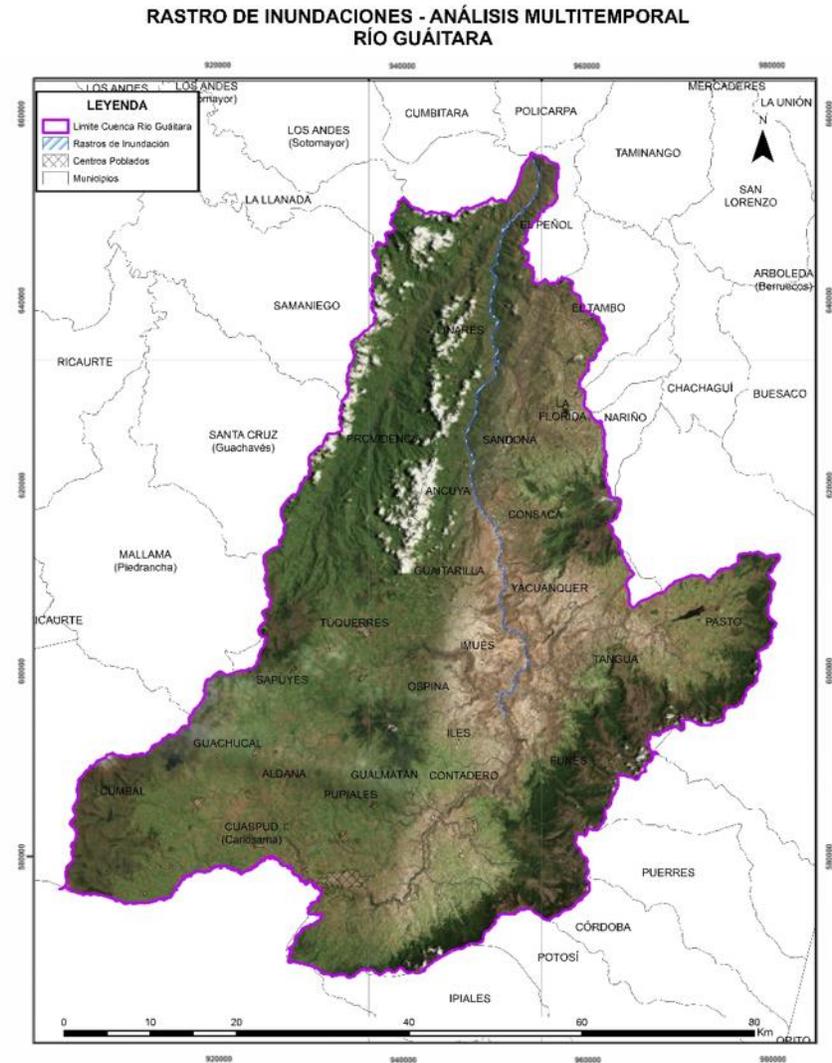
1.9.1.1 ANALISIS MULTITEMPORAL

El análisis de inundaciones para la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara 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 Guátara, 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 Guátara ha presentado es fundamental para entender la dinámica y relevancia de la principal fuente hídrica en la zona.

Como tendencia general, se observa que los fenómenos históricos reportados están dentro del área de influencia del Río Guátara, y algunos tributarios como el Río Cariaco, Sapuyes, Téllez, Tescuca, Boquerón, Las Juntas, Quebrada Tasnaque, Primavera, Honda, Aguadulce, Telpis y Pinzón (para mayor detalle remitirse al Capítulo Hidrografía) y de los centros urbanos más importantes como Ipiales, Sotomayor, El Tambo, Linares, Samboná, Consaca, Guaitarilla, Túquerres, Funer y Panan, estos originados generalmente por intensas lluvias y por insuficiencia y fallas de los sistemas de drenajes y alcantarillado.

El cauce del Río Guátara corresponde a un drenaje caracterizado por su moderada sinuosidad y poca movilidad, sus tributarios presentan diferentes orientaciones y patrones, pero su curso principal esta significativamente orientado en sentido Norte-Sur. Muestra un cauce de tamaño homogéneo con poco dinamismo, con ligeras variaciones en algunos sectores donde se hace un poco más amplio y sinuoso.

Figura 40 Análisis multitemporal de imágenes satelitales del Río Guátara, en donde se aprecia los rastros de inundación.



Fuente: Consorcio POMCA 2015- 053.

En la Figura 40 se presentan las áreas en las que ha divergido el cauce del Río Guátara. Se analizaron imágenes de diferentes años, en los que se evidencia como existe una ligera migración lateral del cauce principal del río, erosión moderada en las márgenes exteriores de las curvas, canales con pendientes medias, formación de valles estrechos y en algunos sectores formación de barras de canal y depósitos orillales durante los periodos de descarga alta.

La pobre dinámica de los cauces, y principalmente del Río Guátara, se debe a la topografía relativamente alta, la alta competencia de los materiales sobre los que discurre el cauce del río, las características estructurales de la zona, el caudal y la cantidad de material transportado por éste,

desarrollando un drenaje con variaciones mínimas de las márgenes de los cauces, e impidiendo que el río divague en otras direcciones (Figura 41).

Figura 41 Comparación temporal del trazado del cauce del Río Guáitara Sector 1 Año 2014 -2015

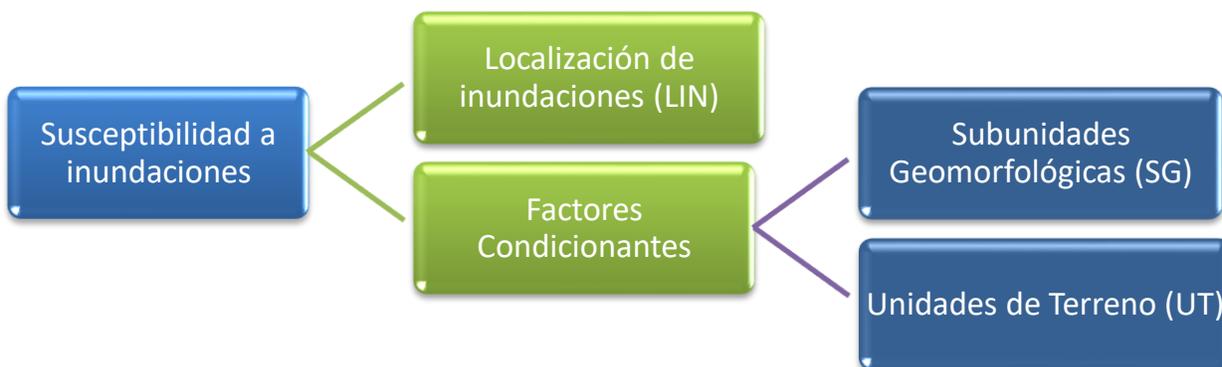


Fuente: Consorcio POMCA 2015- 053.

1.9.2 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 Guátara fueron la localización de inundaciones (LIN) y los factores condicionantes (Subunidades Geomorfológicas y Unidades de Terreno) como se ilustra en la Figura 42.

Figura 42 Variables que determinan a la zonificación de la susceptibilidad a la amenaza por Inundaciones



Fuente: Consorcio POMCA, 2015 53

1.9.2.1 LOCALIZACIÓN DE INUNDACIONES (LIN)

Los fenómenos localizados y evaluados son todos aquellos que hacen parte del inventario de inundaciones de la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara. 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*, la base de Datos de la Oficina Nacional para la Atención de Desastres ONAD (REONAD), la base de Datos de la Oficina de Desastres (BDOD) y la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNDGR).

En general, para la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara, la mayor incidencia por inundaciones está estrechamente relacionada con las principales corrientes fluviales, tal y como se puede consultar con mayor detalle en la sección 1.7 Caracterización histórica de amenazas y eventos amenazantes.

1.9.2.2 FACTORES CONDICIONANTES

1.9.2.2.1 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 (Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2012); siendo esta última característica la que permite determinar las áreas susceptibles a inundarse según la temporalidad del proceso (activos, intermitentes o antiguos).

Este parámetro fue analizado con base en las unidades geomorfológicas según Carvajal, definidas, por el Consorcio POMCA, para el área de la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara (ver Tabla 27). La información se maneja en formato vector tipo polígono.

Tabla 27. Calificación de Susceptibilidad de las Subunidades Geomorfológicas a inundación, para la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara.

Región	Unidad	Subunidad	Cód.	Susceptibilidad
Antropogénico	Embalses	Embalse	Aemb	Alta
Serranías Denudacionales	Conos y lobulos coluviales	Cono o lóbulo coluvial y de soliflucción	Dco	Baja
	Cerros	Cerro remanente o relicto	Dcrem	Baja
	Conos de talus	Cono de talud	Dct	Baja
	Escarpe de erosión	Escarpe de erosión mayor	Deem	Baja
			Deeme	Baja
	Lomas denudadas	Loma denudada	Dld	Baja
	Lomos	Lomo denudado bajo de longitud larga	Dldebl	Baja
		Lomo denudado moderado de longitud larga	Dldeml	Baja
	Lomeríos	Lomeríos Disectados	Dldi	Baja
		Lomeríos muy disectados	Dlmd	Baja

Región	Unidad	Subunidad	Cód.	Susceptibilidad
		Lomeríos poco disectados	Dlpd	Baja
	Ladera denudada	Ladera erosiva	Dle	Baja
	Montículos	Montículo y Ondulaciones Denudacionales	Dmo	Baja
	Sierras	Sierra denudada	Dsd	Baja
		Sierra residual	Dsr	Baja
Planicies Aluviales	Abanico fluvial	Abanico aluvial	Faa	Baja
	Barras	Barra longitudinal	Fbl	Alta
	Cuerpos de agua	Cauce aluvial	Fca	Alta
		Laguna	Flg	Alta
	Planicies o de Llanuras inundación	Planicie Aluvial Confinada	Fpac	Alta
		Plano o llanura de inundación	Fpi	Alta
		Planicie y delta lacustrino	Fpla	Alta
	Terrazas	Terraza de acumulación	Fta	Media
		Escarpe de terraza de acumulación	Ftae	Baja
		Terraza de acumulación antigua	Ftan	Media
Serranías Glaciadas	Morrenas	Morrena de fondo	Gmf	Baja
	Sierras glaciadas	Aguja glacial (Horn)	Ga	Baja
		Artesa glacial	Gag	Baja
		Circo glacial y de nivación	Gc	Baja
		Conos glaciofluviales	Gcgf	Baja
		Flancos de valle Glacial	Gflv	Baja

Región	Unidad	Subunidad	Cód.	Susceptibilidad
		Flujo volcánico glaciado	Gfv	Baja
		Escarpe del flujo volcánico glaciado	Gfve	Baja
		Laguna glaciario	Glg	Baja
		Plano Glaciolacustrino	Gpgl	Baja
		Sierra Glaciada	Gsg	Baja
Serranias Estructurales	Cerros Estructurales	Cerros estructurales	Sce	Baja
	Espolones	Espolón	Ses	Baja
		Espolón moderado de longitud larga	Sesml	Baja
	Lomos	Lomos	Sl	Baja
		Lomo de Falla	Slf	Baja
	Sierras estructurales	Escarpe línea de falla	Slfe	Baja
		Sierra estructural	Ss	Baja
	Sierras homoclinales	Sierra homoclinal	Ssh	Baja
Sierras sinclinales	Ladera estructural de sierra sinclinal	Sssle	Baja	
Edificios Volcánicos	Cráter volcánico	Cráter volcánico	Vc	Baja
		Escarpe de cráter	Vce	Baja
	Cono de escoria o cono de ceniza	Cono de escoria o cono de ceniza	Vcoe	Baja
	Caldera	Caldera	Vcr	Baja
	Domo volcánico	Domo volcánico	Vd	Baja
	Edificio Volcánico	Volcán o edificio volcánico	Ve	Baja

Región	Unidad	Subunidad	Cód.	Susceptibilidad
	Flujos	Flujo de lava	Vfl	Baja
		Flujo lahárico aterrazado	Vfla	Baja
		Flujo piroclástico aterrazado	Vfp	Baja
	Escarpe de flujo	Escarpe de flujo lahárico aterrazado	Vflae	Baja
		Escarpe de flujo de lava	Vfle	Baja
		Escarpe de flujo piroclástico aterrazado	Vfpe	Baja
	Manto de piroclastos	Manto de piroclastos	Vmp	Baja

Fuente: Consorcio POMCA, 2015 53

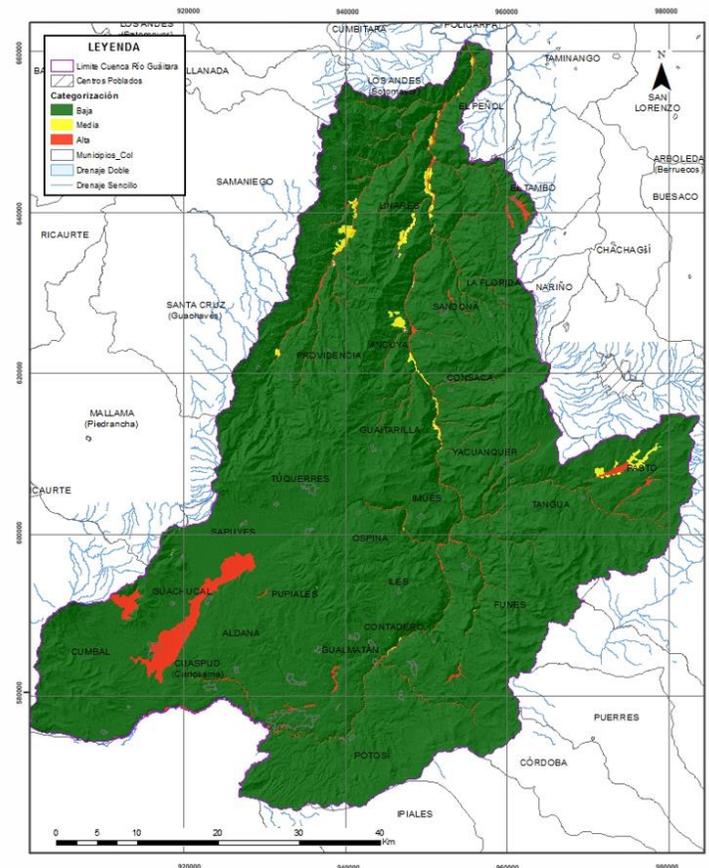
Las subunidades geomorfológicas presentes en el área de la Cuenca Hidrográfica Del Río Guáitara que generalmente son susceptibles a inundarse, son aquellas que además de presentar bajas pendientes están ligadas en su desarrollo a un sistema fluvial como los ríos Las Juntas, Guáitara, Tescual, Blanco, Angasmaya y las quebradas El Hueco, El Capote, Doña Juana, El Totoral en la parte Sur de la Cuenca siendo las áreas más grandes de alta susceptibilidad las asociadas al Río Las Juntas. En el caso particular de los sistemas lenticos presentes en la sub zona hidrográfica, existe una laguna de origen fluvial ubicada en la zona Sur Oeste, que posee un área importante de susceptibilidad alta a inundaciones (relacionadas con la inundación de zonas de depresión durante la época de alta pluviosidad, que permanecen incluso en épocas secas ya que son pobremente drenadas) estas unidades, al estar asociadas a corrientes hídricas y estar constituidas por materiales finos aumentan su cota de nivel, durante las temporadas de lluvias, y afectan los planos aledaños. En la zona Este del la Cuenca se encuentran zonas de alta susceptibilidad asociadas al Embalse Río Bobo, los ríos La Esperanza, Bobo, De Las Ovejas, Curiaco y las quebradas El Socorro, Blanca y La Magdalena. Las áreas susceptibles en el Norte de la Cuenca se encuentran asociadas a los ríos Guáitara, Molinoyaco, El Salado, Pascual, San Juan y las quebradas Guayambul, Hueco Lindo, Guayacanal, El Cilindro, El Arenal, Piscoyaco y Las Puntas.

Por lo anterior, las subunidades de regiones de planicies aluviales son el resultado del desarrollo de corrientes fluviales como el Río Blanco en el sector sur de la cuenca, el Río Guáitara de Sur a Norte por la parte central de la cuenca, y las quebradas Cantería, Pangata, Arenosa, Los Sapos, Cascajo, Cuaspud Llano Largo), junto con la evolución y dinámica de los diferentes cuerpos lenticos asociados a estas corrientes hídricas; la presencia e interacción de todas estas fuentes hídricas genera tanto procesos de erosión como procesos de sedimentación en áreas aledañas, afectadas por los periodos

de inundación, e influenciadas por la dinámica normal de las corrientes perennes durante la época seca. Por lo anterior, subunidades de plano o llanura de inundación (Fpi), laguna (Flg), barra longitudinal (Fbl), cauce aluvial (Fca), planicie aluvial confinada (Fpac), Planicie y delta lacustrino (Fpla) con un índice de relieve muy bajo, que registran procesos fluviales activos, son catalogadas como zonas con alta susceptibilidad a inundaciones. Mientras que subunidades de plataforma de abanico aluvial (Faa), terraza de acumulación (Fta) escarpe de terrazas de acumulación (Ftae) y terraza de acumulación Antigua (Ftan), se catalogan como zonas de susceptibilidad media pues son relictos de procesos hídricos, con topografías relativamente planas pero con un índice de relieve superior a la llanura. Las demás subunidades geomorfológicas se categorizan con una baja susceptibilidad a fenómenos de inundaciones, en virtud de su ambiente de formación (estructural y denudacional), su configuración y su alto índice de relieve (Figura 43).

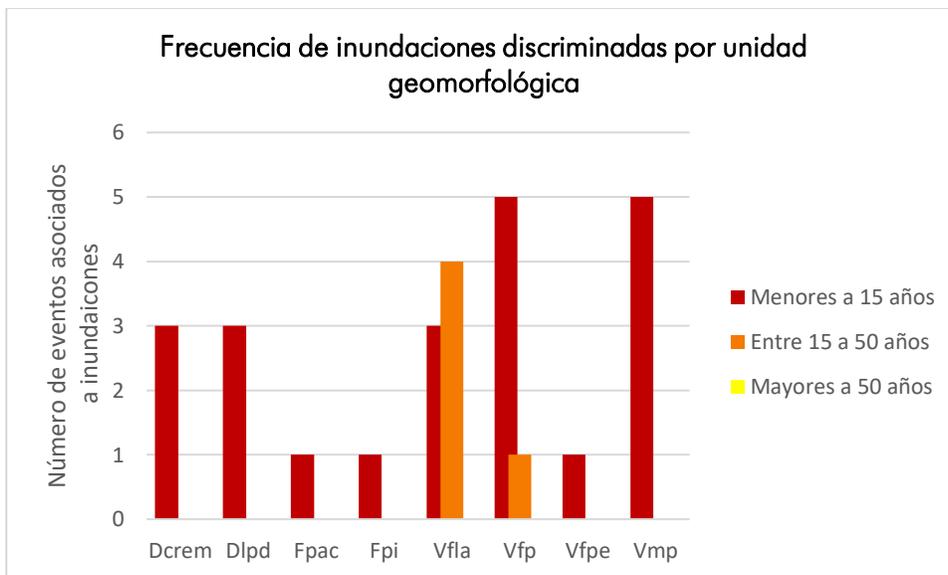
Figura 43 Susceptibilidad de Subunidades Geomorfológicas a inundaciones, para la Cuenca Hidrográfica Del Río Guáitara

Susceptibilidad de Subunidades Geomorfológicas a inundaciones, para la cuenca hidrográfica Del Río Guáitara



Fuente: Consorcio POMCA, 2015 53

Figura 44 Frecuencia de ocurrencia de eventos históricos de inundación registrados para la Cuenca Hidrográfica Del Río Guátara.



Fuente: Consorcio POMCA, 2015 53

Históricamente, la mayor cantidad de registros por inundación (ver Figura 44) se ubican, en las unidades de flujos, subunidades de flujos laháricos aterrazados (Vfla), flujos piroclásticos aterrazados (Vfp) y en la unidad de mantos de piroclastos, subunidad Manto de piroclastos (Vmp), en regiones geomorfológicas de edificios volcánicos, que se caracterizan por tener morfologías relativamente planas y encontrarse cerca a corrientes fluviales, lo que favorece el encharcamiento.

1.9.2.2 Unidades de terreno (UT)

Corresponde a geformas particulares del terreno consideradas dentro de un nivel del sistema jerárquico, relacionada con las formas de relieve: ambientes morfogenéticos y sistemas de terreno (Zinck J. A., 2012). Cada geforma se clasifica según su génesis, morfología y geometría del relieve. Su análisis permite identificar geformas 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 J. A., 1988), definidas para el área de la Cuenca Hidrográfica Del Río Guátara por el Consorcio POMCA (ver Tabla 28). La información se maneja en formato vector tipo polígono.

Tabla 28. Calificación de susceptibilidad a inundación de las unidades de terreno según morfochronología, registrados para la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara.

Paisaje y ambiente morfo genético	Tipo de relieve	Forma de terreno	Material parental	Símbolo	Susceptibilidad
Altiplanicie	Cañones	Laderas	Tobas de lapilli y aglomerados	ACAI	Baja
	Lomas	Bajos	Sedimentos arenosos y limo-arenosos, pómes, sedimentos aluviales y coluviales.	ALOb	Media
		Cimas y laderas	Sedimentos arenosos y limo-arenosos, pómes, sedimentos aluviales, fluvio-glaciares, y coluviales, lavas, lahares.	ALOCl	Baja
	Mesas	Cimas y laderas	Sedimentos arenosos y limo-arenosos, pómes, sedimentos aluviales y coluviales.	AMEcl	Baja
	Vallecito	Vega	Lavas, piroclastos y depósitos fluvio-glaciares y lahares.	AVAv	Alta
Cuerpo de agua	Cuerpo de agua	Cuerpo de agua	Lavas, piroclastos y depósitos fluvio-glaciares y lahares, dacitas, riodacitas.	CA	Alta
Montaña	Artesas y campos morrénicos	Campos morrénicos	Dacitas y riodacitas	MAMcm	Baja
		Circos y paredes de artesas	Dacitas y riodacitas	MAMcp	Baja

		Fondo de artesas	Dacitas y riolacitas, lavas, piroclastos y depósitos fluvio-glaciares y lahares.	MAMfa	Baja
	Coladas de Lava	Cimas, laderas y depresiones	Dacitas y riolacitas	MCLcs	Baja
		Cono de escorias	Tobas de lapilli y aglomerados.	MCLce	Baja
	Coluvios	Cimas y depresiones)	Lavas, piroclastos y depósitos fluvio-glaciares y lahares	MCOcd	Baja
	Crestón	Ladera estructural	Lavas, piroclastos y depósitos fluvio-glaciares y lahares.	MCRls	Baja
	Estrato-volcan	Cimas y laderas	Dacitas y riolacitas	MEVcl	Baja
	Filas y vigas	Cimas y Laderas	Dacitas y riolacitas	MFVcl	Baja
		Depresiones	Lavas, piroclastos y depósitos fluvio-glaciares y lahares	MFVd	Media
	Glacis coluvial	Plano Inclinado	Lavas, piroclastos y depósitos fluvio-glaciares y lahares	MGCpi	Baja
Piedemonte	Abanico	Ápice	Sedimentos arenosos y limo-arenosos, pómes, sedimentos aluviales y coluviales.	PABa	Baja
		Cuerpo y pie	Sedimentos arenosos y limo-arenosos, pómes, sedimentos aluviales y coluviales.	PABcp	Baja

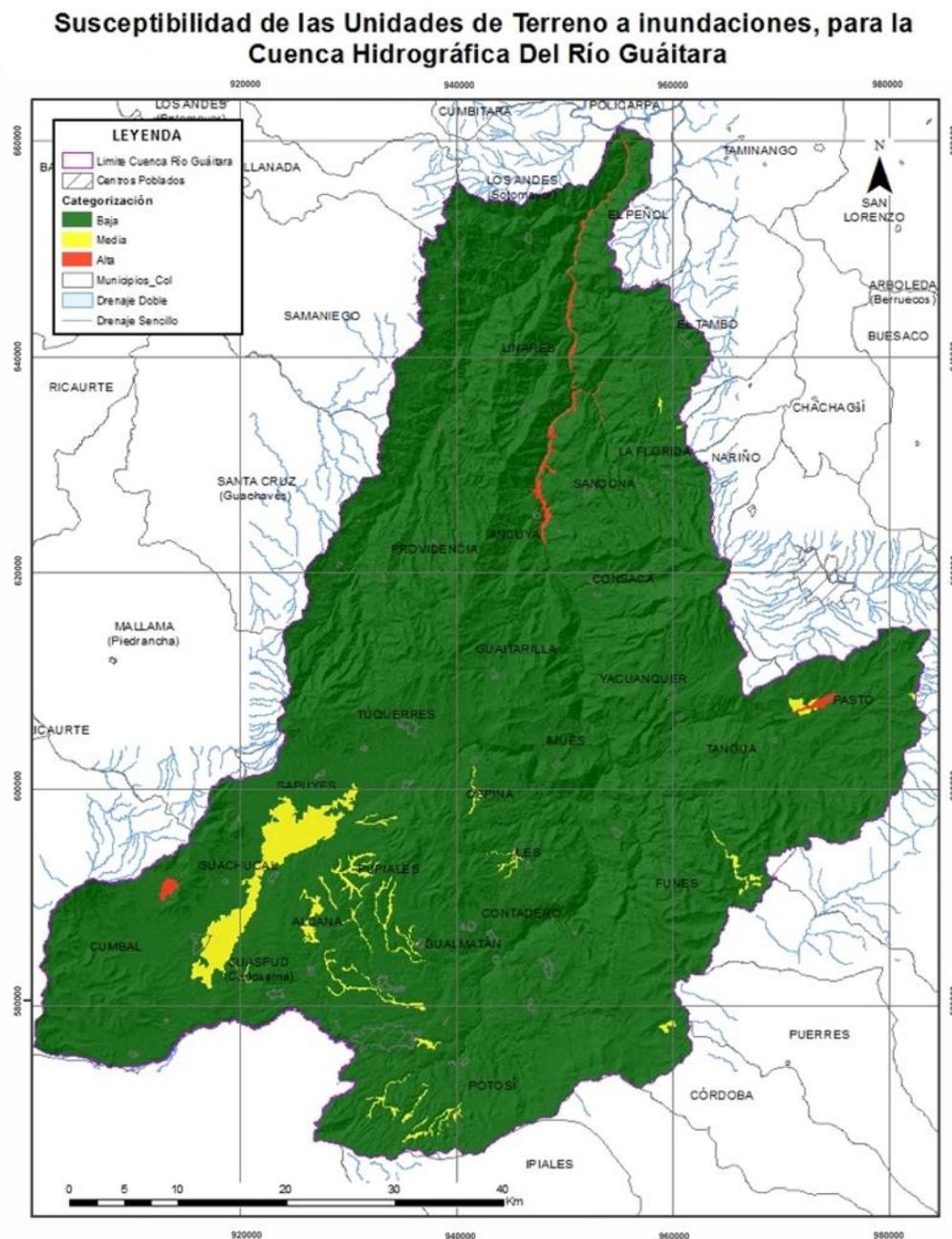
Fuente: Consorcio POMCA, 2015 53

Los bajos (ALOb), ubicados principalmente en la zona sur de la Cuenca, presentan una susceptibilidad media debido a su cercanía con las Corrientes fluviales y su característica forma plana, los abanicos, cuerpo y pie (PABcp) presentan una zona importante de susceptibilidad media al suroeste de la Cuenca asociados al Río Las Juntas, debido a su forma de terraza lo que facilita su encharcamiento.

La Cuenca presenta tres zonas de Alta Susceptibilidad, dos asociadas a cuerpos de agua (CA), una al oeste en la laguna, y otra ubicada al este en el embalse. La tercera zona de alta susceptibilidad se

ubica en la parte Norte de la Cuenca, a lo largo del Río Guátara con una forma de terreno de vallecito (AVAv) como se observa en la Figura 45.

Figura 45 Mapa de Susceptibilidad de las Unidades de Terreno a inundaciones, para la Cuenca Hidrográfica Del Río Guátara



Fuente: Consorcio POMCA, 2014 052

Las Coladas de lava, cimas, laderas y depresiones (MCLCs) distribuidas a lo largo de la Cuenca en cercanías a los volcanes, las lomas, cimas y laderas (ALOcl) en la parte sur de la cuenca, las filas y vigas, cimas y laderas (MFVcl) en la parte norte y sureste y los cañones, laderas (ACAl) a lo largo del Río Guáitara, por su morfología de fuertes pendientes y alturas relativas elevadas se clasifican como zonas de baja susceptibilidad a inundaciones.

Figura 46 Gráfico de frecuencia de inundaciones discriminadas por Unidades de Terreno, para la Cuenca Hidrográfica Del Río Guáitara



Fuente: Consorcio POMCA, 2015 53

Las formas de terreno que históricamente han presentado una mayor cantidad de registros por inundaciones (ver Figura 46) y que además han demostrado tener actividad reciente son formas del terreno del paisaje morfogenético de Altiplanicie.

1.9.3 Análisis de la zonificación de la susceptibilidad a inundaciones

Para el análisis de la caracterización de las áreas susceptibles a inundación en la Cuenca Hidrográfica Del Río Guáitara, 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 geoformas y relieves de ambiente fluvial presentes en el área.

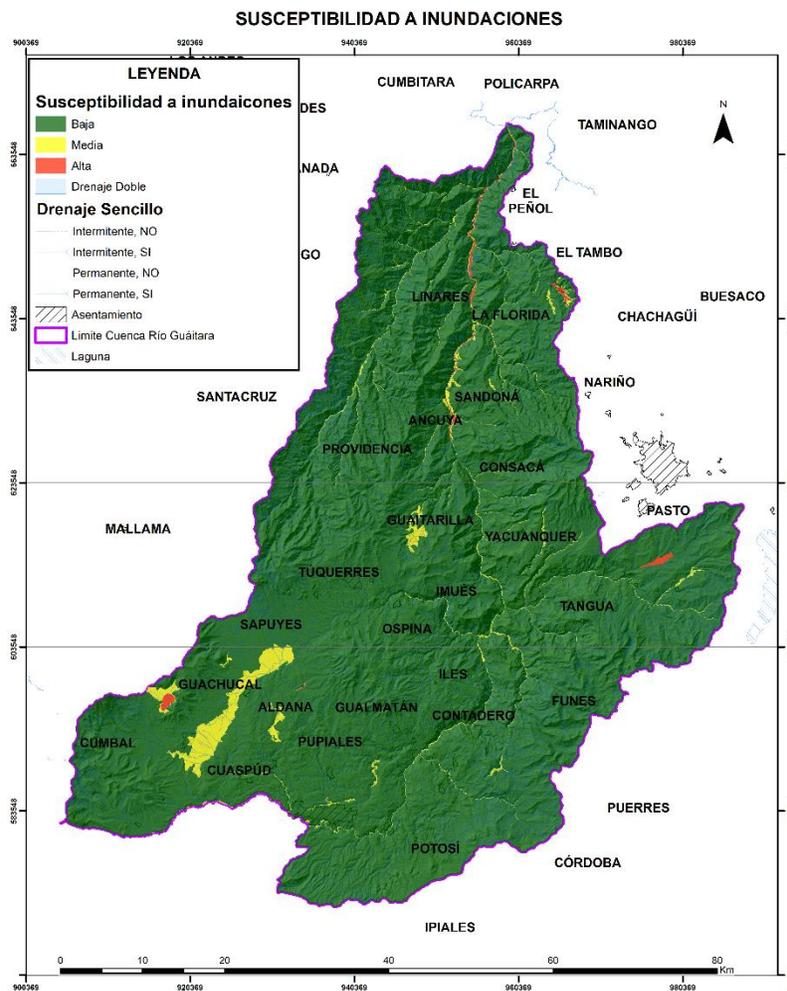
En general la Cuenca Hidrográfica Del Río Guáitara está caracterizada por presentar las mayores elevaciones hacia el suroccidente (donde alcanza alturas de 4700 m.s.n.m.), estas elevaciones tienden a disminuir hacia la parte central y norte de la sub zona hidrográfica, alcanzando sus menores valores (500 m.s.n.m) en el norte de la cuenca.

Los ambientes fluvio-aluvial y volcánico predominantes en la zona han permitido (entre otros) el desarrollo de paisajes morfogenéticos de montaña y altiplanicie, donde el índice de relieve, la capacidad de infiltración de los depósitos aluviales que los constituyen no favorecen la ocurrencia de

eventos de inundación, siendo así de gran utilidad para la determinación de susceptibilidad a esta amenaza en la sub zona hidrográfica.

Como resultado de lo anterior se obtiene el Mapa de Susceptibilidad a inundaciones para la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara (ver Figura 47); este mapa ilustra como aproximadamente 1165,943366 hectáreas (es decir el 0,32 % del área total de la sub zona hidrográfica) se catalogan con una susceptibilidad alta a inundaciones. Dentro de estas áreas se encuentran abanico fluvial (Faa), barras (Fbl), cuerpos de agua (Fca y Flg), embalses (Aemb), planicies o llanuras de inundación (Fpac, Fpli y Fpla) y terrazas (Fta) que son unidades con un bajo índice de relieve, ligadas en su origen con el transporte y dinámica fluvial, que aún interactúan con los cauces fluviales y presentan actividad reciente.

Figura 47 Mapa de Susceptibilidad a inundaciones para la Cuenca Hidrográfica Del Río Guáitara



Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

Por otro lado, en el Mapa de Susceptibilidad a inundaciones, aproximadamente 9798,116927 hectáreas (es decir el 2,69 % del área total de la sub zona hidrográfica) se catalogan con una susceptibilidad media a inundaciones. Las planicies aluviales confinadas (Fpac) se encuentran catalogadas con una susceptibilidad media a inundaciones debidas, principalmente, a que se encuentran bordeando los cauces aluviales, además de su morfología plana y muy angosta. Los planos o llanuras de inundación (Fpi) presentan a su vez un índice de susceptibilidad media a inundaciones debido a su superficie de morfología plana, baja a ondulada, eventualmente inundable y localizada bordeando los cauces fluviales, donde es limitado localmente por escarpes de terraza. Estas subunidades presentan geologías de depósitos aluviales al igual que el cauce aluvial (Fca) que, con las subunidades de barra longitudinal (Fbl) y embalse (Aemb) presenta una susceptibilidad media a inundaciones.

Las susceptibilidades bajas a fenómenos de inundación abarcan un área de 352680,9516 hectáreas (es decir el 96,98% del área total de la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara) relacionadas con zonas sin registros históricos en regiones de serranías denudacionales, conformando 143517 Ha (39,3%) principalmente en unidades de sierras y lomos, debido a su morfología montañosa, de laderas largas y pendientes muy inclinadas a abruptas. Los edificios volcánicos representan 108309 Ha (29,7%) donde predominan unidades de flujos, escarpes de flujos y mantos de piroclastos, que por su morfología montañosa y pendientes pronunciadas, no permiten fácilmente las inundaciones. Las sierras glaciadas abarcan un área de 49611 Ha, (13,6%), las sierras estructurales son un 9,6% (34903 Ha) y las planicies aluviales representan un 0,54% (1987 Ha) de las regiones categorizadas con una susceptibilidad a fenómenos de inundación baja.

1.9.4 Descripción metodológica para obtener amenaza por inundaciones

Para la zonificación de la amenaza por inundaciones se realizó una categorización y calificación para cada una de las variables que detonan la ocurrencia de inundaciones y se cruzó con la zonificación de susceptibilidad generada. La zonificación de la amenaza se efectuó por medio de un análisis geomorfológico – histórico, donde 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 (Tabla 29). Posteriormente cada unidad geomorfológica fue castigada o condonada por la temporalidad que presentarán los históricos contenidos.

1.9.5 Descripción de las variables de amenaza por inundaciones

Las variables que se tuvieron en cuenta para definir la amenaza a inundaciones en la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara fueron la localización y categorización de los fenómenos de inundación que afectaron previamente el área, junto con la evaluación de susceptibilidad en la zona (ver Figura 48).

Figura 48 Variables para la modelación de la amenaza por inundaciones



Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

1.9.5.1 INUNDACIONES HISTÓRICAS (INUNHIST)

La consolidación de esta información se realiza a partir de la revisión de fuentes secundarias, en las que se describe su ubicación por asociación a proximidad de puntos o zonas de referencia. Permite identificar zonas de amenaza por inundación basada en la frecuencia de ocurrencia, que al integrarse con las zonas de susceptibilidad 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, Base de Datos del Observatorio Sismológico (BDOSSO), Dirección del Gestión del Riesgo (DGR), Dirección Nacional para la Atención y Prevención de Desastres (DNPAD), base de Datos de la Oficina de Desastres (BDOD) y de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (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 29.

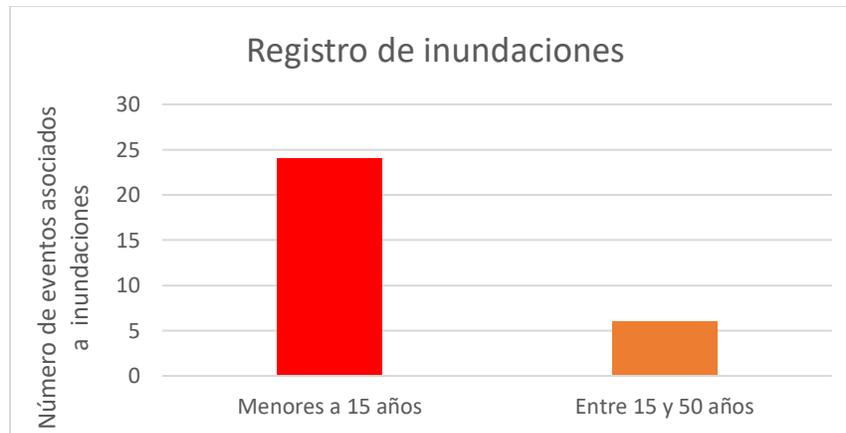
Tabla 29. Categorización de la recurrencia de los eventos de inundación.

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 Guáitara los reportes por inundación están disponibles desde el año 1970. Los registros fueron agrupados en tres categorías, de acuerdo con su recurrencia (alta, media o baja). Como se observa en la Figura 49, para la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara, los datos disponibles presentan un aumento progresivo, con una mayor recurrencia por fenómenos de inundación durante los últimos 15 años, una menor ocurrencia de reportes entre 15 y 50 años, y ninguna para eventos mayores de 50 años.

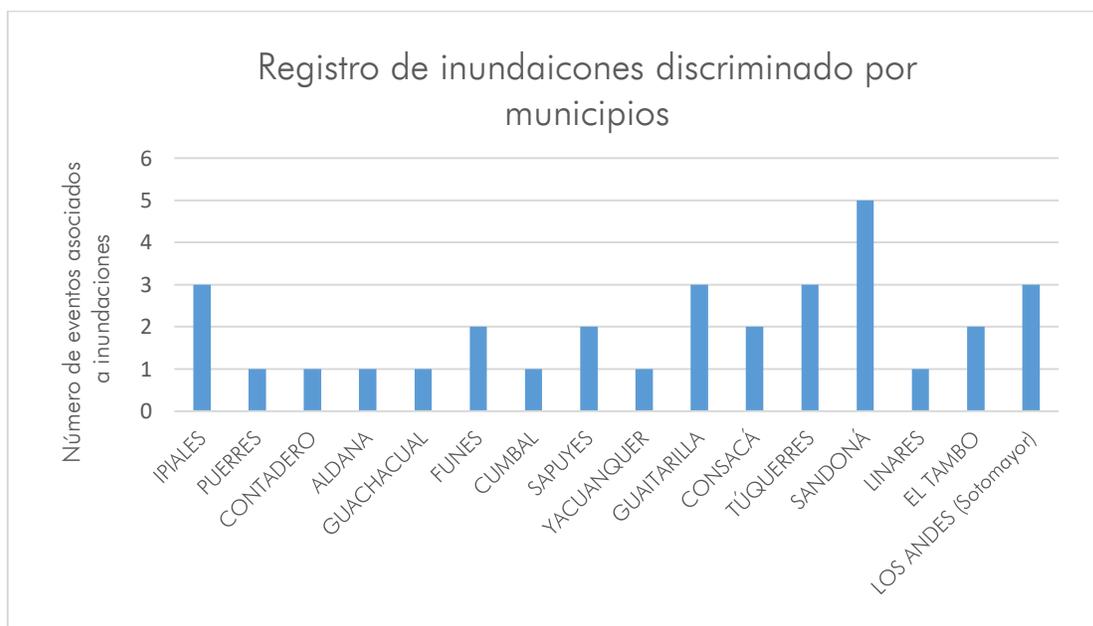
Figura 49 Temporalidad de los eventos históricos por inundaciones, para la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara.



Fuente: Consorcio POMCA, 2014 052

Los fenómenos por inundación han sido reportados en los municipios de Ipiales, Puerres, Contadero, Aldana, Guachucal, Funes, Cumbal, Sapuyes, Yacanquer, Guaitarilla, Consacá, Túquerres, Sandoná, Linares, El Tambo y Los Andes (Sotomayor). (Ver Figura 50).

Figura 50 Registro de eventos históricos para la Cuenca Hidrográfica Del Río Guáitara

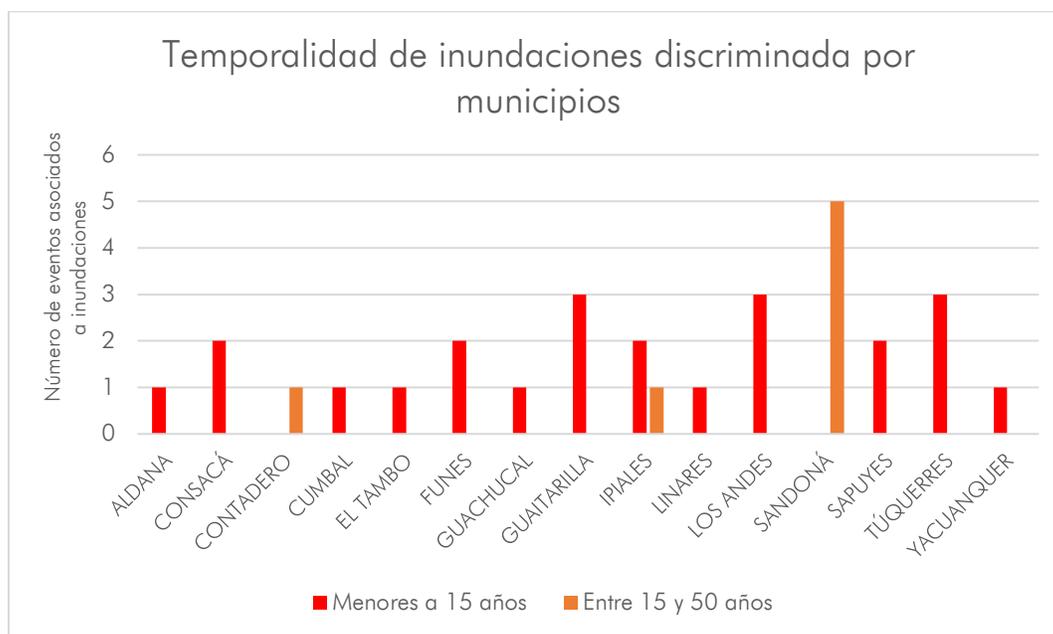


Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

Con base en la información recopilada, no se tienen registros para el periodo de 50 años o más, los registros menores a 50 años se reportan afectando los municipios de Aldana, Consacá, Contadero,

Cumbal, El Tambo, Funes, Guachucal, Guaitarilla, Ipiales, Linares, Los Andes, Sandoná, Sapuyes, Túquerres y Yacuanquer, presentándose más del 76% de los eventos en los últimos 15 años (como se observa en la Figura 51).

Figura 51 Temporalidad de los eventos históricos para la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara

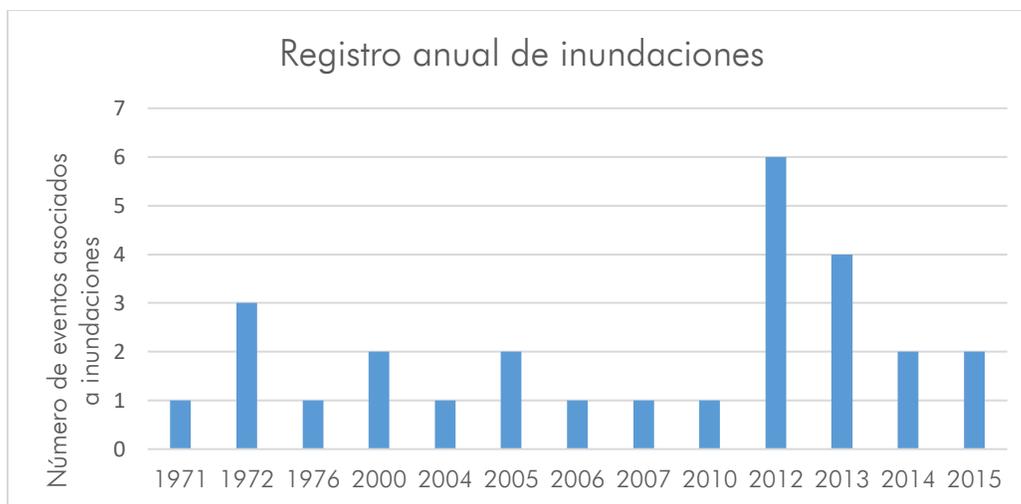


Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

Aunque en algunos casos su origen es desconocido, la principal causa reportada para los fenómenos de inundación que se han presentado en el área de la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara son las lluvias. En general, un aumento en el aporte de agua al sistema desencadena el desbordamiento del Río Cariaco, Río Téllez, Río Sapuyes, Quebrada Changota, Quebrada Chorrera Negra, Quebrada Candicuz, Quebrada Cumac, Quebrada El Granadillo, Quebrada El Chuzo, Quebrada Peña Flor, Quebrada El Totoral, Quebrada Primavera, Quebrada Chamizal, Quebrada Potrerillo, Quebrada El Común, Quebrada Pescadillo, Quebrada Pinzón y la Quebrada Telpis, y de igual forma la inundación de las áreas aledañas a cuerpos lénticos (afectando los municipios descritos en la Figura 51).

Con base en la información recopilada se observa un comportamiento constante a lo largo de los años, exceptuando un pico de 6 inundaciones en el año 2012 (Figura 52). Los reportes, para eventos ocurridos hace más de 50 años son nulos; por otro lado, durante el intervalo comprendido entre 15 y 50 años se presentaron reportes en los años 1971, 1972 y 1976 siendo 1972 el año con más inundaciones; en los últimos 15 años se observa un comportamiento constante con un incremento en los años 2012, desde el cual se han venido reduciendo las inundaciones.

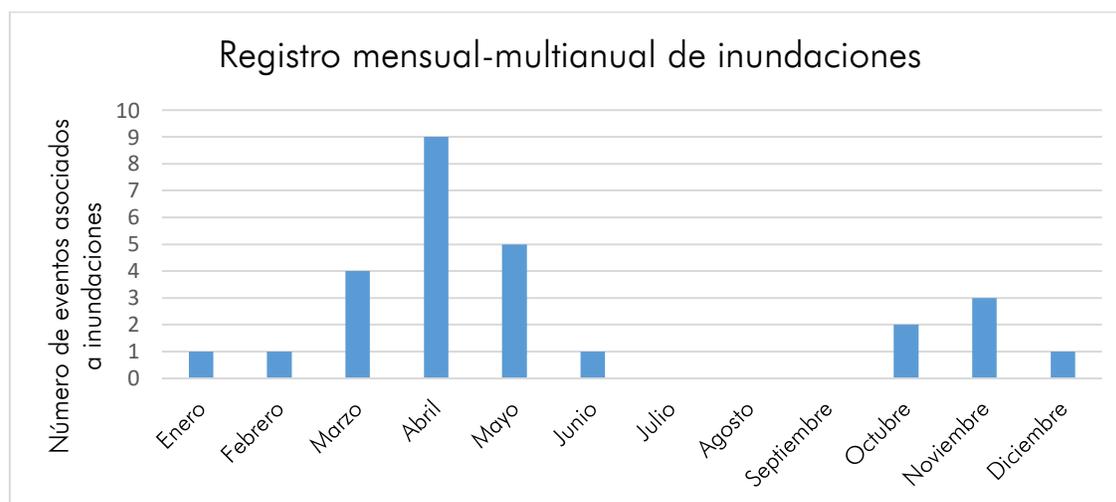
Figura 52 Registro anual por inundaciones para la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara



Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

Como tendencia general, en el registro mensual-multianual (ver Figura 53) se observa un comportamiento monomodal donde, en la primera mitad del año (Marzo, Abril y Mayo) se produce un incremento en las inundaciones de la cuenca, y durante la segunda mitad del año su recurrencia disminuye, siendo cero los reportes registrados durante los meses de Julio, Agosto y Septiembre.

Figura 53 Registro mensual-multianual por inundaciones para la Cuenca Hidrográfica Del Río Guátara



Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

Sin embargo, para el modelamiento de la susceptibilidad y amenaza por inundaciones solo se emplearon los eventos históricos presentados en la Tabla 30, pues se localizan sobre geoformas de ambiente fluvial tales como planicies o llanuras de inundación entre otras, las cuales favorecen la ocurrencia de inundaciones en la subzona hidrográfica.

Tabla 30. Eventos históricos empleados en el modelamiento de la susceptibilidad y amenaza por inundaciones en la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara.

MUNICIPIO	OCURRENCIA	COOR_ESTE	COOR_NORTE	FUENTE_	Rango Amenaza
El Tambo	1	964709,8548720 8	647646,0826149 3	UNDGRD	Alta
Yacuanquer	1	963326,1379998 78	616868,2059818 39	UNDGRD	Alta
Consacá	1	958672,7121659 64	621769,0275750 25	UNDGRD- 28/05/2013	Media
El Tambo	1	964709,8548720 8	647646,0826149 3	UNDGRD	Alta
Funes	1	959674,8849009 78	603320,3364122 03	UNDGRD- 21/03/2013	Alta
Yacuanquer	1	963326,1379998 78	616868,2058818 4	UNDGRD	Alta
Ancuya	1	952122,4825443 17	631202,2595220 49	DAGR DAGR Gobernación	Alta
Cosacá	1	952613,6254634 61	3984,9398	DAGR DAGR Gobernación	Alta
El Tambo	1	965129,7515029 53	647397,0257559 33	DAGR DAGR Gobernación	Media

Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

1.9.6 Análisis de la zonificación de la amenaza a inundaciones

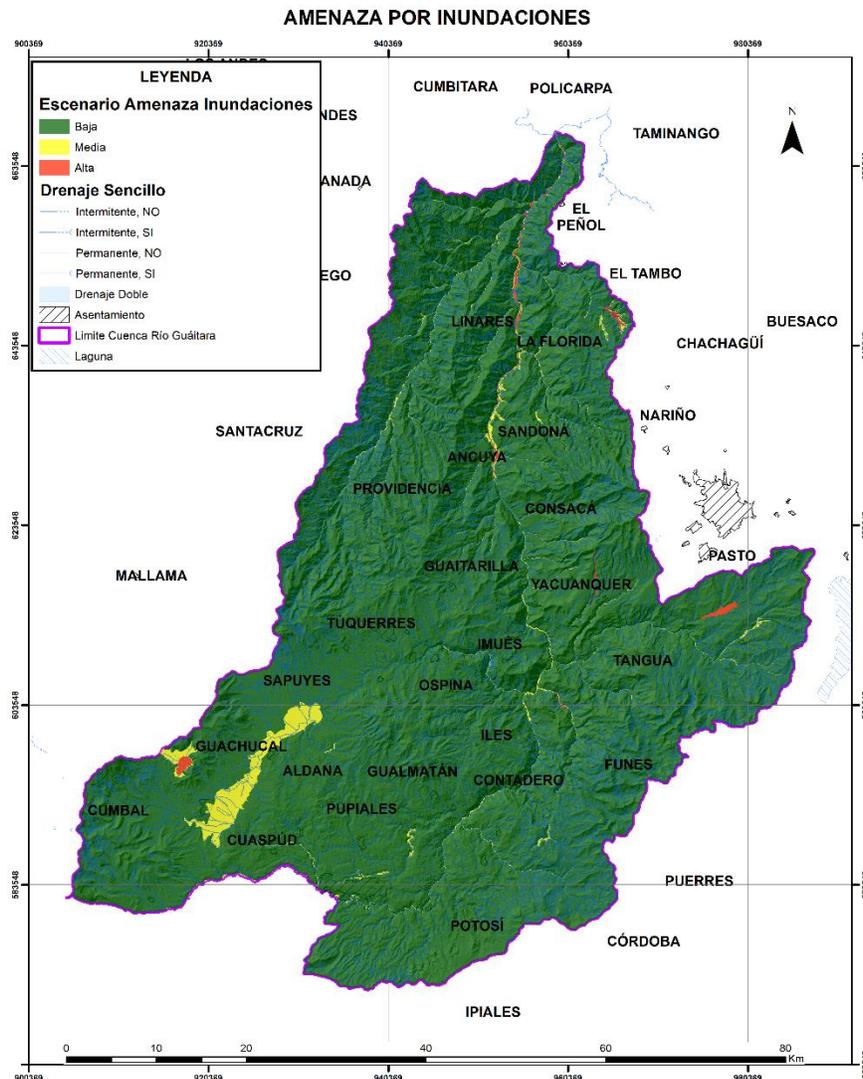
En virtud de la temporalidad de los eventos reportados por inundaciones se obtiene el Mapa de Amenaza a inundaciones para la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara (ver Figura 54), donde son clasificadas 1256,602186 hectáreas como zona de amenaza alta (representando un 0.34 % de la sub zona hidrográfica). En la sub zona hidrográfica, predominan de manera general las unidades del ambiente volcánico y denudacionales, pues su cercanía a volcanes, hacen que estos y la interacción de las corrientes fluviales con las geoformas de flujos, sierras y lomos en sus diferentes grados de

dissección modifiquen el relieve actual. En coherencia con lo anterior las subunidades de la región de planicies aluviales con subunidades como plano y llanura de inundación (Fpi), laguna (Flg) y planicie aluvial confinada (Fpac), las cuales poseen morfología baja y se ubican en cercanías a cauces fluviales y la subunidad geomorfológica de embalse (Aemb) son categorizadas como zonas de amenaza alta a inundaciones.

En general, las zonas de amenaza media abarcan aproximadamente 8787,882775 hectáreas (conformando el 2,41 % del área total de la sub zona hidrográfica). Los planos o llanuras de inundación (Fpi), planicie aluvial confinada (Fpac) y planicie y delta lacustrino (Fpla) son las subunidades de la región de planicies aluviales que presentan amenaza media por su morfología plana, cercanía a cauces fluviales y su composición de material aluvial.

Finalmente, hay 353600,5269 hectáreas (es decir el 97,23% del área total de la sub zona hidrográfica) categorizadas como zonas de amenaza baja, cubriendo la mayor parte de la subzona hidrográfica. Estas áreas están estas son muy cercanas a las áreas catalogadas con susceptibilidad baja a inundaciones y están principalmente relacionadas a regiones de serranías denudacionales, edificios volcánicos y serranías glaciadas.

Figura 54 Mapa de zonificación de la amenaza por inundaciones para la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara.



Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

NOTA: Al emplear esta metodología a una escala de trabajo 1:25.000 en las Cuencas Hidrográficas de los Ríos Guáitara (5205) y Juanambú (5204), se tiene que hay centros poblados categorizados con un grado de amenaza alta. Para estas áreas es importante recordar que de acuerdo a lo establecido en el Decreto 1807 de 2014 el cual se encuentra compilado en el Decreto 1077 de 2015 se tiene que:

- Parágrafo 4°. Si al momento de la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo de los planes de ordenamiento territorial o la expedición de un nuevo POT, se cuenta con un Plan de

Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas aprobado y el mismo incluye los análisis de amenazas, estos sirven de insumo para la elaboración de los estudios básicos en suelo rural.

- Para suelos urbanos, suelos de expansión urbana y centros poblados el análisis de la amenaza por inundaciones debe realizarse a una escala de trabajo 1:5.000, así mismo, se deben emplear los insumos de Modelo digital de terreno, Geomorfología, Identificación de zonas inundables e inundadas e Hidrología los cuales permiten determinar a una escala más detallada las características fisiográficas e hidrometeorológicas del área de estudio permitiendo así generar modelos que se ajusten más a la realidad de cada territorio.

Se hace la presente aclaración teniendo en cuenta que "...el Plane de Ordenación y Manejo de Cuenca Hidrográfica se constituye en norma de mayor jerarquía y determinante ambiental para la elaboración y adopción de planes de ordenamiento ambiental, de conformidad con lo dispuesto en el ARTICULO 10 DE LA Ley 388 de 1997. Una vez aprobado el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica en la que se localice uno o varios municipios, estos deberán tener en cuenta en sus propios ámbitos de competencia lo definido por el Plan, como norma de superior jerarquía, al momento de formular, revisar y/o adoptar el respectivo Plan de Ordenamiento territorial, con relación a la zonificación ambiental, el componente programático y el componente de gestión del riesgo.

Finalmente, la categorización de amenaza alta y media por inundaciones en las subzonas hidrográficas mencionadas se convierte en una potencialidad para promover el conocimiento, disminución y manejo de la gestión del riesgo de desastres a escalas de mayor detalle.

Recomendaciones finales:

- a. Necesidades de información (estudios detallados):
 - Considerando la importancia que tiene para el área el Río Guátara, 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.
 - 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 Guátara 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.
 - 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 zonas inundables para el modelamiento hidráulico de las zonas establecidas con amenaza media y alta.

- Tener 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.
 - Realizar estudios donde se detalle la geología, la geomorfología, los modelos de elevación digital e hidrogeológica, para poder prevenir futuros desastre por avenidas torrenciales e inundaciones.
- b. Espacios sociales efectivos:
- Teniendo en cuenta las condiciones de la zona, es imperante desarrollar este tipo de espacios en conjunto con las alcaldías municipales y entes territoriales en 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.

1.10 IDENTIFICACIÓN, CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FENÓMENOS AMENAZANTES Y EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL

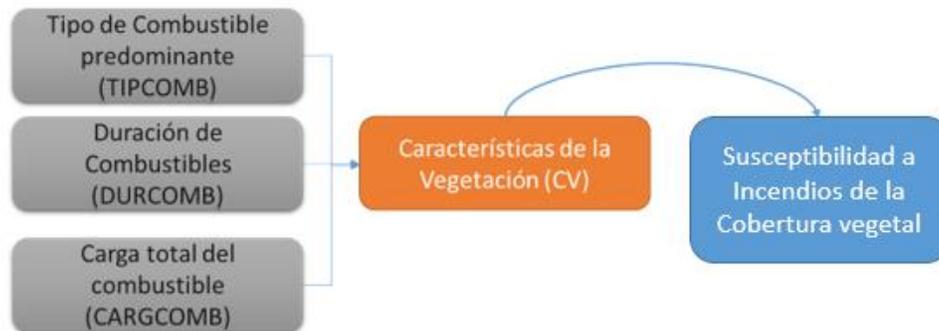
Los incendios de la cobertura vegetal constituyen uno de los más importantes eventos que afectan el medio ambiente, la economía y la seguridad de las comunidades, razón por la cual es indispensable la identificación de zonas de susceptibilidad y amenaza, así como las medidas de prevención, mitigación y concienciación 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 de la cobertura vegetal (MAVDT, 2010).

1.10.1 Descripción metodológica para obtener susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal

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 y Carga total de combustible. Las variables anteriores son tomadas según en el modelo de combustibles desarrollado para Colombia por Páramo, 2007 en (IDEAM, 2011)

Figura 55 Características de la vegetación en función a la susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal.



Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

1.10.2 Descripción de las variables de susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal

1.10.2.1 TIPO DE COMBUSTIBLE PREDOMINANTE (TIPCOMB)

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 A. d., 2011). (Ver Tabla 31).

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

Tabla 31. Indicador Tipo de Combustible Predominante.

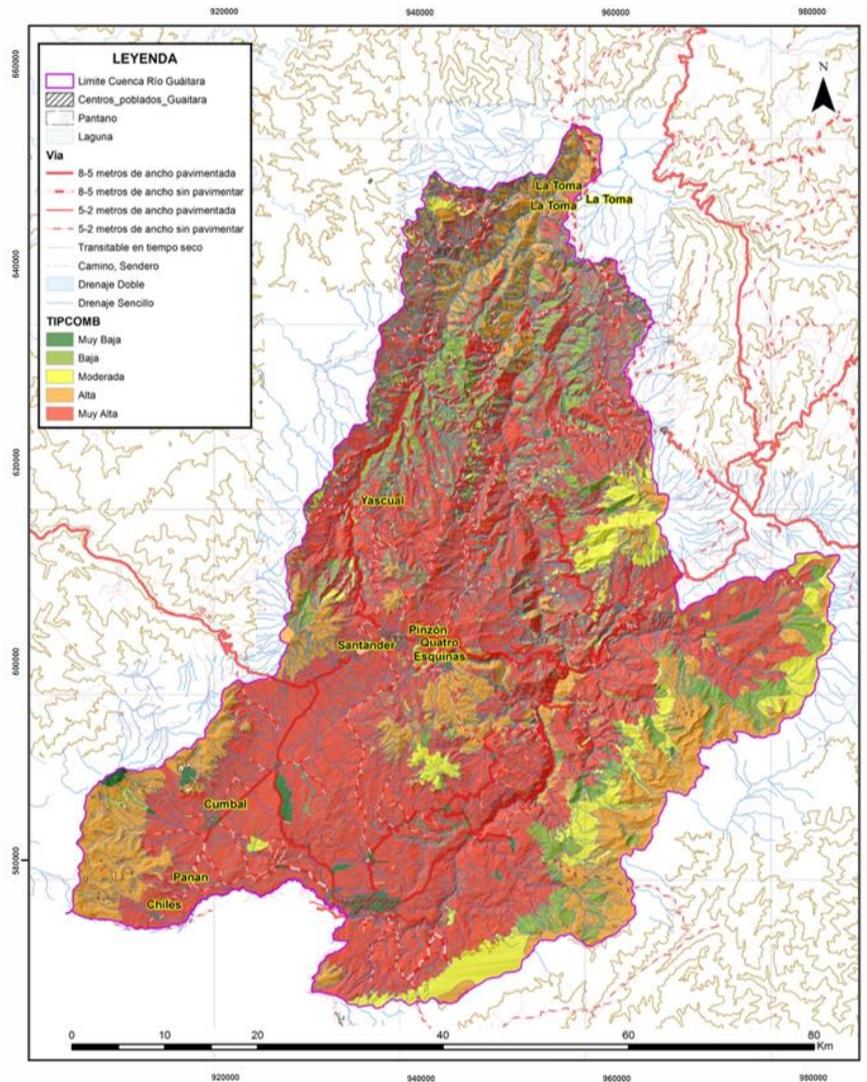
Clasificación CLC	TIPO DE COBERTURA (Corine LC Nivel 3)	Tipo de combustible predominante	Categoría de amenaza Tipo	Calificación Tipo
111	Tejido urbano continuo	No combustibles	Muy Baja	0,2
112	Tejido urbano discontinuo	No combustibles	Muy Baja	0,2
113	Vivienda rural nucleada	No combustibles	Muy Baja	0,2

Clasificación CLC	TIPO DE COBERTURA (Corine LC Nivel 3)	Tipo de combustible predominante	Categoría de amenaza Tipo	Calificación Tipo
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
211	Otros cultivos transitorios	Hierbas	Alta	0,8
224	Cultivos agroforestales	Pastos	Muy Alta	1
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	Muy Alta	1
311	Bosque denso	Árboles y arbustos	Baja	0,4
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

Clasificación CLC	TIPO DE COBERTURA (Corine LC Nivel 3)	Tipo de combustible predominante	Categoría de amenaza Tipo	Calificación Tipo
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
332	Afloramientos rocosos	No combustibles	Muy Baja	0,2
333	Tierras desnudas y degradadas	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

Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

Figura 56 Mapa de categorización según tipo de combustible para la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara



Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

En la Figura 56, las áreas de categorización muy alta a amenaza según tipo de combustible, abarcan un total de 221206 Ha (60,61%) predominando frente a las demás categorizaciones en la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara y distribuida a lo largo de toda el área. Dentro de esta categoría la cobertura de mosaicos de pastos y cultivos representa 117742 Ha (32,3 % del total de la cuenca) siendo la cobertura predominante en la cuenca que se distribuye espacialmente en tres franjas, una en la parte sur de la cuenca, la segunda de este a oeste en la parte media de la cuenca y la última se encuentra concentrada en la parte noreste de la cuenca. Las coberturas de pastos limpios (26417 Ha (7,2%)), Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (16116 Ha (4,4%)), mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos (15699 Ha (4,3%)) y mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbustivos (17727 Ha (4,9%)) son las más representativas de la categoría a amenaza muy alta según tipo de combustibles, después de los mosaicos de pastos y cultivos. A su vez las zonas que

se categorizan con amenaza alta según tipo de combustible, están ubicadas en la parte oeste-suroeste, centro, este y norte de la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara. En esta categoría predominan las coberturas de herbazal denso de tierra firme (28493 Ha (7,8%)), herbazal denso de tierra firme con arbustos (20552 Ha (5,6%)) y arbustal denso (7453 Ha (2%)). Estas categorías están condicionadas por factores de la vegetación como la humedad, cantidad, compactación, distribución horizontal y vertical, inflamabilidad y relación de combustibles vivos/muertos.

Las zonas con una amenaza moderada se encuentran distribuidas principalmente en la parte central, este y sureste de la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara abarcando 29176 Ha (8%) del área total de la cuenca, donde predominan los bosques densos altos de tierra firme (21195 Ha (5,8%)) y la vegetación secundaria alta (4086 Ha (1,1%)).

Las zonas de baja y muy baja amenaza según tipo de cobertura abarcan 47519 Ha (13%) distribuidas en toda la cuenca, asociadas principalmente a los cauces fluviales y a los centros poblados como Ipial, Cumbales, Puerres, entre otros, con coberturas como bosques fragmentados (12137 Ha (3,3%)) y bosques de galería o riparios (8063 Ha (2,2%)). Esta clasificación obedece principalmente a la humedad de la vegetación.

1.10.2.2 DURACIÓN DE LOS COMBUSTIBLES (DURCOMB)

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 A. d., 2011). (Ver Tabla 32)

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

Tabla 32. Indicador duración de los combustibles.

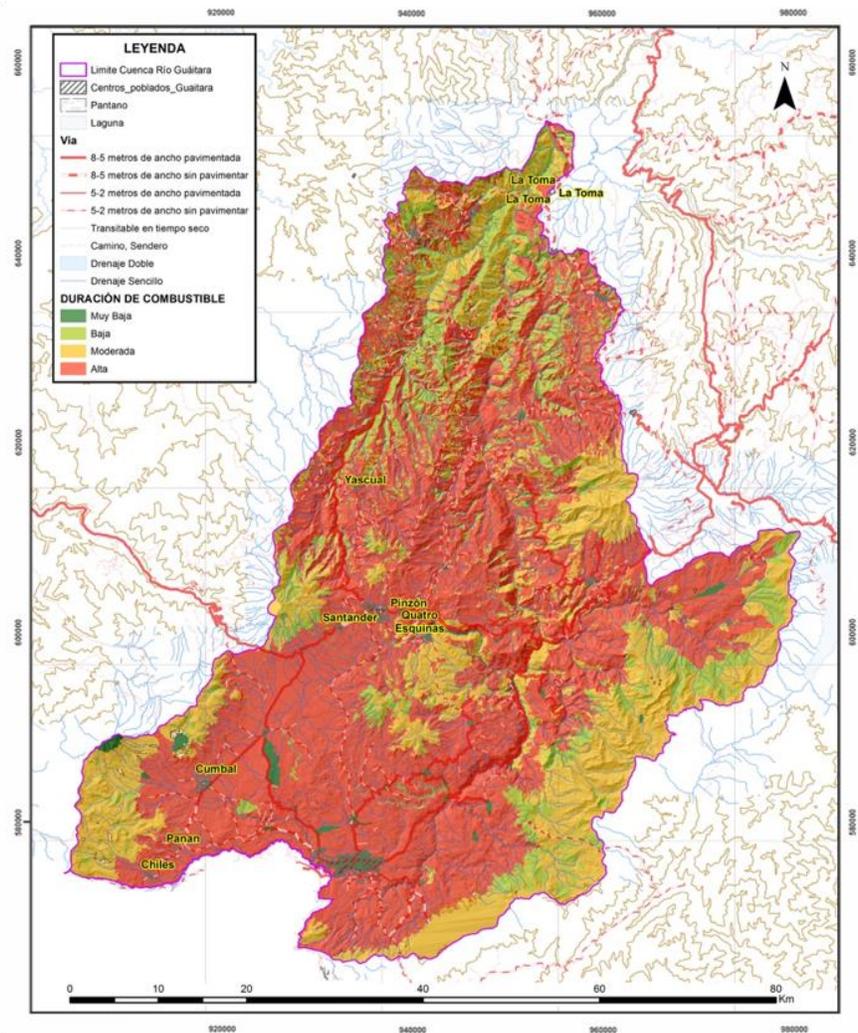
Clasificación CLC	TIPO DE COBERTURA (Corine LC Nivel 3)	Duración combustible predominante	del	Categoría de amenaza Durac	de	Calificación Durac
111	Tejido urbano continuo	No combustibles		Muy Baja		0,2
112	Tejido urbano discontinuo	No combustibles		Muy Baja		0,2
113	Vivienda nucleada rural	No combustibles		Muy Baja		0,2

Clasificación CLC	TIPO DE COBERTURA (Corine LC Nivel 3)	Duración del combustible predominante	Categoría de amenaza Durac	Calificación Durac
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
211	Otros cultivos transitorios	10 horas	Moderada	0,6
224	Cultivos agroforestales	1 horas	Alta	0,8
231	Pastos limpios	1 hora	Alta	0,8
232	Pastos Arbolados	1 hora	Alta	0,8
233	Pastos enmalezados	1 hora	Alta	0,8
241	Mosaico de cultivos	10 horas	Moderada	0,6
242	Mosaico de pastos y cultivos	1 hora	Alta	0,8
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
245	Mosaico de cultivos y espacios naturales	1 horas	Alta	0,8
311	Bosque denso	100 horas	Baja	0,4
312	Bosque abierto	100 horas	Baja	0,4
313	Bosque fragmentado	100 horas	Baja	0,4

Clasificación CLC	TIPO DE COBERTURA (Corine LC Nivel 3)	Duración del combustible predominante	Categoría de amenaza Durac	Calificación Durac
314	Bosque de galería y ripario	100 horas	Baja	0,4
315	Plantación forestal	100 horas	Baja	0,4
321	Herbazal	10 horas	Moderada	0,6
322	Arbustal	10 horas	Moderada	0,6
323	Vegetación secundaria o en transición alta	10 horas	Moderada	0,6
331	Zonas arenosas naturales	No combustibles	Muy Baja	0,2
332	Afloramientos rocosos	No combustibles	Muy Baja	0,2
333	Tierras desnudas y degradadas	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

Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

Figura 57 Mapa de categorización según la duración del combustible para la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara



Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

En la Figura 57 no se observan áreas categorizadas con una amenaza muy alta para incendios de la cobertura vegetal según duración del combustible en la Cuenca Hidrográfica del Río Guaitara. Las áreas categorizadas con una amenaza alta según duración del combustible abarcan 221206 Ha (60,6%) y se encuentran distribuidas a lo largo de toda la cuenca predominando las coberturas de pastos y cultivos, los cuales son clasificados como combustibles de una hora de duración, lo que significa que su quema se produce en una hora o menos, siendo estos combustibles de rápida ignición mucho más peligrosos debido a su dificultad a la hora de ser controlados y el impacto, en términos de área, es mucho mayor.

La categorización de amenaza moderada comprende 86227 Ha (23,6%) del área total de la Cuenca y se encuentra distribuida en el centro, suroeste, sureste y norte de la Cuenca. Las coberturas de esta categorización son principalmente bosques, herbazales y vegetación secundaria, clasificados todos

como combustibles de 10 horas de duración siendo combustibles que presentan una mayor resistencia a la ignición, por lo que su control es mucho más fácil y efectivo.

Las áreas de amenaza baja y muy baja ubicadas a lo largo de los cauces fluviales, centros poblados, y en la parte norte de la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara, comprenden 57530 Ha (15,8%). Son clasificados como combustibles de 100 horas de duración debido a la alta humedad intersticial de los tejidos, la alta área foliar y por estar generalmente localizados en zonas con alta humedad ambiental y del suelo (Parra Lara A. d., 2011)

1.10.2.3 CARGA TOTAL DE COMBUSTIBLE (CARGCOMB)

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 33)

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

Tabla 33. Indicador carga total del combustible

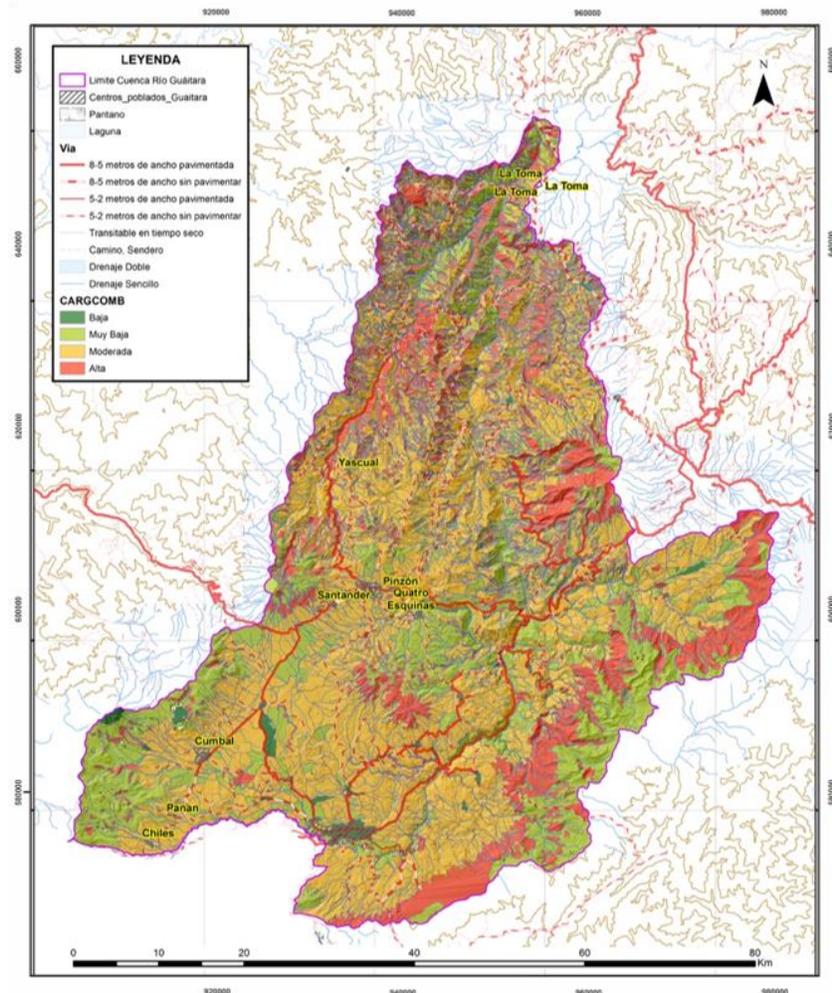
Clasificación CLC	TIPO DE COBERTURA (Corine LC Nivel 3)	Carga Total del combustible predominante	Categoría de amenaza Carga	Calificación Carga
111	Tejido urbano continuo	No combustibles	Muy Baja	0,2
112	Tejido urbano discontinuo	No combustibles	Muy Baja	0,2
113	Vivienda rural nucleada	No combustibles	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

Clasificación CLC	TIPO DE COBERTURA (Corine LC Nivel 3)	Carga Total del combustible predominante	Categoría de amenaza Carga	Calificación Carga
211	Otros cultivos transitorios	Baja (1-50 ton/ha)	Baja	0,4
224	Cultivos agroforestales	Baja (1-50 ton/ha)	Baja	0,4
231	Pastos limpios	Baja (1-50 ton/ha)	Baja	0,4
232	Pastos Arbolados	Baja (1-50 ton/ha)	Baja	0,4
233	Pastos enmalezados	Baja (1-50 ton/ha)	Baja	0,4
241	Mosaico de cultivos	Baja (1-50 ton/ha)	Baja	0,4
242	Mosaico de pastos y cultivos	Moderada (50-100 ton/ha)	Moderada	0,6
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
245	Mosaico de cultivos y espacios naturales	Moderada (50-100 ton/ha)	Baja	0,6
311	Bosque denso	Muy alta (más de 100 ton/ha)	Alta	0,8
312	Bosque abierto	Muy alta (más de 100 ton/ha)	Alta	0,8
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
315	Plantación forestal	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
321	Herbazal	Baja (1-50 ton/ha)	Baja	0,4
322	Arbustal	Moderada (50-100 ton/ha)	Moderada	0,6
323	Vegetación secundaria o en transición alta	Moderada (50-100 ton/ha)	Alta	0,6
331	Zonas arenosas naturales	No combustibles	Muy Baja	0,2
332	Afloramientos rocosos	No combustibles	Muy Baja	0,2
333	Tierras desnudas y degradadas	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

Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

Figura 58 Mapa de categorización según la carga total del combustible para la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara



Fuente: Consocio POMCA, 2015 053

En la Figura 58 no se evidencian áreas con una amenaza según carga de combustible muy alta. Las zonas categorizadas con una alta amenaza se encuentran distribuidas en el sector este y norte de la cuenca con un área de 77749 Ha (21,3%), compuesto de bosques abiertos, densos y fragmentados, y vegetación secundaria, controlados principalmente por la altura y biomasa de la vegetación presente. Existen 189509 Ha (51,9%) categorizadas como zonas de amenaza moderada en la Cuenca Hidrográfica del Río Guaitara, distribuidas a lo largo de toda la Cuenca, y se encuentra compuestas en su mayor por coberturas de mosaicos de cultivos y pastos, controlados por la cobertura de la vegetación la cual es el factor de la continuidad en el plano horizontal. (Parra Lara A. d., 2011).

Existen 97704 Ha (26,8%) categorizadas con una amenaza baja o muy baja según la carga total de combustible. Estas hectáreas se encuentran distribuidas a lo largo de toda la Cuenca Hidrográfica del Río Guaitara, concentrándose especialmente en en las inmediaciones de los cauces fluviales y los centros poblados, además de áreas ubicadas en el suroeste, sureste, central y norte. Las coberturas predominantes son los herbazales, los pastos y las zonas urbanas, debido al grado de compactación

y distribución especial (tanto en el plano horizontal como en el vertical) de la vegetación de dichas áreas.

Una vez realizada la calificación de la cobertura de la tierra a nivel tres de CORINE LAND COVER se procede a la realización de álgebra de mapas aplicando la fórmula propuesta para susceptibilidad propuesta por protocolo.

$$Sv = Cal(tc) + Cal(dc) + Cal(ctc) \text{ (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014)}$$

Donde:

Sv: Susceptibilidad de la vegetación

Cal (tc): Calificación del tipo de combustible.

Cal (dc): Calificación de duración

Cal (tc): Calificación de combustible.

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

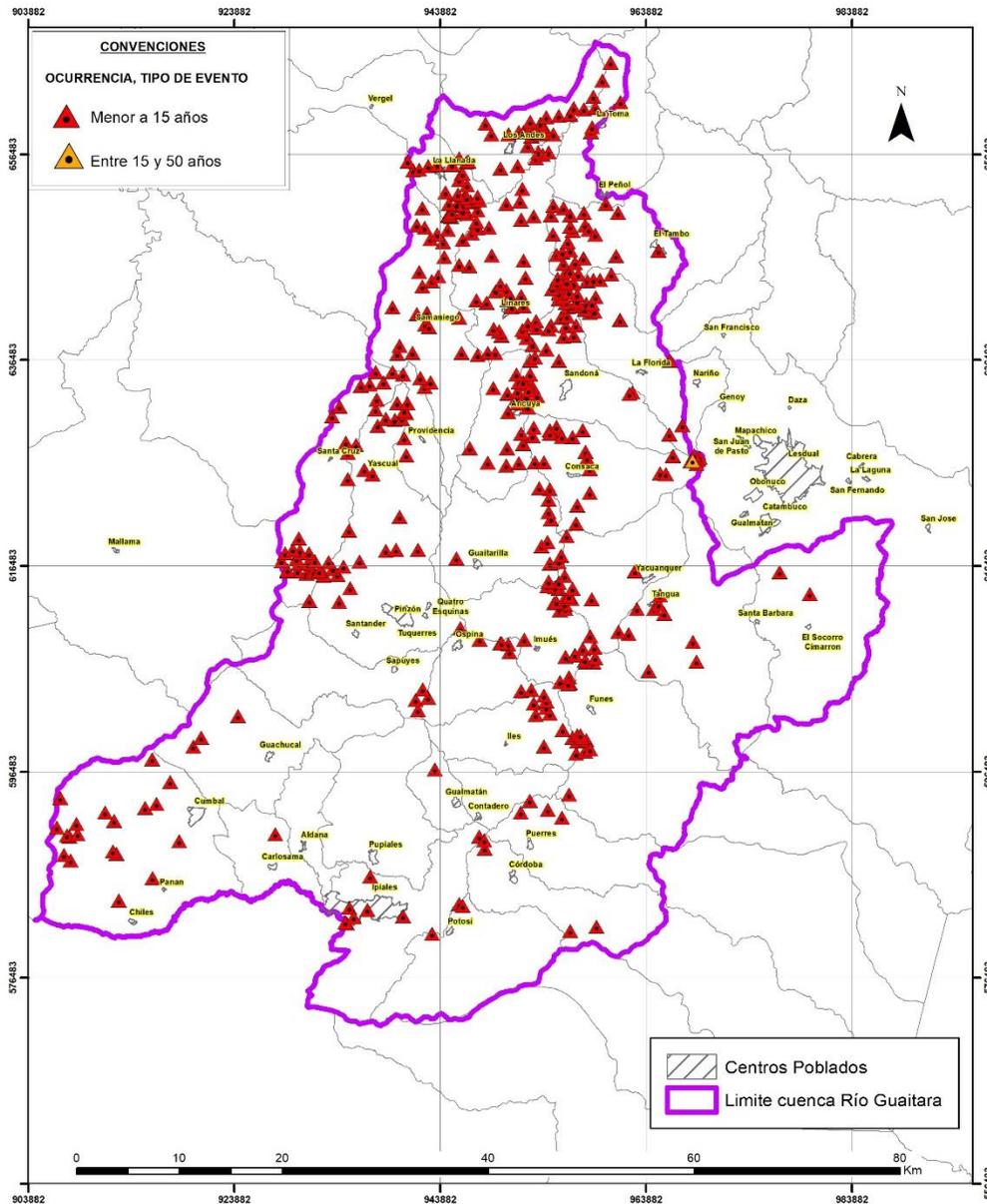
Está asociado con el inventario de incendios de la cobertura vegetal ubicados en la cuenca, y es la información base para la ponderación de variables que participan en el modelamiento de la susceptibilidad. (Ver Figura 59)

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 1.7 Caracterización histórica de amenazas y eventos amenazantes se detalla la recurrencia y frecuencia de este tipo de eventos al igual que su distribución espacial.

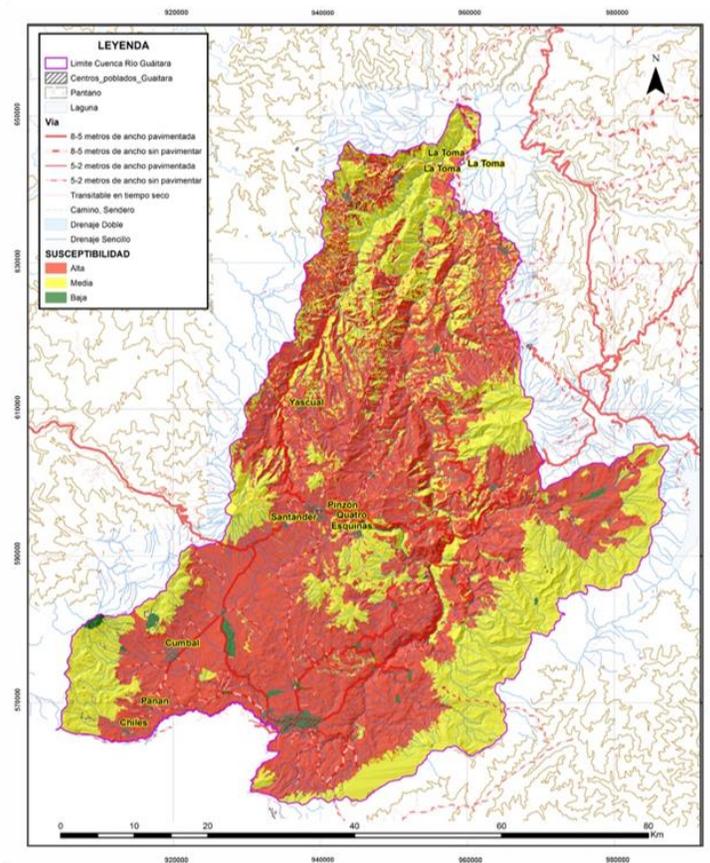
Figura 59 Incendios de la cobertura vegetal históricos para la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara.



Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

1.10.3 Análisis de la zonificación de la susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal

Figura 60 Mapa de Susceptibilidad de la vegetación a incendios de la cobertura vegetal para la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara.



Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

Para la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara se genera una zonificación de la susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal, ceñida por los diferentes eventos reportados y por las variables de tipo de combustible predominante, duración de los combustibles y carga total del combustible, determinando de esta forma la diferenciación entre sectores de susceptibilidad baja, sectores con susceptibilidad media y sectores con susceptibilidad alta.

El resultado del mapa de susceptibilidad de incendios de la cobertura vegetal (Figura 60) indica que las zonas más propensas (susceptibilidad alta) a eventos de ignición de la cobertura vegetal alcanzan 221086 hectáreas, ocupando así aproximadamente el 60,6% del área total de la Cuenca. Las coberturas que ocupan la mayor parte de está área son los mosaicos de cultivos y pastos, y los pastos, siendo extremadamente susceptibles por ser combustibles de fácil ignición, lo que impide un fácil control de los incendios de la cobertura vegetal. Además, presentan una amplia distribución en el

plano horizontal, y por lo general una baja humedad por lo que, al momento de presentarse un incendio de la cobertura vegetal, el fuego se expande mucho más rápidamente, afectando una mayor cantidad de hectáreas de la Cuenca.

Las zonas de susceptibilidad media, están compuestas de 135046 Ha (37%), distribuidas principalmente en las zonas sureste, suroeste, norte y centro de la Cuenca, predominando las coberturas de bosques en los bordes de la Cuenca y en el centro una zona de mosaicos de cultivos, esto, debido a la clasificación de los bosques como combustibles de 10 horas o 100 horas, lo que hace que el control de un posible incendio de la cobertura vegetal sea mucho más fácil de controlar, a su vez presentan una mayor humedad. (Parra Lara A. d., 2011).

Por ultimo las zonas de susceptibilidad baja abarcan un área de 8830 Ha (2,4%) asociados a los cauces fluviales, por su alta humedad principalmente, y al centro poblados, por su poca carga total de combustible.

1.10.4 Descripción metodológica para obtener amenaza por incendios de la cobertura vegetal

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 variable se procedió a la implementación de la amenaza mediante la metodología implementada por (IDEAM, 2011)

$$At = Sv * (0,17) + P * (0,25) + T * (0,25) + P * (0,03) + F * (0,05) + A * (0,03) (2)$$

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 de la cobertura vegetal.

1.10.5 Descripción de las variables de amenaza por incendios de la cobertura vegetal

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

1.10.5.1 TEMPERATURA (TEMP)

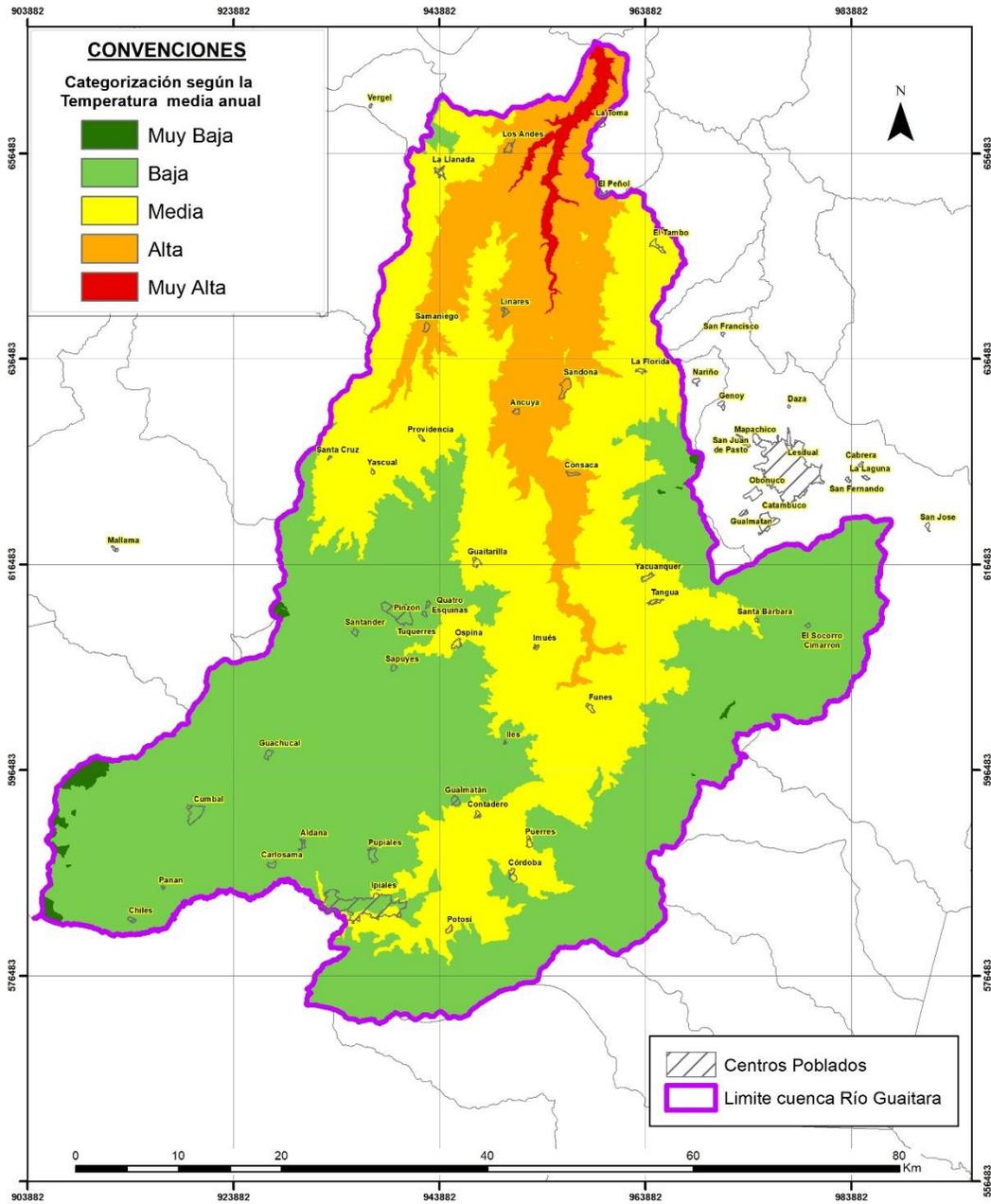
Las altas temperaturas presentan una importante relación con la ocurrencia de incendios (Moreno Rodríguez, Rodríguez-Urbieta, Zabala Espiñeira, & Martín, 2015), y es incluida dentro de la amenaza por participar como un factor detonante y corresponde a una característica cualitativa que mide el grado de calor. Esta variable tiene una alta importancia dentro de la susceptibilidad para incendios de la cobertura vegetal debido a que “las radiaciones térmicas producidas por su aumento, al llegar a una longitud de onda determinada, producen un fenómeno luminoso que se conoce como llama.” (Dirección General de Protección Civil y emergencias - España, s.f.). Esta variable se trabaja sobre la temperatura media anual de acuerdo con la disponibilidad de información. (Ver Tabla 34).

Tabla 34. Indicador 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

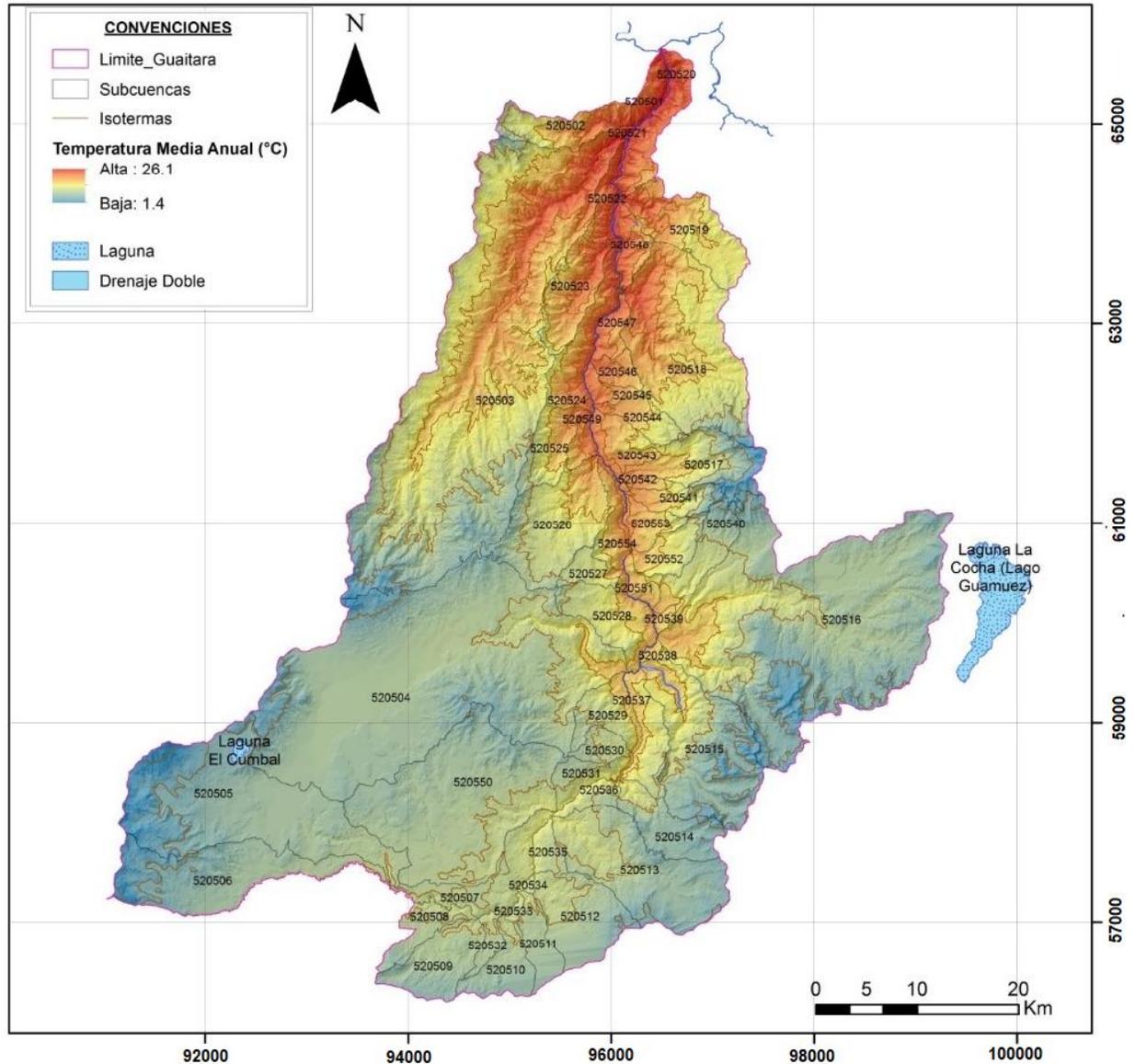
Fuente: (IDEAM, 2011)

Figura 61 Mapa de categorización según la temperatura media anual para la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara



Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

Figura 62 Isothermas, Distribución espacial de la temperatura media anual. Cuenca Hidrográfica del Río Guaitara



Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

Con respecto a esta variable se puede observar que el territorio se caracteriza por presentar variedad en las temperaturas donde se existen los cinco pisos térmicos (cálido, templado, frío, paramo bajo y paramo alto) y con ellos temperaturas promedio de 1.7 °C en las zonas altas y 33.2 °C en las zonas bajas. Esto influye de manera directa en la amenaza debido al comportamiento inverso entre la temperatura y las precipitaciones, lo que disminuye la humedad en la cobertura y favorece la fácil ignición, produciendo en las zonas más calientes, una mayor amenaza por incendios de la cobertura vegetal. Las zonas altas en la cuenca se encuentran ubicadas en los bordes este, oeste y sur de la cuenca, y a medida que se acerca al Río Guáitara y al norte de la cuenca, las temperaturas van

aumentando en una relación proporcional con la altura del terreno de la cuenca, ubicándose las mayores temperaturas en la zona más norte del territorio.

1.10.5.2 PRECIPITACIÓN

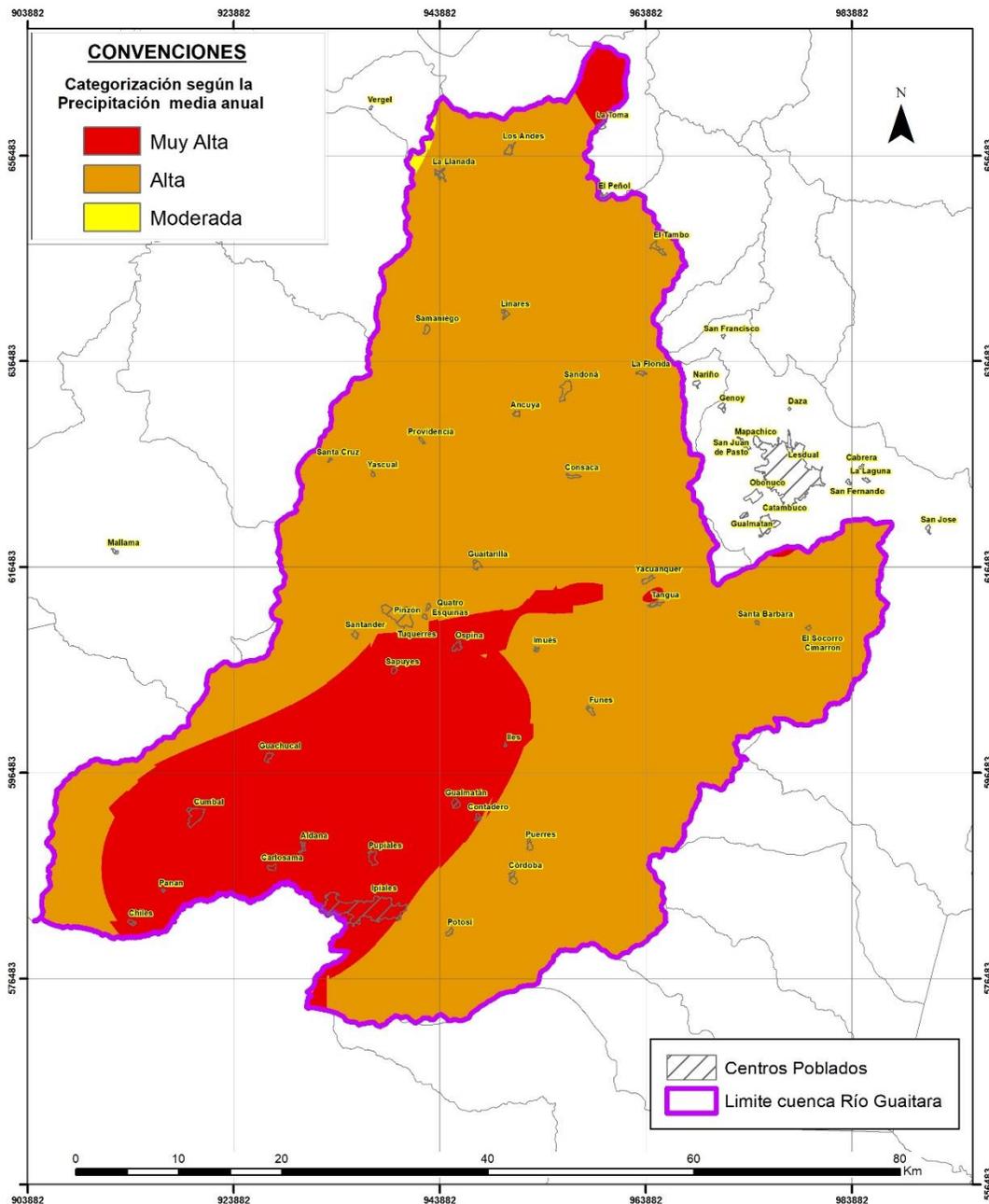
La precipitación es un factor determinante para la evaluación de amenazas, ya que este interviene directamente sobre la humedad y la cantidad de combustible presente. La humedad permite que una capa vegetal sea más o menos resistente a la generación de procesos de ignición, lo que implica una disponibilidad mayor de un combustible que sea de fácil ignición.

Tabla 35. 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

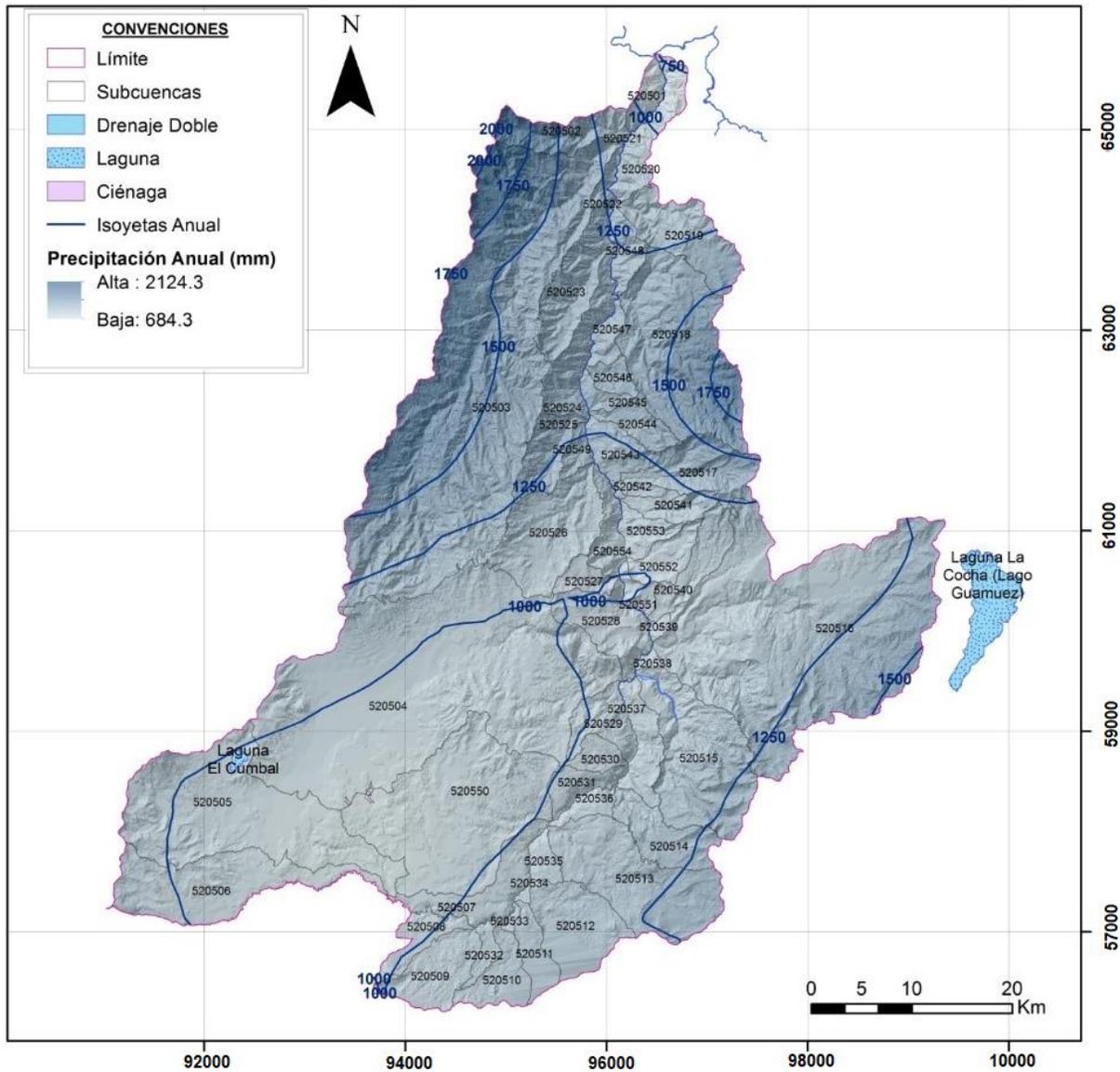
Fuente: (IDEAM, 2011)

Figura 63 Mapa de categorización según la precipitación media anual para la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara



Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

Figura 64 Isoyetas, Precipitación media anual Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara.



Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

La precipitación en la cuenca del Río Guaitara está dada principalmente por los ascensos de las columnas de aire húmedo al encontrarse con la cadena montañosa del macizo colombiano, generando con la subida una disminución en la temperatura de la columna, enfriándola hasta alcanzar el punto de condensación y con ello originando la precipitación, este fenómeno es clasificado como precipitación orográfica.

El régimen de lluvias normalmente presente en cuencas con estas características es de carácter Bimodal, es decir que hay presencia de dos periodos en el año con alta pluviosidad y dos periodos

con una pluviosidad reducida, de acuerdo a la información recabada los periodos de lluvias se dan entre los meses marzo a mayo y septiembre a noviembre, siendo el segundo periodo de lluvias el que presenta mayor pluviosidad en el año, los periodos de diciembre a febrero y junio a agosto son los de menor pluviosidad, entre estos dos el periodo más crítico es el segundo presentándose posiblemente déficits de agua.

Las zonas en donde ocurren la mayor cantidad de precipitaciones en la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara son las corrientes directas del Río Guáitara, Río Sapuyes, Río Bobo y Río Pascual, presentándose las mayores precipitaciones en el Volcán Galeras.

1.10.5.3 PENDIENTE

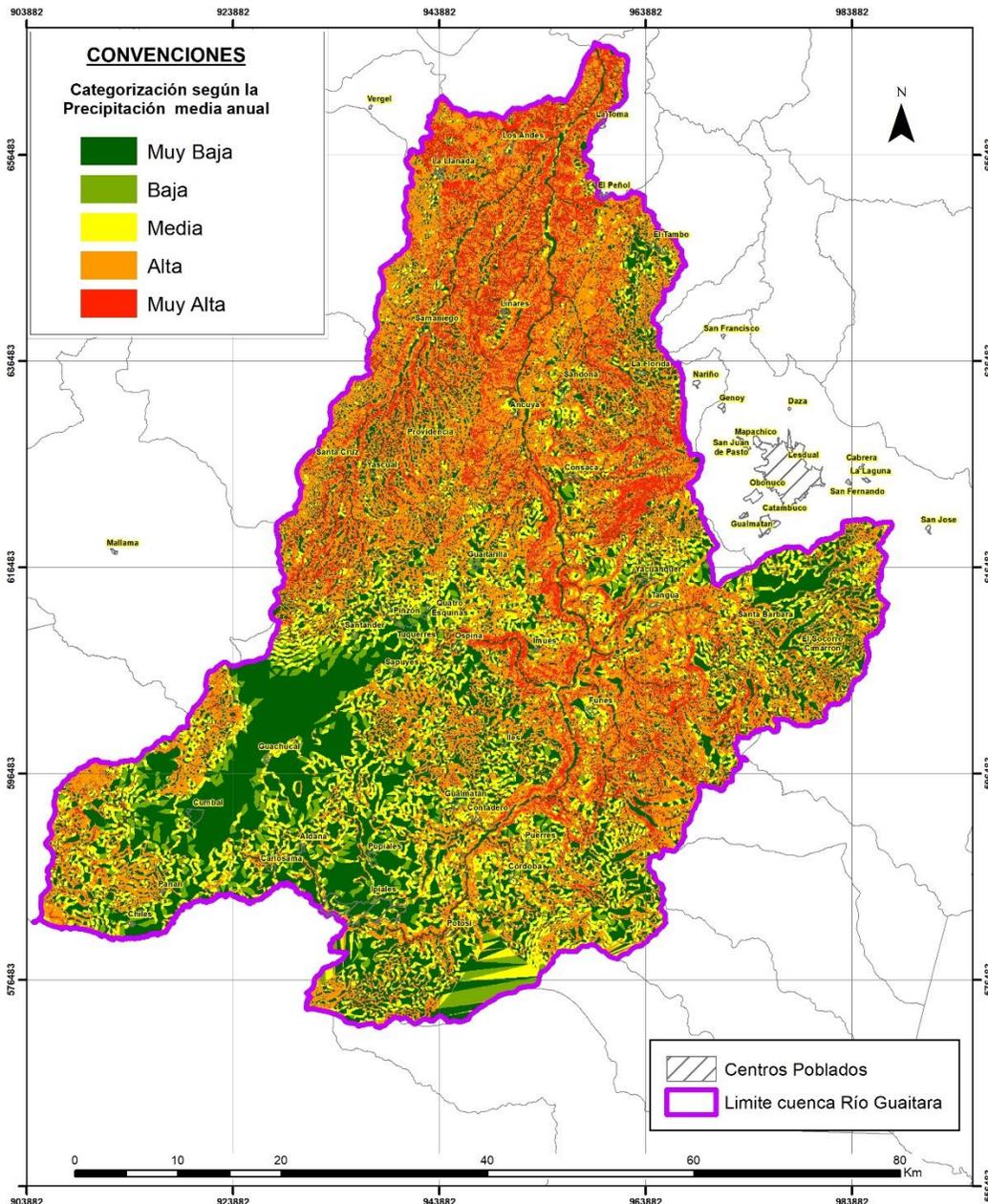
La propagación del fuego durante los incendios de la cobertura vegetal, aumenta con el ángulo que presente el terreno donde su propagación a favor de la pendiente, es mucho más peligrosa y ocurre en un menor tiempo. (IDEAM, 2011).

Tabla 36. 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

Fuente: (IDEAM, 2011)

Figura 65 Mapa de categorización según la pendiente media para la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara



Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

Las zonas más amenazadas (categoría muy alta), se encuentran en los municipios de La Llanada, Providencia, Contadero, Ospina, Ancuya, Los Andes, Iles, Imués, Puerres, Sandoná, Córdoba, Yacuanquer, Potosí, Santacruz, Sapuyes, Consacá, Pupiales, Linares, Guachucal, Ipiales, Samaniego, Pasto, Túquerres, Cumbal, Tangua, Fúnes, El Peñol, La Florida y El Tambo. Estas áreas ocupan 103.493 Ha (28.4%) de la Cuenca Hidrográfica del Río Guaitara, siendo las segundas zonas más predominantes del territorio.

Las áreas que presentan una amenaza alta son las zonas que más predominan en todo el territorio, abarcando 150987 Ha (41,5%), en los municipios de Gualmatán, La Llanada, Providencia, Cuaspud, Contadero, Aldana, Ospina, Ancuya, Los Andes, Iles, Imués, Puerres, Sandoná, Córdoba, Yacuanquer, Potosí, Santacruz, Guaitarilla, Sapuyes, Consacá, Pupiales, Linares, Guachucal, Ipiales, Samaniego, Pasto, Túquerres, Tangua, Fúnes, El Peñol, La Florida y El Tambo.

En el rango de la categoría de amenaza muy baja y baja se encuentran 59718 Ha (16,4%), distribuidas en los municipios de Gualmatán, Cuaspud, Contadero, Aldana, Ospina, Los Andes, Iles, Imués, Puerres, Sandoná, Córdoba, El Tambo, Yacuanquer, Potosí, Guaitarilla, Sapuyes, Consacá, Pupiales, Linares, Guachucal, Ipiales, Tangua, Fúnes, Túquerres y Cumbal. Mientras que las zonas con una categoría de amenaza media ocupan 46418 Ha (12,75%) del área, y se ubica en los municipios de Gualmatán, Providencia, Cuaspud, Contadero, Aldana, Ospina, Ancuya, Iles, Imués, Puerres, Sandoná, Córdoba, Yacuanquer, Potosí, Santacruz, Guaitarilla, Sapuyes, Consacá, Pupiales, Linares, Guachucal, Ipiales, Samaniego, Pasto, Tangua, Fúnes, Túquerres y Cumbal.

1.10.5.4 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), constituyendo fuentes importantes de ignición para la generación de incendios.

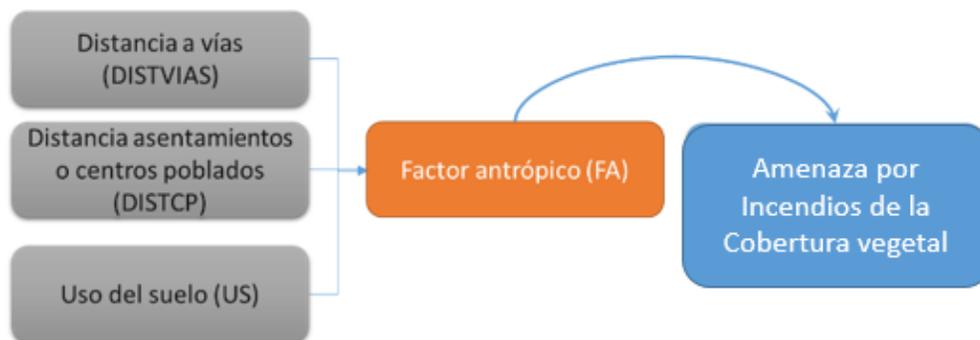
En la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara, la población se concentra en el área sur, en el Municipio de Ipiales, seguido muy de lejos por los municipios de Túquerres, Samaniego y Sandoná. En el territorio es importante el factor económico ligado al comercio y artesanías, que traen consigo el turismo a la región. Esto es fundamental ya que, a mayor desarrollo económico a causa del turismo, se presenta también una mayor amenaza debido a la posible presencia de fogatas, u otros tipos de focos de ignición. Por esto en el presente estudio 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. El área es determinada mediante la obtención de la densidad vial de acuerdo con la influencia que esta presenta para cada pixel, adicionalmente se tiene en cuenta el tipo de vía, asignándole un peso de 5 a las de más alta categoría y disminuyendo una unidad por cada tipo. Este factor se considera parte de la amenaza, debido a que aumenta la probabilidad de que la población pueda llegar a las áreas de cobertura vegetal y generar focos de incendio.

- Formato: Vector tipo polígono.

- Fuente: IGAC escala 25.000.

Figura 66 Factor antrópico en función de la amenaza por incendios de la cobertura vegetal.



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 (VerTabla 37).

Formato: Vector tipo polígono.

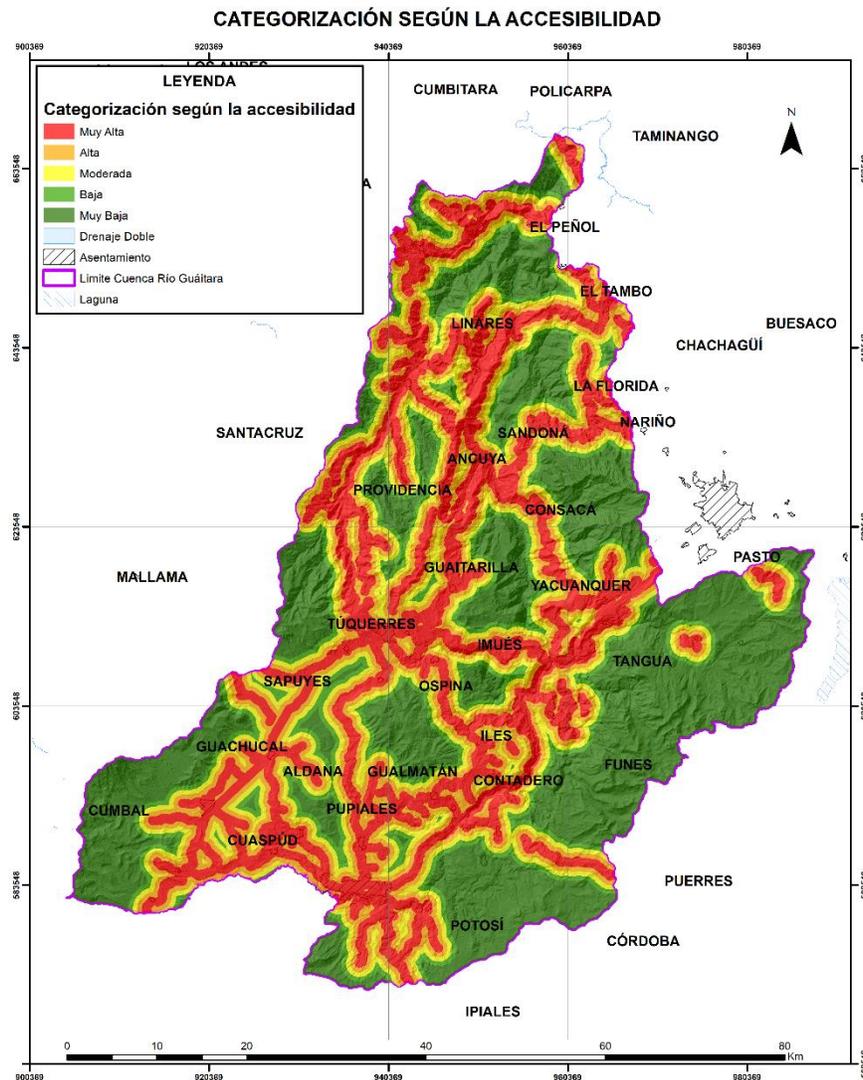
Fuente: IGAC escala 25.000.

Tabla 37. 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
1500 – 2000	BAJA	2
Más de 2000	MUY BAJA	1

Fuente: (IDEAM, 2011)

Figura 67 Mapa de categorización según la accesibilidad para la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara.



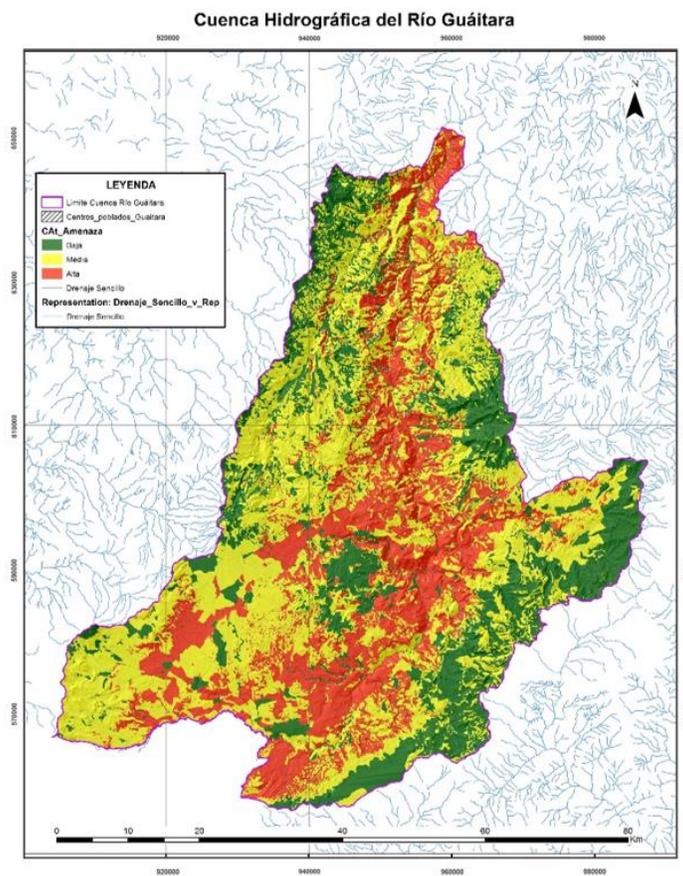
Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

En el área de la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara predominan importantes vías tipo 1 como la Panamericana que comunica la ciudad de San Juan de Pasto con Ipiales, Pasto-Yacuanquer-Túquerres, Ipiales-Guachucal-Túquerres y Túquerres-Samaniego, entre otras. Seguido a estas vías, en predominancia, se encuentran las vías tipo 4 que se encargan de comunicar las cabeceras municipales como Ipiales-Potosí-Puerres, Gualmatán-Túquerres, Ipiales-Chiles, Túquerres-Ancuya-Linares y Ancuya-Pasto, entre otras. Estas vías al permitir el fácil acceso a ciertas áreas del territorio, presentan

una mayor amenaza, en especial en la parte sur de la cuenca, donde se observa la mayor concentración de las grandes vías tipo 1.

1.10.6 Análisis de la zonificación de la amenaza por incendios de la cobertura vegetal

Figura 68 Mapa de Amenaza a incendios de la cobertura vegetal para la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara.



Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

Para la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara se genera una zonificación de la amenaza por incendios de la cobertura vegetal, ceñida por los diferentes eventos reportados, las variables de temperatura y condiciones climáticas, la susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal y el factor antropogénico basado en las distancias a vías, determinando de esta forma una diferenciación entre sectores de amenaza baja, amenaza media y sectores con amenaza altas a incendios de la capa vegetal.

Como resultado se obtiene un mapa de amenaza de incendios de la cobertura vegetal (Figura 68), en el cual se observa que las zonas con la amenaza más alta a incendios de la cobertura vegetal son las

condicionadas por la temperatura, alcanzando los 33 °C, y ubicados en la parte más norte de la Cuenca, donde a su vez se presentan las alturas más bajas del territorio, por lo que el índice de precipitación es mucho menor, haciendo que la cobertura vegetal sea de fácil ignición. Además, estas áreas también se encuentran localizadas en cercanías a las vías y, por ende, a la intervención antrópica de centros poblados como Consacá, Acunayá, Sandoná, Santa Cruz, Linares, Samaniego, El Peñol, Sotomayor y Yacuanquer, ocupando 101601 Ha (27,83%) del área total de la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara.

Las zonas de amenaza media a incendios de la cobertura vegetal alcanzan el 47,11% del área de la cuenca (171946 Ha) siendo las más predominantes. Estas áreas se ubican en los bordes este y oeste de la cuenca, donde se ven fuertemente influenciados por las pendientes que se presentan en las morfologías de montaña. En la Figura 68 se observa además un área en el centro de la cuenca, clasificada a su vez como zona de amenaza media a incendios de la cobertura vegetal, controlada por el tipo de combustible identificado mediante las coberturas, (principalmente pastos y cultivos) y la duración del combustible, catalogados como combustibles de 1 hora.

Por último, se observa un área de 91415 Ha (25,05%) distribuida en tres zonas. La primera a lo largo de los cauces fluviales, donde debido a su alta humedad presenta esta categorización, la segunda en los centros poblados donde la poca carga total de combustible controla esta categorización, y la tercera zona ubicada en el sur de la cuenca, es controlada por las pendientes poco inclinadas y por la temperatura presentada debido a la altitud de la parte alta de la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara.

Recomendaciones Finales

- Con el fin de poder llevar a cabo un mayor control y un mejor modelamiento de los incendios de la cobertura vegetal, se recomienda llevar un control detallado de los incendios de la cobertura vegetal que se presenten en la zona. Es importante que se haga una georeferenciación 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.
- Dadas las características de la cobertura vegetal, la presencia de hojas, tallos y helechos secos, contribuyen a la ocurrencia de incendios de la cobertura vegetal, 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.
- 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.

A pesar de que no todas las actividades antrópicas relacionadas con la ocurrencia de incendios de la cobertura vegetal 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, demasiado a menudo, estos se producen y entonces entran en juego los equipos de extinción para apagar el fuego. La cuenca del Río Guátara, 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.

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

1.11.1 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 del Río Guáitara.

1.11.2 Introducción

La Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara está compuesta por cuerpos de agua lóticos (dentro de los que se destacan el cauce principal del Río Guáitara, Río Téllez, Río Blanco, Río Bobo, Quebrada Sarmientos, Quebrada Pescadillo, Quebrada Pinzón, Quebrada Peña Flor, Quebrada Potrerillo, Quebrada Frontales, Quebrada Chapuesmal, Quebrada La Ruidosa y Quebrada Boquerón) y cuerpos de agua lenticos (como lagunas y embalses). Pertenecen a la sub zona hidrográfica de orden 2, mostrando un dinamismo que está estrechamente relacionado con la litología, el relieve y las características estructurales del área.

Es así como en las regiones con un índice de relieve mayor, presentan laderas escarpadas con tributarios de mediana y alta densidad (cuyos mayores valores se adoptan hacia el este y suroeste del área), los cuales generan una erosión uniforme (rebajando las partes con mayor índice de relieve), y aportando progresivamente (ladera abajo) agua y sedimentos, formando un patrón de drenaje dendrítico en las partes altas y medias de la cuenca, paralelo en la parte baja de la cuenca y radial centrífugo en los alrededores de las cumbre cónicas de los volcanes, cuyas propiedades podrán ser consultadas en mayor detalle en los capítulos Hidrografía y Morfometría de la caracterización Biofísica de la cuenca.

1.11.3 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 sub cuenca y/o microCuenca Hidrográfica identificada y caracterizada dentro de la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara.

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 los siguientes pasos:

1. El índice de Melton se calculó para las subcuencas que conforman la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara 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 susceptibles 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.

2. 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:

Tabla 38. 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)

2.1. 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. (Tabla 39)

Tabla 39. Relaciones para categorías de índices morfométricos

Índice morfométrico	Escala	Área de la cuenca de drenaje (km²)	Categorías				
			1	2	3	4	5
Densidad de drenaje (km/km2)	1:10.000	<15	<1,50	1,51 – 2,00	2,01 – 2,50	2,51 – 3,00	> 3
	1:25.000	16 a 50	<1,20	1,21 – 1,80	1,81 – 2,00	2,01 – 2,50	> 2,5
	1:100.000	>50	<1,00	1,01 – 1,50	1,51 – 2,00	2,01 – 2,50	> 2,5
			Baja	Moderada	Moderada Alta	Alta	Muy Alta
Pendiente media de la cuenca (%)	1:10.000	<15	<20	21 – 35	36 – 50	51 – 75	>75
	1:100.000	>50	<15	16 – 30	30 – 45	46 – 65	>65
			Accidentado	Fuerte	Muy Fuerte	Escarpado	Muy Escarpado
Coeficiente de compacidad			<1,625	1,376 -1,500	1,251- 1,375	1,126 – 1,250	1,00 – 1,125
			Oval-oblonga a rectangular-oblonga	Oval-redonda a oval-oblonga	Casi redonda a oval-redonda		

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

2.2. 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.

El índice de variabilidad (IV) se estima así:

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

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 40. 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)

3. El IVET es el resultado de una matriz de decisión entre la categorización del índice morfométrico y la categorización del índice de variabilidad.
4. 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.

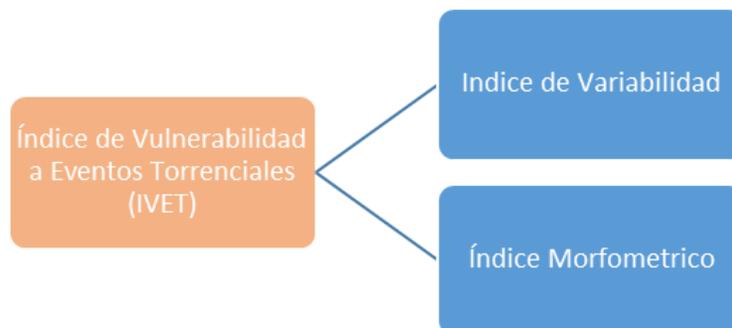
1.11.4 Variables de susceptibilidad a avenidas torrenciales

1.11.4.1 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 69 Índices implícitos en el cálculo del índice de variabilidad a eventos torrenciales.



Fuente: IDEAM, (2013)

1.11.4.1.1 Índice Morfométrico

El índice morfométrico es la relación entre los parámetros como el coeficiente de forma, la pendiente media de la cuenca, y la densidad de drenaje, factores que condicionan la concentración de la escorrentía, la posibilidad de infiltración, la capacidad de arrastre de sedimentos y la rapidez con la que la escorrentía y los sedimentos son capaces de salir de la cuenca después de un evento de precipitación. (Rivas & Soto, 2009 en IDEAM (2013)).

Tabla 41. Índice morfométrico para la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara

CODIGO U.H.	NOMBRE	DENSIDAD RED DE DRENAJE (KM/KM2)	PENDIENTE MEDIA (%)	COEFICIENTE DE COMPACIDAD (KC)		Categoría Índice Morfométrico.
5205	Río Guátara	2,365	32,67	1,81	Rectangular - muy lobuladas	Moderada
520501	Dir. R. Guátara entre Q. Piscocayo y R. Patía (md)	1,807	59,81	1,47	Oval redonda a oval oblonga	Alta
520502	Q. Piscocayo	2,851	61,62	1,70	Oval oblonga a rectangular	Muy Alta
520503	Río Pacua	2,829	47,20	1,92	Rectangular - muy lobuladas	Alta
520504	Río Sapuyes	2,103	17,39	1,72	Oval oblonga a rectangular	Moderada
520505	Río Blanco	1,950	16,28	1,84	Rectangular - muy lobuladas	Moderada
520506	Dir. R. Guátara entre R. Chiles y R. Blanco (md)	1,754	18,03	2,26	Rectangular - muy lobuladas	Moderada

CODIGO U.H.	NOMBRE	DENSIDAD RED DE DRENAJE (KM/KM2)	PENDIENTE MEDIA (%)	COEFICIENTE DE COMPACIDAD (KC)		Categoría Índice Morfométrico.
520507	Dir. R. Guátara entre R. Blanco y R. Boquerón (md)	0,261	19,75	2,47	Rectangular - muy lobuladas	Muy Baja
520508	Dir. R. Guátara entre Q. Pulcas y Q. El Rosario(mi)	1,812	17,05	2,32	Rectangular - muy lobuladas	Moderada
520509	Q. El Rosario	2,002	19,03	1,43	Oval redonda a oval oblonga	Moderada
520510	Q. Frontales	1,706	17,41	1,64	Oval oblonga a rectangular	Moderada
520511	Q. Guamuesquer	0,849	11,75	1,64	Oval oblonga a rectangular	Muy Baja
520512	Río Chiguaco	1,673	17,39	1,35	Oval redonda a oval oblonga	Moderada
520513	Río Tescual	3,180	21,52	1,59	Oval oblonga a rectangular	Muy Alta
520514	Río Angasmayo	3,688	28,77	1,81	Rectangular - muy lobuladas	Muy Alta
520515	Río Téllez	3,163	44,49	1,53	Oval oblonga a rectangular	Muy Alta
520516	Río Bobo	2,770	30,29	1,65	Oval oblonga a rectangular	Alta
520517	Río Azufral	2,811	54,17	1,99	Rectangular - muy lobuladas	Muy Alta
520518	Río Salado	2,386	44,28	1,47	Oval redonda a oval oblonga	Alta
520519	Río Molinoyaco	3,048	41,39	1,63	Oval oblonga a rectangular	Muy Alta
520520	Dir. R. Guátara entre R. Molinoyaco y R. Patía (mi)	4,576	59,51	2,03	Rectangular - muy lobuladas	Muy Alta
520521	Dir. R. Guátara entre R. Pacua y Q. Piscoyaco (md)	0,749	49,05	1,56	Oval oblonga a rectangular	Baja
520522	Dir. R. Guátara entre R. Guayambur y R. Pacua (md)	1,989	61,92	1,90	Rectangular - muy lobuladas	Moderada
520523	Río Guayambur	2,424	60,81	1,67	Oval oblonga a rectangular	Alta

CODIGO U.H.	NOMBRE	DENSIDAD RED DE DRENAJE (KM/KM2)	PENDIENTE MEDIA (%)	COEFICIENTE DE COMPACIDAD (KC)		Categoría Índice Morfométrico.
520524	Dir. R. Guáitara entre R. Papayal y R. Guayambur (md)	1,436	58,71	2,24	Rectangular - muy lobuladas	Moderada
520525	Río Papayal	2,414	53,05	1,55	Oval oblonga a rectangular	Alta
520526	Q. El Salto	2,229	33,10	1,62	Oval oblonga a rectangular	Moderada
520527	Q. El Rosal	2,374	34,22	1,55	Oval oblonga a rectangular	Moderada
520528	Dir. R. Guáitara entre R. Sapuyes y Rosal (md)	2,021	38,05	1,62	Oval oblonga a rectangular	Alta
520529	Dir. R. Guáitara entre Q. Humeadora y R. Sapuyes (md)	1,273	37,03	1,71	Oval oblonga a rectangular	Moderada
520530	Q. Humeadora	2,144	20,63	1,40	Oval redonda a oval oblonga	Alta
520531	Dir. R. Guáitara entre R. Boquerón y (md)	1,306	39,00	1,71	Oval oblonga a rectangular	Moderada
520532	Dir. R. Guáitara entre Q. El Rosario y Q. Frontales(mi)	1,464	18,30	1,95	Rectangular - muy lobuladas	Baja
520533	Dir. R. Guáitara entre Q. Frontales y Q. Guamuesquer(mi)	0,000	31,56	1,88	Rectangular - muy lobuladas	Baja
520534	Dir. R. Guáitara entre Q. Guamuesquer y R. Chiguaco(mi)	4,641	29,52	1,47	Oval redonda a oval oblonga	Muy Alta
520535	Dir. R. Guáitara entre R. Chiguaco y R. Tescual (mi)	2,389	23,50	1,45	Oval redonda a oval oblonga	Alta
520536	Dir. R. Guáitara entre R. Tescual y R. Angasmayo (mi)	2,528	40,79	1,76	Rectangular - muy lobuladas	Alta
520537	Dir. R. Guáitara entre R. Angasmayo y R. Téllez (mi)	2,921	42,17	1,99	Rectangular - muy lobuladas	Alta
520538	Dir. R. Guáitara entre R. Téllez y R. Bobo (mi)	0,482	46,36	1,54	Oval oblonga a rectangular	Baja
520539	Dir. R. Guáitara entre R. Bobo y Q. Tasnaque (mi)	2,261	42,90	1,43	Oval redonda a oval oblonga	Alta
520540		2,106	28,50	1,79	Rectangular - muy lobuladas	Moderada

CODIGO U.H.	NOMBRE	DENSIDAD RED DE DRENAJE (KM/KM2)	PENDIENTE MEDIA (%)	COEFICIENTE DE COMPACIDAD (KC)		Categoría Índice Morfométrico.
520541	Río Cariaco	2,930	58,16	1,66	Oval oblonga a rectangular	Muy Alta
520542	Dir. R. Guáitara entre R. Cariaco y R. Azufral (mi)	2,622	29,92	1,85	Rectangular - muy lobuladas	Alta
520543	Dir. R. Guáitara entre R. Azufral y Q. Honda (mi)	0,724	42,52	1,47	Oval redonda a oval oblonga	Baja
520544	Q. Honda	2,003	40,32	1,55	Oval oblonga a rectangular	Alta
520545	Dir. R. Guáitara entre y Q. Saraconcho (mi)	2,901	35,06	1,96	Rectangular - muy lobuladas	Alta
520546	Q. Saraconcho	2,279	35,92	1,43	Oval redonda a oval oblonga	Alta
520547	Dir. R. Guáitara entre y R. Salado (mi)	3,344	52,05	1,61	Oval oblonga a rectangular	Muy Alta
520548	Dir. R. Guáitara entre R. Salado y R. Molinoyaco (mi)	2,384	61,01	1,69	Oval oblonga a rectangular	Alta
520549	Dir. R. Guáitara entre Q. El Salto y R. Papayal (md)	4,224	50,15	1,49	Oval redonda a oval oblonga	Muy Alta
520550	Río Boquerón	1,722	14,48	1,56	Oval oblonga a rectangular	Moderada
520551	Dir. R. Guáitara entre y Q. Ahumada (mi)	1,309	51,34	1,57	Oval oblonga a rectangular	Moderada
520552	Q. Ahumada	1,317	35,06	1,52	Oval oblonga a rectangular	Moderada
520553	Dir. R. Guáitara entre y R. Cariaco (mi)	2,277	44,07	1,50	Oval oblonga a rectangular	Alta
520554	Dir. R. Guáitara entre Q. El Rosal y Q. El Salto (mi)	1,485	60,91	1,89	Rectangular - muy lobuladas	Moderada
52050201	Q. El Cedro	5,085	51,07	1,26	Oval redonda a oval oblonga	Muy Alta
52050301	Q. San Pedro (Q. El Cucho)	2,734	51,69	1,51	Oval oblonga a rectangular	Muy Alta
52050302	Q. Cartagua (Q. Murciélagos)	2,384	57,22	1,48	Oval redonda a oval oblonga	Alta

CODIGO U.H.	NOMBRE	DENSIDAD RED DE DRENAJE (KM/KM2)	PENDIENTE MEDIA (%)	COEFICIENTE DE COMPACIDAD (KC)		Categoría Índice Morfométrico.
52050303	Q. Alcuayaco	2,303	37,64	1,30	Oval redonda a oval oblonga	Alta
52050304	Q. La Inga	5,571	35,42	1,45	Oval redonda a oval oblonga	Muy Alta
52050305	Q. Honda	2,450	40,39	1,38	Oval redonda a oval oblonga	Alta
52050306	Q. Caparrosa	4,034	40,42	1,58	Oval oblonga a rectangular	Muy Alta
52050307	Río Pascual	2,344	38,94	1,74	Oval oblonga a rectangular	Alta
52050308	Río Guadrauma	2,514	43,56	1,63	Oval oblonga a rectangular	Alta
52050309	Río San Juan O Q. El Canal	2,414	46,01	1,67	Oval oblonga a rectangular	Alta
52050310	Q. La Burrera	2,330	62,10	1,33	Oval redonda a oval oblonga	Alta
52050311	Q. La Hoja	3,189	63,21	1,27	Oval redonda a oval oblonga	Muy Alta
52050401	Q. Pinzón	1,657	17,43	2,21	Rectangular - muy lobuladas	Moderada
52050402	Q. Los Molinos	1,586	14,40	1,53	Oval oblonga a rectangular	Moderada
52050403	Q. Chaitán	3,348	17,14	2,54	Rectangular - muy lobuladas	Alta
52050404	Q. San Juan	1,919	17,52	1,42	Oval redonda a oval oblonga	Moderada
52050405	Q. Cristo	2,117	20,38	2,14	Rectangular - muy lobuladas	Moderada
52050406	Q. del Muerto	2,327	14,39	1,62	Oval oblonga a rectangular	Moderada
52050407	Q. Curris	2,061	27,46	1,48	Oval redonda a oval oblonga	Alta
52050408	Q. Guingal	2,458	24,68	1,64	Oval oblonga a rectangular	Moderada

CODIGO U.H.	NOMBRE	DENSIDAD RED DE DRENAJE (KM/KM2)	PENDIENTE MEDIA (%)	COEFICIENTE DE COMPACIDAD (KC)		Categoría Índice Morfométrico.
52050409	Q. Chorrera Negra	3,911	39,39	1,65	Oval oblonga a rectangular	Muy Alta
52050410	Q. Arrayanes	2,012	15,56	1,51	Oval oblonga a rectangular	Moderada
52050411	Q. Nariño	1,921	13,59	1,40	Oval redonda a oval oblonga	Moderada
52050501	Q. Cuasé	1,387	8,08	1,73	Oval oblonga a rectangular	Baja
52050502	Q. Río Blanco	3,775	15,71	1,68	Oval oblonga a rectangular	Alta
52050901	Q. Cutuaquer (Q. Pajablanca)	1,966	17,36	1,80	Rectangular - muy lobuladas	Moderada
52051201	Q. Churaguáma	2,713	22,61	1,94	Rectangular - muy lobuladas	Alta
52051301	Sin Toponimia 1	4,474	23,83	1,75	Oval oblonga a rectangular	Muy Alta
52051302	Q. Las Juntas	3,800	18,09	1,39	Oval redonda a oval oblonga	Alta
52051601	Río Curiaco	2,604	45,77	1,68	Oval oblonga a rectangular	Alta
52051602	Q. El Lindero	1,787	43,12	1,24	Redonda a oval redonda	Alta
52051603	Río Opongoy	3,650	27,07	1,41	Oval redonda a oval oblonga	Muy Alta
52051604	Q. La Magdalena	1,724	28,42	2,15	Rectangular - muy lobuladas	Moderada
52051801	Río El Chacaguaico	2,113	46,70	1,62	Oval oblonga a rectangular	Alta
52051802	Río El Barranco	2,364	46,36	1,73	Oval oblonga a rectangular	Alta
52051803	Río Tamajoy	2,779	38,02	1,62	Oval oblonga a rectangular	Alta
52051901	Q. El Naranjo	2,365	48,56	1,34	Oval redonda a oval oblonga	Alta

CODIGO U.H.	NOMBRE	DENSIDAD RED DE DRENAJE (KM/KM2)	PENDIENTE MEDIA (%)	COEFICIENTE DE COMPACIDAD (KC)		Categoría Índice Morfométrico.
52051902	Q. San Antonio	3,395	20,25	1,44	Oval redonda a oval oblonga	Muy Alta
52052301	Q. El Purgatorio	2,924	71,62	1,38	Oval redonda a oval oblonga	Muy Alta
52052302	Q. Primavera	2,389	66,34	1,33	Oval redonda a oval oblonga	Alta
52052303	Q. Astaron	1,858	68,70	1,48	Oval redonda a oval oblonga	Alta
52052304	Q. Bramadero	0,435	61,77	1,31	Oval redonda a oval oblonga	Moderada
52052501	Q. El Salado	2,871	66,25	1,22	Redonda a oval redonda	Muy Alta
52052601	Q. Regada (Q. La Primavera)	1,794	31,86	1,81	Rectangular - muy lobuladas	Moderada
52052901	Q. El Macal	2,336	34,98	1,56	Oval oblonga a rectangular	Moderada
52053101	Q. San Francisco	2,520	22,81	1,78	Rectangular - muy lobuladas	Alta
52053601	Q. Honda	2,212	14,91	1,85	Rectangular - muy lobuladas	Moderada
52053701	Q. Chitarran (Santa Clara)	2,623	41,69	1,55	Oval oblonga a rectangular	Alta
52054301	Q. Changota	2,165	41,62	1,70	Oval oblonga a rectangular	Alta
52054601	Q. El Cucho	1,980	36,06	1,47	Oval redonda a oval oblonga	Moderada
52055001	Q. Cutipas	2,081	22,47	1,68	Oval oblonga a rectangular	Moderada
52055002	Q. La Floresta	1,680	21,31	1,52	Oval oblonga a rectangular	Moderada
52055003	Q. Cuatis	1,718	20,11	1,70	Oval oblonga a rectangular	Moderada
52055004	Q. Santa Lucía	1,745	11,87	1,86	Rectangular - muy lobuladas	Baja

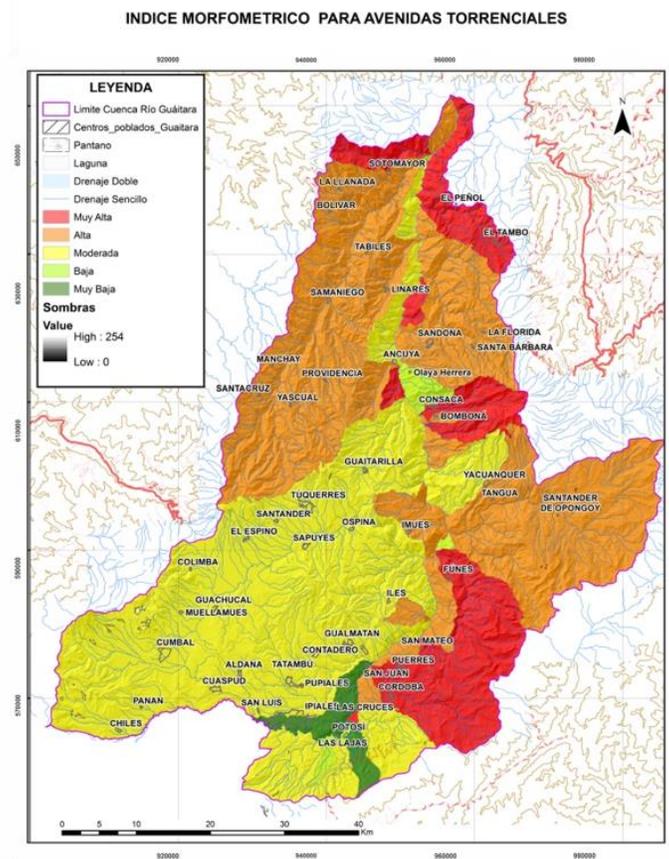
CODIGO U.H.	NOMBRE	DENSIDAD RED DE DRENAJE (KM/KM2)	PENDIENTE MEDIA (%)	COEFICIENTE DE COMPACIDAD (KC)		Categoría Índice Morfométrico.
52055005	Q. Alambuera	1,366	13,00	1,86	Rectangular - muy lobuladas	Baja

Fuente: Consorcio POMCA 2015 053

En la Tabla 41 y la Figura 69 se observa que existen 64 áreas (58.2% el total de subcuencas y microcuencas) entre subcuencas y microcuencas, categorizadas con un índice morfométrico muy alto o alto. Estas subcuencas y microcuencas se encuentran ubicadas en la parte noroeste, noreste y este de la cuenca, significando la mayor parte del territorio de la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara. Estas áreas se encuentran fuertemente controladas por la pendiente media del terreno, ubicándose las pendientes más pronunciadas en los bordes este y oeste de la cuenca; otro factor condicionante del índice morfométrico es la densidad de drenaje, que puede observarse en la parte norte de la cuenca, en los alrededores del Río Guátara y sus afluentes.

En la categoría con un índice morfométrico moderado se observa un 32.7% (36 subcuencas o microcuencas) ubicadas en las zonas central, sur y suroeste del territorio. Por último, se encuentran 10 subcuencas o microcuencas (9%) en la categoría baja o muy baja del índice morfométrico, ubicadas en la parte sur y centro del área.

Figura 70 Mapa de índice morfométrico para avenidas torrenciales.



Fuente: Consorcio POMCA 2015 053

1.11.4.1.2 Índice de Variabilidad

El índice de variabilidad presenta el comportamiento de los caudales de la Cuenca, clasificando como torrencial a una Cuenca si presenta una diferencia grande entre los valores mínimos y máximos de caudal. (IDEAM, 2013).

Tabla 42. Índice de Variabilidad

Nombre Unidad	Índice de Variabilidad
Río Guaitara	Baja
Dir. R. Guaitara entre Q. Piscocayo y R. Patía (md)	Baja
Q. Piscocayo	Baja
Río Pacua	Baja

Nombre Unidad	Índice de Variabilidad
Río Sapuyes	Baja
Río Blanco	Baja
Dir. R. Guátara entre R. Chiles y R. Blanco (md)	Baja
Dir. R. Guátara entre R. Blanco y R. Boquerón (md)	Baja
Dir. R. Guátara entre Q. Pulcas y Rosario (mi)	Baja
Q. El Rosario	Baja
Q. Frontales	Baja
Q. Guamuesquer	Baja
Río Chiguaco	Baja
Río Tescual	Baja
Río Angasmayo	Baja
Río Téllez	Baja
Río Bobo	Baja
Río Azufral	Baja
Río Salado	Baja
Río Molinoyaco	Baja
Dir. R. Guátara entre R. Molinoyaco y R. Patía (mi)	Baja
Dir. R. Guátara entre R. Pacua y Q. Piscoyaco (md)	Baja
Dir. R. Guátara entre R. Guayambur y R. Pacua (md)	Baja
Río Guayambur	Baja
Dir. R. Guátara entre R. Papayal y R. Guayambur (md)	Baja
Río Papayal	Baja
Q. El Salto	Baja

Nombre Unidad	Índice de Variabilidad
Q. El Rosal	Baja
Dir. R. Guáitara entre R. Sapuyes y Q. El Rosal (md)	Baja
Dir. R. Guáitara entre y R. Sapuyes (md)	Baja
Q. Humeadora	Baja
Dir. R. Guáitara entre R. Boquerón y Q. Humeadora (md)	Baja
Dir. R. Guáitara entre Q. El Rosario y Q. Frontales (mi)	Baja
Dir. R. Guáitara entre Q. Frontales y Q. Guamuesquer (mi)	Baja
Dir. R. Guáitara entre Q. Guamuesquer y R. Chiguaco (mi)	Baja
Dir. R. Guáitara entre R. Chiguaco y R. Tescual (mi)	Baja
Dir. R. Guáitara entre R. Tescual y R. Angasmayo (mi)	Baja
Dir. R. Guáitara entre R. Angasmayo y R. Téllez (mi)	Baja
Dir. R. Guáitara entre R. Téllez y R. Bobo (mi)	Baja
Dir. R. Guáitara entre R. Bobo y Q. Tasnaque (mi)	Baja
Q. Tasnaque	Baja
Río Cariaco	Baja
Dir. R. Guáitara entre R. Cariaco y R. Azufral (mi)	Baja
Dir. R. Guáitara entre R. Azufral y Q. Honda (mi)	Baja
Q. Honda	Baja
Q. Honda	Baja
Q. Honda	Baja
Dir. R. Guáitara entre y Q. Saraconcho (mi)	Baja

Nombre Unidad	Índice de Variabilidad
Q. Saraconcho	Baja
Dir. R. Guáitara entre y R. Salado (mi)	Baja
Dir. R. Guáitara entre R. Salado y R. Molinoyaco (mi)	Baja
Dir. R. Guáitara entre Q. El Salto y R. Papayal (md)	Baja
Río Boquerón	Baja
Dir. R. Guáitara entre y Q. Ahumada (mi)	Baja
Q. Ahumada	Baja
Dir. R. Guáitara entre Q. Ahumada y R. Cariaco (mi)	Baja
Dir. R. Guáitara entre Q. El Rosal y Q. El Salto (mi)	Baja
Q. El Cedro	Baja
Q. San Pedro (Q. El Cucho)	Baja
Q. Cartagua (Q. Murciélagos)	Baja
Q. Alcuayaco	Baja
Q. La Inga	Baja
Q. Caparrosa	Baja
Río Pascual	Baja
Río Guadrama	Baja
Río San Juan O Q. El Canal	Baja
Q. La Burrera	Baja
Q. La Hoja	Baja
Q. Pinzón	Baja
Q. Los Molinos	Baja
Q. Chaitán	Baja

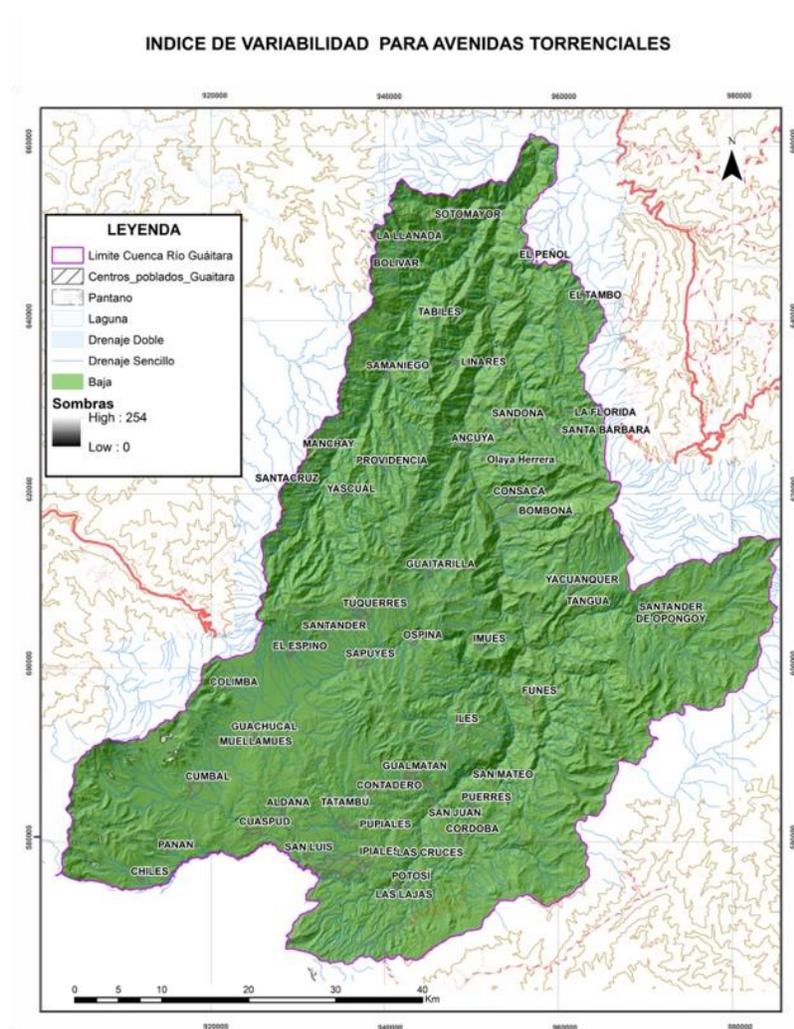
Nombre Unidad	Índice de Variabilidad
Q. San Juan	Baja
Q. Cristo	Baja
Q. del Muerto	Baja
Q. Curris	Baja
Q. Guingal	Baja
Q. Chorrera Negra	Baja
Q. Arrayanes	Baja
Q. Nariño	Baja
Q. Cuasé	Baja
Q. Río Blanco	Baja
Q. Cutuaquer (Q. Pajablanca)	Baja
Q. Churaguáma	Baja
Sin Toponimia 1	Baja
Q. Las Juntas	Baja
Río Curiaco	Baja
Q. El Lindero	Baja
Río Opongoy	Baja
Q. La Magdalena	Baja
Río El Chacaguaico	Baja
Río El Barranco	Baja
Río Tamajoy	Baja
Q. El Naranja	Baja
Q. San Antonio	Baja
Q. El Purgatorio	Baja

Nombre Unidad	Índice de Variabilidad
Q. Primavera	Baja
Q. Astaron	Baja
Q. Bramadero	Baja
Q. El Salado	Baja
Q. Regada (Q. La Primavera)	Baja
Q. El Macal	Baja
Q. San Francisco	Baja
Q. Chitarran (Santa Clara)	Baja
Q. Changota	Baja
Q. El Cucho	Baja
Q. Cutipas	Baja
Q. La Floresta	Baja
Q. Cuatis	Baja
Q. Santa Lucía	Baja
Q. Alambuera	Baja

Fuente: Consorcio POMCA 2015 053

En la Tabla 42 y Figura 70 en la se observa que la totalidad de la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara se encuentra clasificada con un índice de variabilidad bajo, debido a que no presenta grandes diferencias entre los caudales máximos y mínimos de las diferentes subcuenca y microcuencas y en la diferencias de alturas. Los valores más altos de este índice se presentan en el sector de la Quebrada Alcuayaco con valores de 32,8 correspondiendo a la categoría baja; por otro lado, se tiene el valor más bajo de 13,3 asociados a la microcuenca de la Quebrada El Cerro ubicándose en la misma categoría baja.

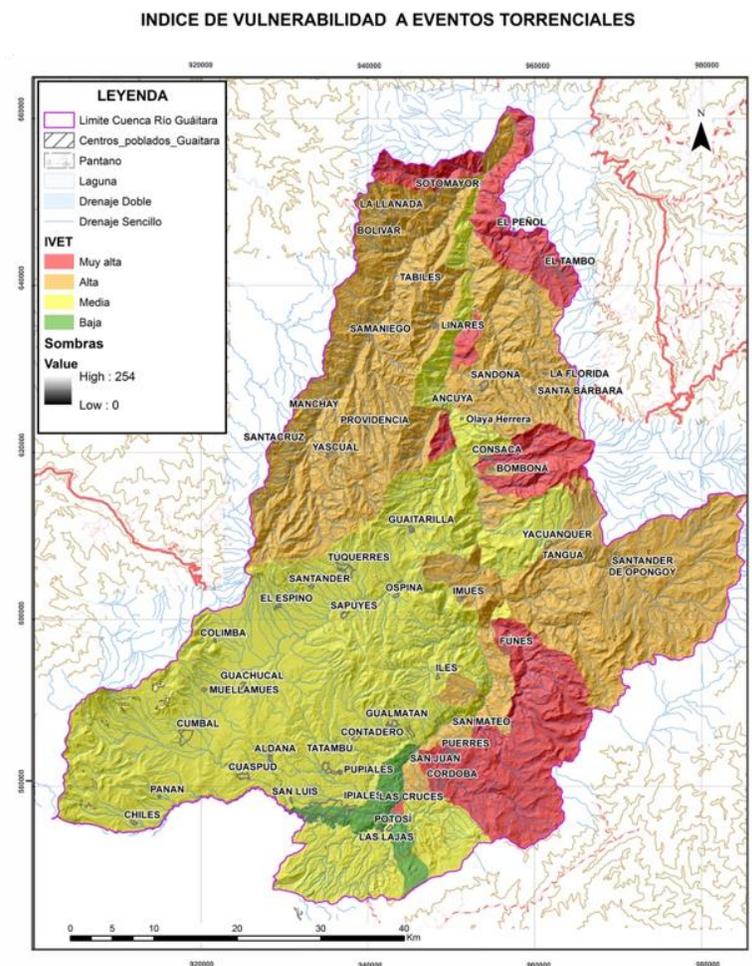
Figura 71 Índice de Variabilidad para avenidas torrenciales



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 Guaitara, 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 72.

Figura 72 Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET)



Fuente: Consorcio POMCA 2015 053

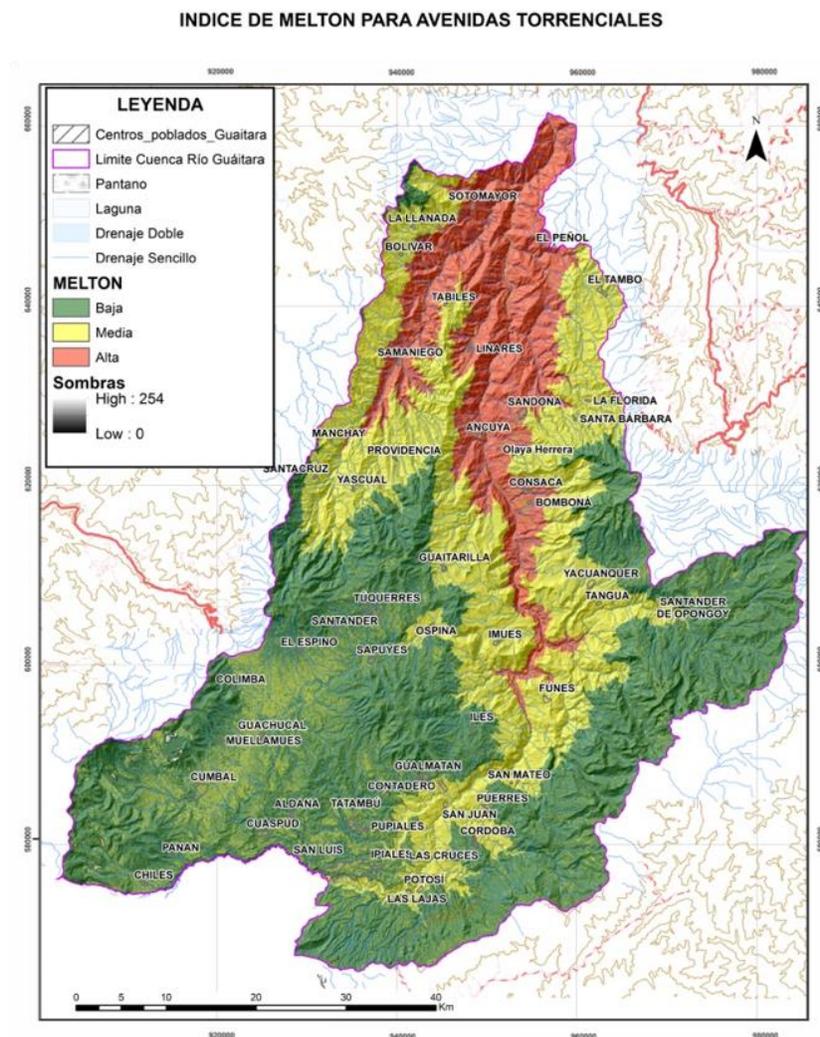
En el área de la Cuenca Hidrográfica del Río Guaitara se observa una distribución según el índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET), en las zonas noroeste, norte, noreste y este del territorio abarcando 64 microcuencas o subcuencas (58,2%) siendo fuertemente influenciados y ocupando la misma área de subcuencas y microcuencas por el índice morfométrico, además de observar un patrón donde a medida que disminuye la altura general de la Cuenca Hidrográfica del Río Guaitara, se van presentando zonas con un mayor índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales, concentrándose en la parte baja de la cuenca en cercanías a la desembocadura del Río Guaitara. Las zonas con una clasificación media por IVET abarcan 44 microcuencas o subcuencas, representando el 40% del total de subcuencas y microcuencas y se encuentran distribuidas en el centro, sur y suroeste de la Cuenca contraladas en su mayoría por el índice morfométrico. A su vez son 2 subcuencas o microcuencas clasificadas con un IVET bajo (1,8%) ubicadas en el sur de la cuenca en cercanías a los centros poblados de Ipiales, Potosí y San Juan.

1.11.4.2 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.

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

Figura 73 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 Río Guaitara. El resultado del índice de Melton, muestra los menores valores y susceptibilidades a avenidas torrenciales en el sector este y suroeste de la cuenca donde predomina la categoría baja y se

encuentran las mayores alturas del territorio; la mayor parte del área de estudio, se encuentra categorizada como susceptibilidad media, bordeando siempre las áreas con una categoría alta, y siguiendo el curso principal del Río Guáitara. La categoría alta se encuentra localizada en la zona baja de la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara y sus principales afluentes, principalmente en los sectores de menor pendiente en la parte norte del territorio. De manera general se observa un patrón donde el índice de Melton aumenta progresivamente a medida que se acerca al cauce principal del Río Guáitara, por lo que se obtienen los menores valores de este índice en las partes más elevadas de la cuenca, y a medida que nos acercamos a la desembocadura del Río Guáitara van aumentando progresivamente los valores para este índice, presentando sus mayores valores alrededor del cauce principal del Río Guáitara y una mayor área en la parte norte del territorio.

1.11.4.3ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO (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 morfometría y la morfodinámica, 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 geofomas 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.

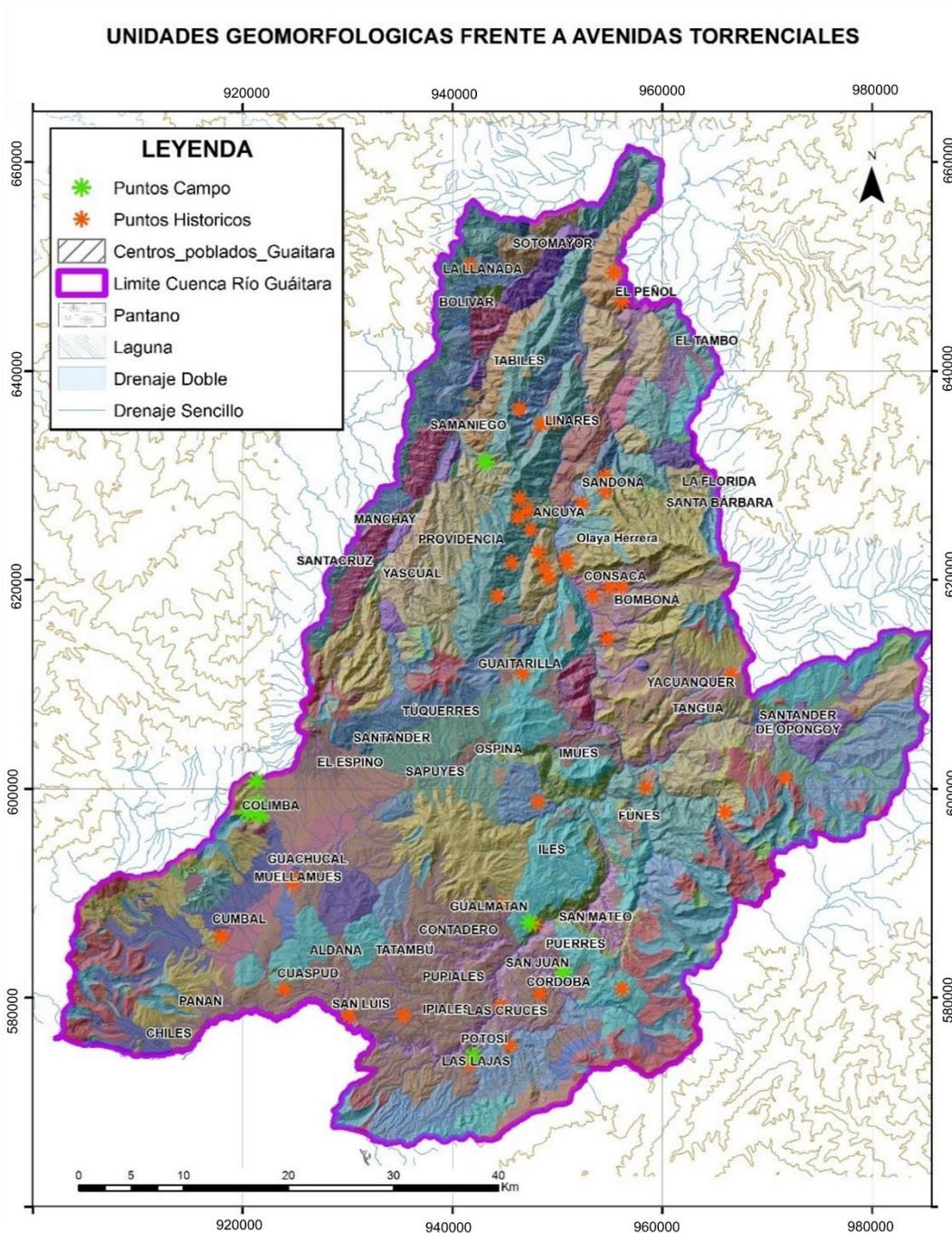
Figura 74 Valle en V, con actividad erosiva sobre una ladera en la cuenca hidrográfica del Río Guátara. Se evidencia el aporte de material al cauce, aumentando su densidad y su energía.



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.

Figura 75 Unidades Geomorfológicas 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

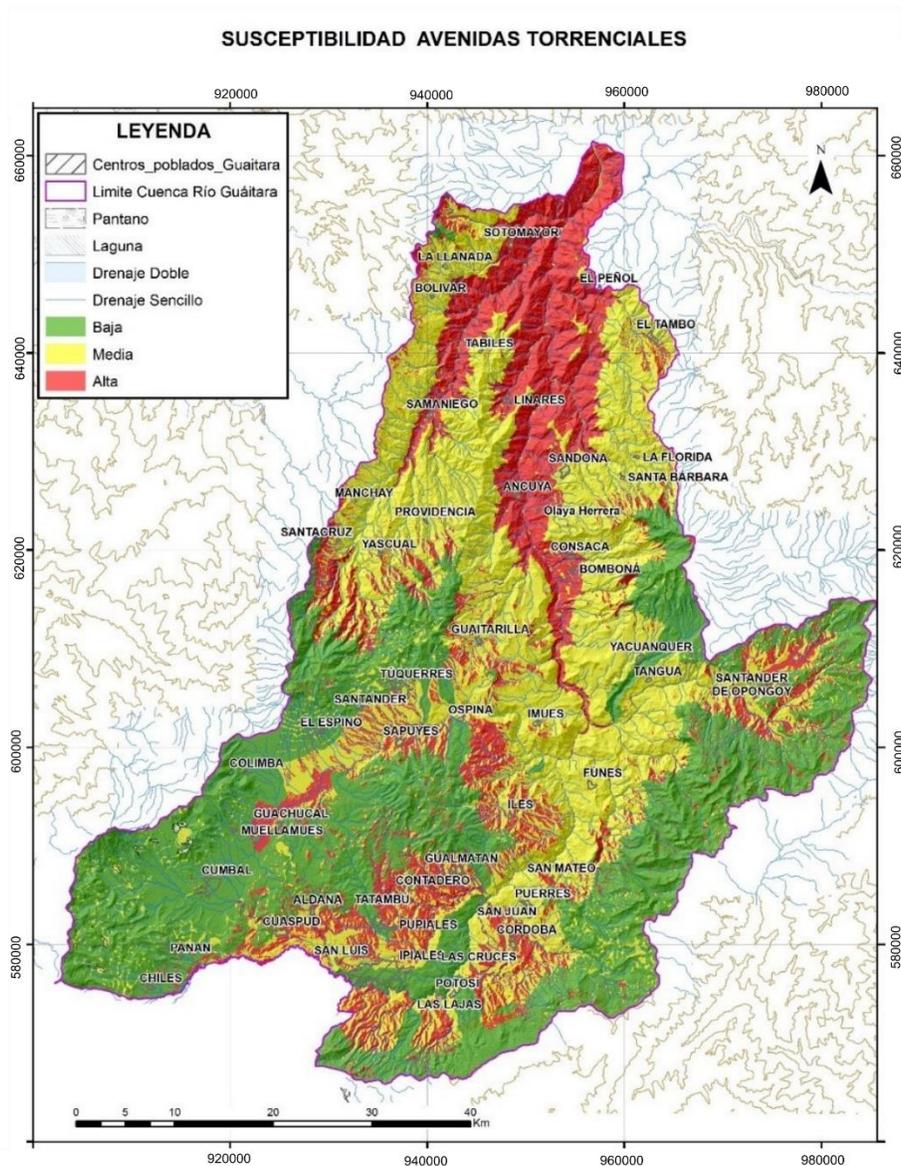
Figura 76 Material fluvio-torrencial, ocupando un cauce aluvial de un afluente del Río Guáitara.



Fuente: Consorcio POMCA 2015 053

1.11.5 Análisis de la zonificación de la susceptibilidad a avenidas torrenciales

Figura 77 Susceptibilidad a eventos torrenciales.



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 Guaitara, cabe resaltar que predomina el valor del índice de Melton, dado que permite determinar un valor para cada pixel dentro de las capas tipo raster, mientras que los datos para el IVET hacen referencia a un valor para toda una subcuenca o microcuenca.

Las zonas con mayor susceptibilidad a avenidas torrenciales se concentran en la zona norte, alrededores de los centros poblados (como Sandoná, Acunayá, Samaniego, Linares, El Peñol y Sotomayor entre otros) y en cercanías a los cauces fluviales (principalmente el Río Guáitara), abarcando un área de 85835 Ha, que representan el 23,6% del área total de la cuenca, siendo fuertemente influidas por el índice de Melton. A su vez existen 145002 Ha catalogadas con una susceptibilidad media a avenidas torrenciales, distribuidas en una franja de sur a norte alrededor de las zonas con una alta susceptibilidad, representando el 39,9% del territorio. Por último las zonas con la menor susceptibilidad a avenidas torrenciales se ubican en la parte sur de la cuenca y en las zonas más elevadas de la misma, siguiendo el mismo patrón que el índice de Melton, ocupando un total de 132707 Ha, que representan el 36,5% de la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara.

La Tabla 43 muestra la clasificación de susceptibilidad a avenidas torrenciales de las diferentes microcuencas y subcuencas.

Tabla 43. Microcuencas con susceptibilidad a avenidas torrenciales alta y media

Susceptibilidad a avenidas torrenciales	Nombre Unidad	Índice Morfométrico	IVET
Baja y Media	Río Guáitara	Moderada	Media
Baja y Media	Dir. R. Guáitara entre Q. Piscocayo y R. Patía (md)	Alta	Alta
Baja y Media	Q. Piscocayo	Muy Alta	Muy alta
Baja y Media	Río Pacua	Alta	Alta
Baja y Media	Río Sapuyes	Moderada	Media
Baja y Media	Río Blanco	Moderada	Media
Baja y Media	Dir. R. Guáitara entre R. Chiles y R. Blanco (md)	Moderada	Media
Baja y Media	Dir. R. Guáitara entre R. Blanco y R. Boquerón (md)	Muy Baja	Baja
Baja y Media	Dir. R. Guáitara entre Q. Pulcas y Q. El Rosario (mi)	Moderada	Media
Baja y Media	Q. El Rosario	Moderada	Media
Baja y Media	Q. Frontales	Moderada	Media
Baja y Media	Q. Guamuesquer	Muy Baja	Baja

Susceptibilidad a avenidas torrenciales	Nombre Unidad	Índice Morfométrico	IVET
Baja y Media	Río Chiguaco	Moderada	Media
Baja y Media	Río Tescual	Muy Alta	Muy alta
Baja y Media	Río Angasmayo	Muy Alta	Muy alta
Baja y Media	Río Tellez	Muy Alta	Muy alta
Baja y Media	Río Bobo	Alta	Alta
Baja y Media	Río Azufral	Muy Alta	Muy alta
Baja y Media	Río Salado	Alta	Alta
Baja y Media	Río Molinoyaco	Muy Alta	Muy alta
Baja y Media	Dir. R. Guátara entre R. Molinoyaco y R. Patía (mi)	Muy Alta	Muy alta
Baja y Media	Dir. R. Guátara entre R. Pacua y Q. Piscoyaco (md)	Baja	Media
Baja y Media	Dir. R. Guátara entre R. Guayambur y R. Pacua (md)	Moderada	Media
Baja y Media	Río Guayambur	Alta	Alta
Baja y Media	Dir. R. Guátara entre R. Papayal y R. Guayambur (md)	Moderada	Media
Baja y Media	Río Papayal	Alta	Alta
Baja y Media	Q. El Salto	Moderada	Media
Media	Q. El Rosal	Moderada	Media
Media	Dir. R. Guátara entre R. Sapuyes y Q. El Rosal (md)	Alta	Alta
Media	Dir. R. Guátara entre Q. Humeadora y R. Sapuyes (md)	Moderada	Media

Susceptibilidad a avenidas torrenciales	Nombre Unidad	Índice Morfométrico	IVET
Baja y Media	Q. Humeadora	Alta	Alta
Baja y Media	Dir. R. Guáitara entre R. Boquerón y Q. Humeadora (md)	Moderada	Media
Baja y Media	Dir. R. Guáitara entre Q. El Rosario y Q. Frontales (mi)	Baja	Media
Baja y Media	Dir. R. Guáitara entre Q. Frontales y Q. Guamuesquer (mi)	Baja	Media
Baja y Media	Dir. R. Guáitara entre Q. Guamuesquer y R. Chiguaco (mi)	Muy Alta	Muy alta
Baja y Media	Dir. R. Guáitara entre R. Chiguaco y R. Tescual (mi)	Alta	Alta
Baja y Media	Dir. R. Guáitara entre R. Tescual y R. Angasmayo (mi)	Alta	Alta
Baja y Media	Dir. R. Guáitara entre R. Angasmayo y R. Tellez (mi)	Alta	Alta
Baja y Media	Dir. R. Guáitara entre R. Tellez y R. Bobo (mi)	Baja	Media
Media	Dir. R. Guáitara entre R. Bobo y Q. Tasnaque (mi)	Alta	Alta
Baja y Media	Q. Tasnaque	Moderada	Media
Baja y Media	Río Cariaco	Muy Alta	Muy alta
Baja y Media	Dir. R. Guáitara entre R. Cariaco y R. Azufral (mi)	Alta	Alta
Baja y Media	Dir. R. Guáitara entre R. Azufral y Q. Honda (mi)	Baja	Media
Baja y Media	Q. Honda	Alta	Alta
Media	Dir. R. Guáitara entre Q. Honda y Q. Saraconcho (mi)	Alta	Alta
Media	Q. Saraconcho	Alta	Alta
Media	Dir. R. Guáitara entre Q. Saraconcho y R. Salado (mi)	Muy Alta	Muy alta

Susceptibilidad a avenidas torrenciales	Nombre Unidad	Índice Morfométrico	IVET
Baja y Media	Dir. R. Guáitara entre R. Salado y R. Molinoyaco (mi)	Alta	Alta
Baja y Media	Dir. R. Guáitara entre Q. El Salto y R. Papayal (md)	Muy Alta	Muy alta
Baja y Media	Río Boquerón	Moderada	Media
Media	Dir. R. Guáitara entre Q. Tasnaque y Q. Ahumada (mi)	Moderada	Media
Baja y Media	Q. Ahumada	Moderada	Media
Baja y Media	Dir. R. Guáitara entre Q. Ahumada y R. Cariaco (mi)	Alta	Alta
Media	Dir. R. Guáitara entre Q. El Rosal y Q. El Salto (mi)	Moderada	Media
Baja y Media	Q. El Cedro	Muy Alta	Muy alta
Baja y Media	Q. San Pedro (Q. El Cucho)	Muy Alta	Muy alta
Baja y Media	Q. Cartagua (Q. Murciélagos)	Alta	Alta
Baja	Q. Alcuayaco	Alta	Alta
Baja	Q. La Inga	Muy Alta	Muy alta
Baja y Media	Q. Caparrosa	Muy Alta	Muy alta
Baja y Media	Río Pascual	Alta	Alta
Media	Río Guadrama	Alta	Alta
Baja	Río San Juan O Q. El Canal	Alta	Alta
Baja	Q. La Burrera	Alta	Alta
Baja y Media	Q. La Hoja	Muy Alta	Muy alta

Susceptibilidad a avenidas torrenciales	Nombre Unidad	Índice Morfométrico	IVET
Media	Q. Pinzón	Moderada	Media
Media	Q. Los Molinos	Moderada	Media
Baja y Media	Q. Chaitán	Alta	Alta
Baja y Media	Q. San Juan	Moderada	Media
Media	Q. Cristo	Moderada	Media
Media	Q. del Muerto	Moderada	Media
Media	Q. Currís	Alta	Alta
Media	Q. Guingal	Moderada	Media
Baja y Media	Q. Chorrera Negra	Muy Alta	Muy alta
Media	Q. Arrayanes	Moderada	Media
Media	Q. Nariño	Moderada	Media
Baja y Media	Q. Cuasé	Baja	Media
Baja y Media	Q. Río Blanco	Alta	Alta
Baja y Media	Q. Cutuaquer (Q. Pajablanca)	Moderada	Media
Baja y Media	Q. Churaguáma	Alta	Alta
Media	Sin Toponimia 1	Muy Alta	Muy alta
Media	Q. Las Juntas	Alta	Alta
Baja y Media	Río Curiaco	Alta	Alta
Baja y Media	Q. El Lindero	Alta	Alta
Baja y Media	Río Opongoy	Muy Alta	Muy alta
Baja y Media	Q. La Magdalena	Moderada	Media
Baja y Media	Río El Chacaguaico	Alta	Alta
Baja y Media	Río El Barranco	Alta	Alta

Susceptibilidad a avenidas torrenciales	Nombre Unidad	Índice Morfométrico	IVET
Baja	Río Tamajoy	Alta	Alta
Baja y Media	Q. El Naranjo	Alta	Alta
Baja	Q. San Antonio	Muy Alta	Muy alta
Baja y Media	Q. El Purgatorio	Muy Alta	Muy alta
Baja y Media	Q. Primavera	Alta	Alta
Baja	Q. Astaron	Alta	Alta
Baja	Q. Bramadero	Moderada	Media
Baja y Media	Q. El Salado	Muy Alta	Muy alta
Media	Q. Regada (Q. La Primavera)	Moderada	Media
Baja y Media	Q. El Macal	Moderada	Media
Baja y Media	Q. San Francisco	Alta	Alta
Baja y Media	Q. Chitarran (Santa Clara)	Alta	Alta
Baja y Media	Q. Changota	Alta	Alta
Baja y Media	Q. El Cucho	Moderada	Media
Media	Q. Cutipas	Moderada	Media
Media	Q. La Floresta	Moderada	Media
Media	Q. Cuatis	Moderada	Media
Media	Q. Santa Lucía	Baja	Media
Baja y Media	Q. Alambuera	Baja	Media

Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

1.11.5.1 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 geoprocésamiento. 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.

Tabla 44. Tabla de comparación de Coeficiente de fiabilidad y verificación de puntos para avenidas torrenciales en la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara.

Susceptibilidad	Nº de Puntos	Nº de celdas	Coeficiente de fiabilidad	Verificación por puntos
Alta	10	25246425	50,479811	40
Media	10	25246425	40,833043	50
Baja	10	25246425	8,687146	10

Fuente: Consorcio POMCA, 2015

1.11.6 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). 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.

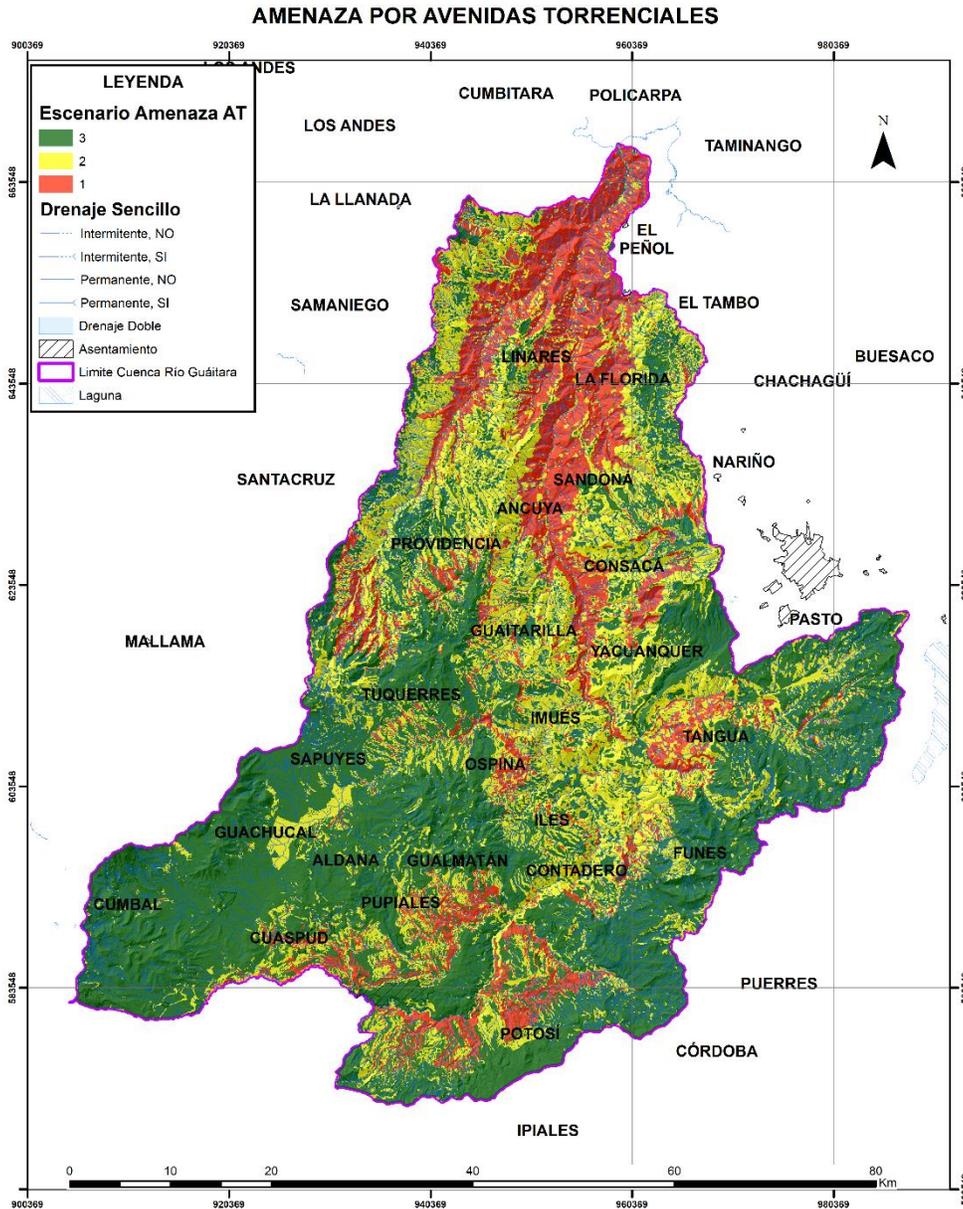
2. Para limitar la zonificación de este fenómeno se realiza un análisis de puntos de inflexión de la pendiente, identificando el rango de este atributo el cual no permite el avance del material torrencial. Para ello, se realizan perfiles aleatorios a lo largo de los drenajes principales de las cuencas susceptibles y se determina una pendiente promedio crítica para toda la cuenca, limitando las zonas en donde la pendiente no permite el desplazamiento de material ladera abajo.

1.11.7 Análisis de la zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales

A continuación, se observan algunos ejemplos de la determinación de puntos de inflexión en los perfiles evaluados:

Cada uno de los drenajes que conforma las microcuencas susceptibles a eventos torrenciales se calificó según la zonificación de la amenaza por movimientos en masa, como factor que permite identificar la existencia de carga de sedimentación que podría 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 78. La interacción de los procesos de sedimentación y pendiente crítica con las cuencas susceptibles dan como resultado la Figura 78.

Figura 78 Amenaza por eventos torrenciales.



Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

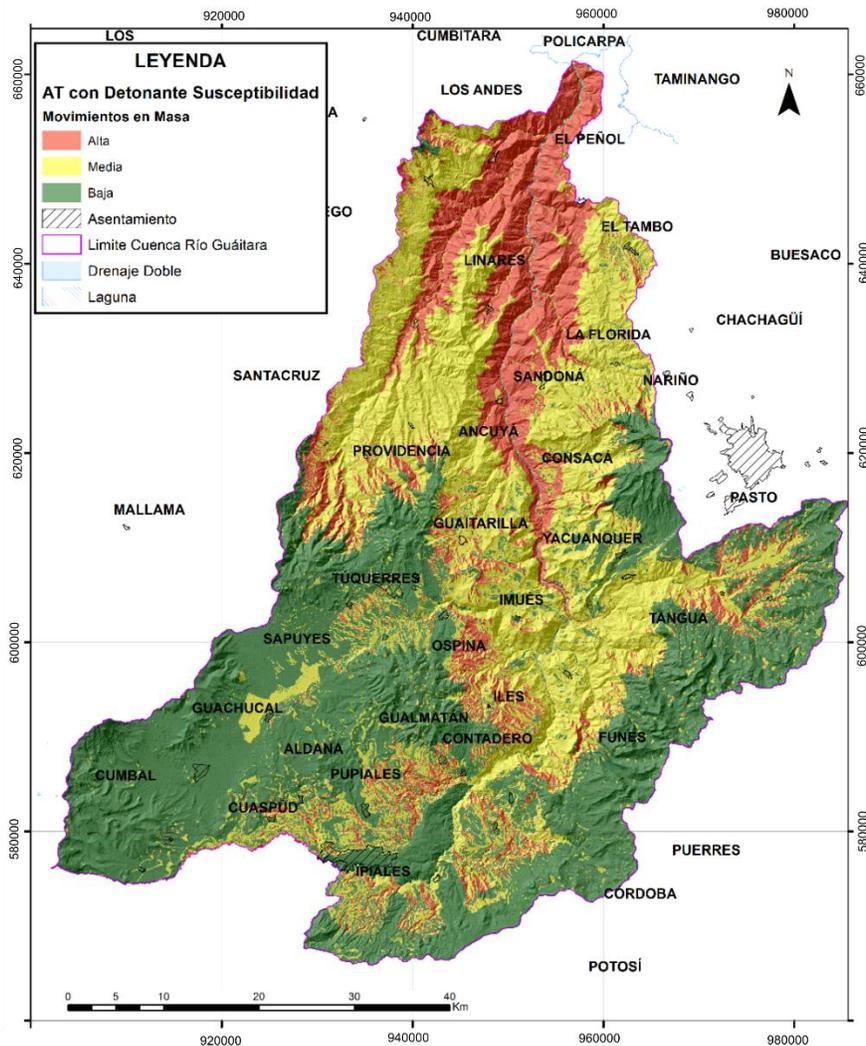
En la zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales para la Cuenca Hidrográfica del Río Guaitara (Figura 78), se observa que la amenaza alta está localizada desde la parte norte del territorio, siguiendo el curso del Río Guaitara hasta la parte central de la cuenca, sectorizándose en pequeños cauces en el sur de la misma. La amenaza media está en general bordeando las zonas con grado alto de amenaza, siguiendo de esta forma el drenaje de la cuenca. La amenaza baja se localiza hacia la parte sur de la cuenca, en los municipios Sapuyes, Tuquerres, Cumbal, Guachucal, Aldana, Pupiales, Gualmatán y al este de los Municipios Funes, Yacuanquer y Tangua.

1.11.8 Amenaza por avenidas torrenciales involucrando susceptibilidad a Movimientos en Masa

A partir de la socialización de los resultados, se propuso por parte de CORPONARIÑO, realizar un análisis de la ocurrencia de avenidas torrenciales en la cuenca hidrográfica del río Guátara, teniendo como detonante la zonificación establecida para movimientos en masa, dado que esta delimitación involucra dentro de sus variables índices máximos de lluvia y sismo.

La Figura 31 muestra el resultado del ejercicio solicitado por la corporación, donde se realizó el cruce de susceptibilidad a avenidas torrenciales y susceptibilidad a movimientos en masa. El resultado muestra que la zonificación por tipo de amenaza evidencia un patrón similar al establecido anteriormente para este tipo de evento, centrándose en mayor grado de amenaza alrededor de los cauces presentes en el área de cuenca. Esto debido a que la zonificación de la susceptibilidad del territorio a movimientos en masa coincide en general, con la de avenidas torrenciales en los sectores que exhiben un alto grado de amenaza.

Figura 79 Escenario de avenidas torrenciales involucrando Susceptibilidad a movimientos en masa como detonante



Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

Recomendaciones Finales:

Con el objetivo de avanzar en conocimiento detallado del comportamiento de las avenidas torrenciales en las zonas de amenaza alta y media en la cuenca de estudios se recomienda llevar a cabo los siguientes ítems

- En las zonas con susceptibilidad alta por avenidas torrenciales se hace necesario complementar la información existente mediante registros nuevos de caudales y/o generar métodos de medición en zonas que se requieren. De acuerdo a lo anterior, se recomienda se instalen por lo menos dos estaciones de caudales en la parte alta de la cuenca donde hay susceptibilidad alta.

- Teniendo en cuenta los resultados de amenaza por avenidas torrenciales 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... Este tipo de trabajo debe ser desarrollado por las autoridades municipales y departamentales encargadas de atender estos tipos de eventos.
- En las subcuencas que presentan porcentaje de amenaza por avenidas torrenciales se sugiere la instalación de por lo menos dos estaciones meteorológicas distribuidas en estas subcuencas, con el fin tener relación de la lluvia como detonante vs movimientos en masa teniendo en cuenta que la precipitación es uno de los mayores detonantes de movimientos en masa que asociados a cauces activos generan avenidas torrenciales.
- Existe la necesidad de 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 de 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.
-
-

1.12 IDENTIFICACIÓN, CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FENÓMENOS AMENAZANTES Y EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR EVENTOS VOLCÁNICOS; TSUNAMIS, DESERTACIÓN Y EROSIÓN COSTERA.

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

1.12.1 Amenaza por eventos volcánicos

La Cuenca Hidrográfica del Río Guátara, por su localización y configuración, presenta una amenaza por fenómenos volcánicos controlados por el Complejo Volcánico Galeras, Volcán Azufral, Volcán Cumbal, Volcán Chiles y el Volcán Cerro Negro. Las amenazas presentadas por estos volcanes, se ha estudiado por entidades gubernamentales como el Servicio Geológico Colombiano, amenazas que se explican a continuación:

1.12.1.1 COMPLEJO VOLCÁNICO GALERAS.

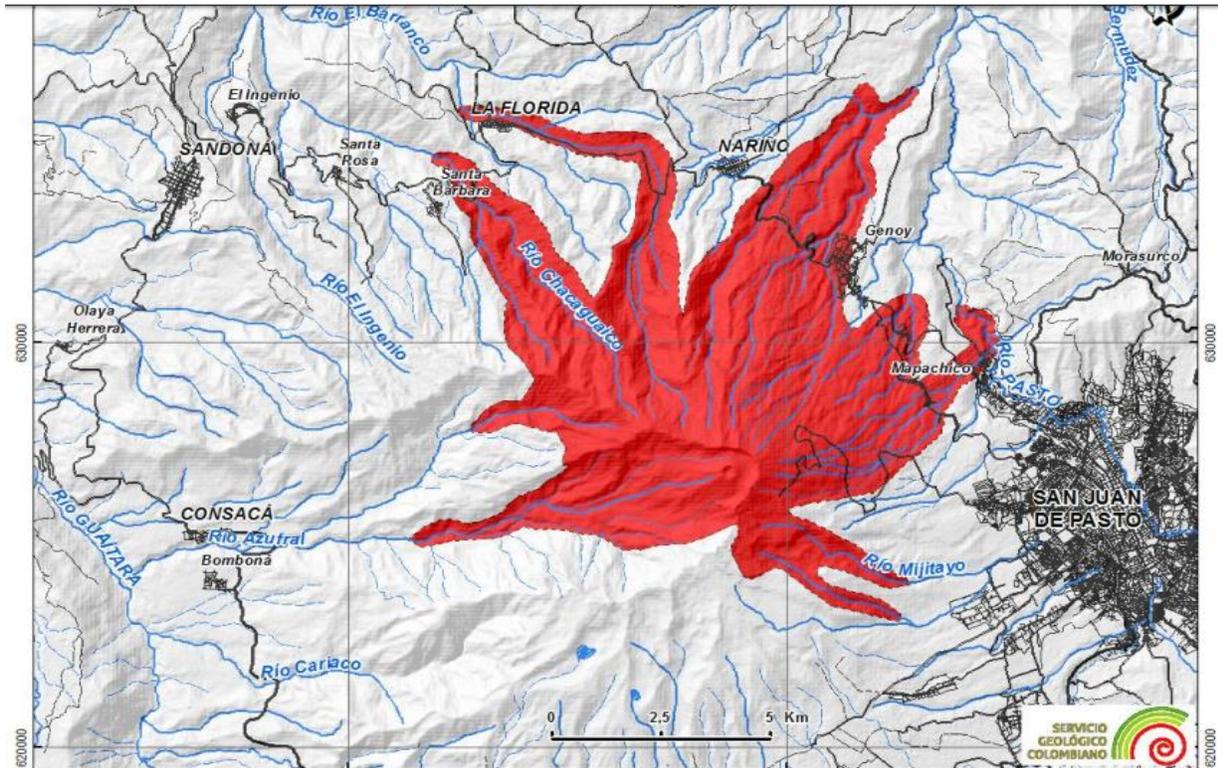
El Complejo Volcánico Galeras se encuentra ubicado a 9 Km de la ciudad de San Juan de Pasto entre las cordilleras Central y Occidental, considerado uno de los volcanes más activos de Colombia. En la

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)).

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).

Amenaza por corrientes de densidad piroclástica (CDP) (flujos piroclásticos y oleadas piroclásticas): Las CDP son históricamente la mayor amenaza, y la que más vidas ha cobrado. Son grandes cantidades de material incandescente (de 300°C a > 800°C), compuestas de fragmentos de rocas, cenizas y gases que se mueven a grandes velocidades los cuales son emitidos desde el centro de emisión del volcán. Las CDP con una mayor densidad se catalogan como flujos piroclásticos, y se caracterizan por su concentración de partículas y fragmentos sólidos, estos CDP tienden a encausarse por los valles de los ríos, y se originan por colapso gravitacional de las columnas eruptivas y de domos. Las CDP con menor densidad presentan una menor densidad por su alto contenido de gases, lo que hace que se distribuyan en un área mayor sobrepasando incluso altos topográficos (“Dufek, et al., 2015; Cole et al., 2015; Brown & Andrews, 2015” en (Servicio Geológico Colombiano SGC, 2015)). (Ver Figura 80). Existe gran variedad de efectos amenazantes por los CDP, entre estos se encuentra la destrucción por altas velocidades y temperaturas, impactos por fragmento de roca y enterramiento por depósitos, además de gases nocivos, asfixia e incineración (Jerez Heredia, 2009).

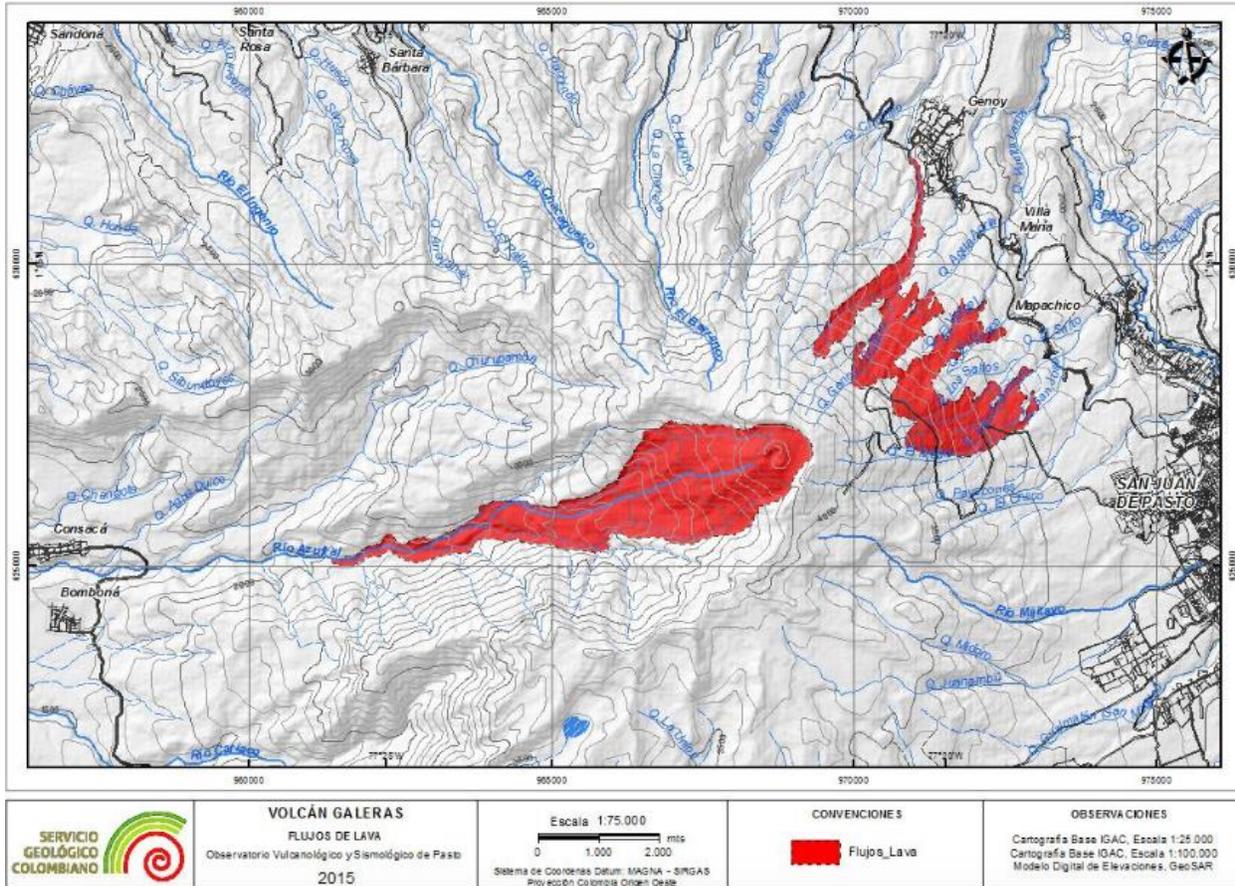
Figura 80 Zona que podría ser afectada por CDP (flujos y oleadas piroclásticas) generadas en erupciones del volcán Galeras.



Fuente: (Servicio Geológico Colombiano SGC, 2015)

Domos y flujos de lava: Son corrientes de roca fundida emitidas por el cráter o por grietas en los flancos del volcán. La lava, según su composición química y la geomorfología, pueden abarcar diferentes distancias, si por su composición química la lava es menos densa, puede fluir con mayor facilidad y abarcar una mayor distancia a diferencia de si es más densa. Cuando las lavas son muy viscosas se solidifican en cercanías a la fuente formando montículos escarpados conocidos como domos, los cuales taponan las vías por las que fluye la lava y pueden explotar o colapsar causando flujos piroclásticos. (Servicio Geológico Colombiano SGC, 2015). (Ver Figura 81)

Figura 81 Zonas de amenaza alta por flujos de lava en el volcán Galeras.

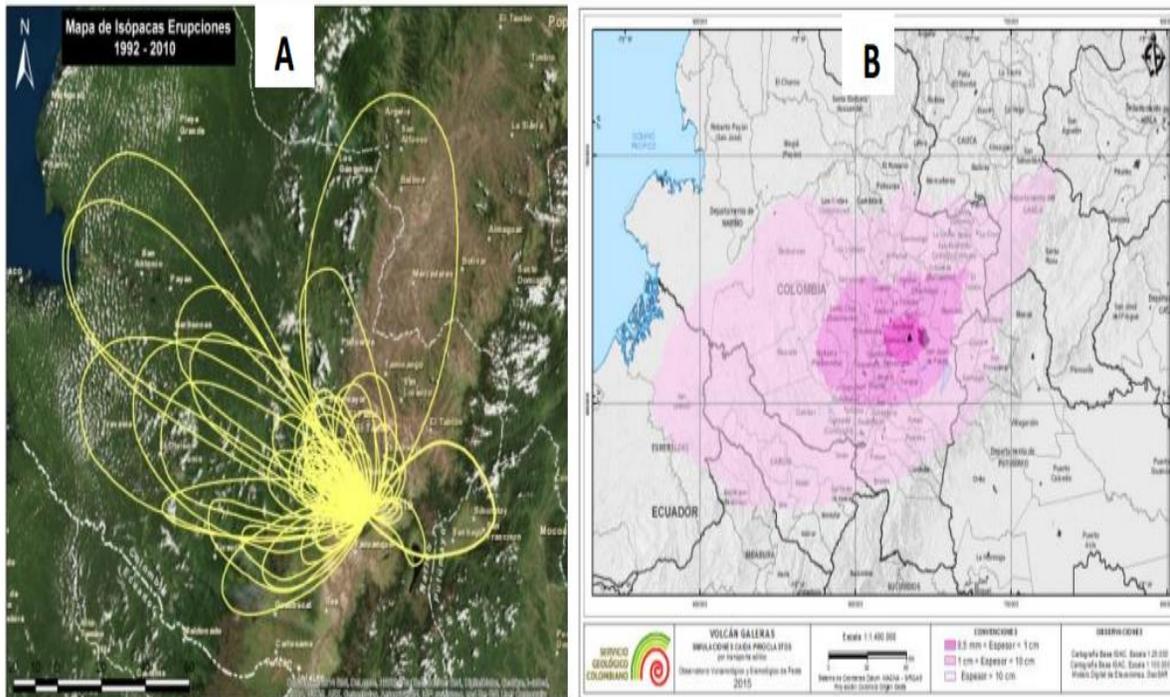


Fuente: (Servicio Geológico Colombiano SGC, 2015)

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 su tamaño no supera los 64 mm (ceniza y lapilli). Las partículas que superan este tamaño son emitidos como proyectiles balísticos (bloques y bombas volcánicas) (Servicio Geológico Colombiano SGC, 2015).

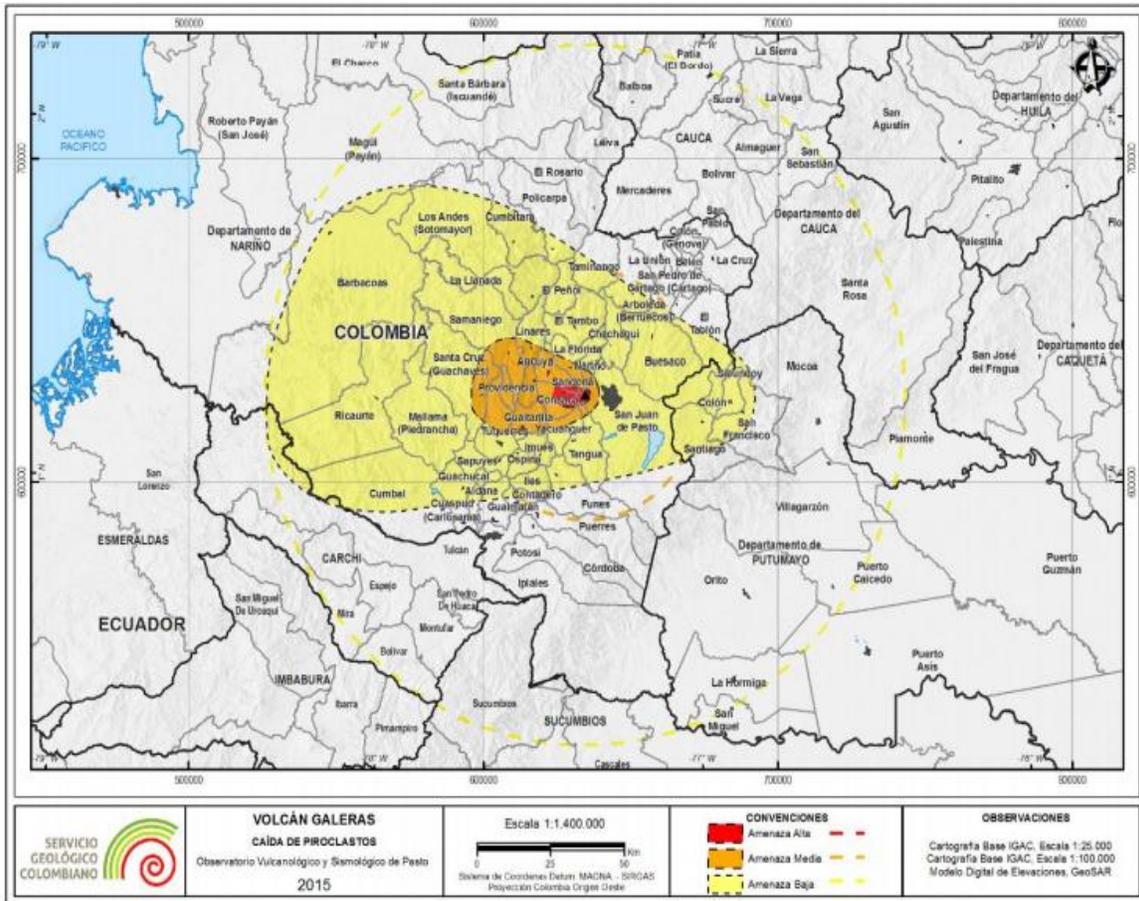
Amenaza por caída de piroclastos transportados eólicamente: Como consecuencia de las erupciones explosivas, los volcanes emiten a la atmósfera, a través de una columna eruptiva, partículas fragmentadas (piroclastos) que debido a su tamaño (ceniza, menor de 2 mm; lapilli, de 2 a 64 mm), son transportadas 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 (Figura 83). Las caídas de piroclastos pueden causar oscurecimiento del ambiente, afectaciones a la salud humana y animal, daños en infraestructuras y viviendas, pérdida parcial o total de cultivos y ganado, entre otros. (Servicio Geológico Colombiano SGC, 2015).

Figura 82A. Integración de los mapas de isópacos (1992 a 2010). B. Resultado de las simulaciones computacionales. (Servicio Geológico Colombiano SGC, 2015)



Fuente: (Servicio Geológico Colombiano SGC, 2015)

Figura 83 Zonificación de amenaza por piroclastos de caída transportados eólicamente.



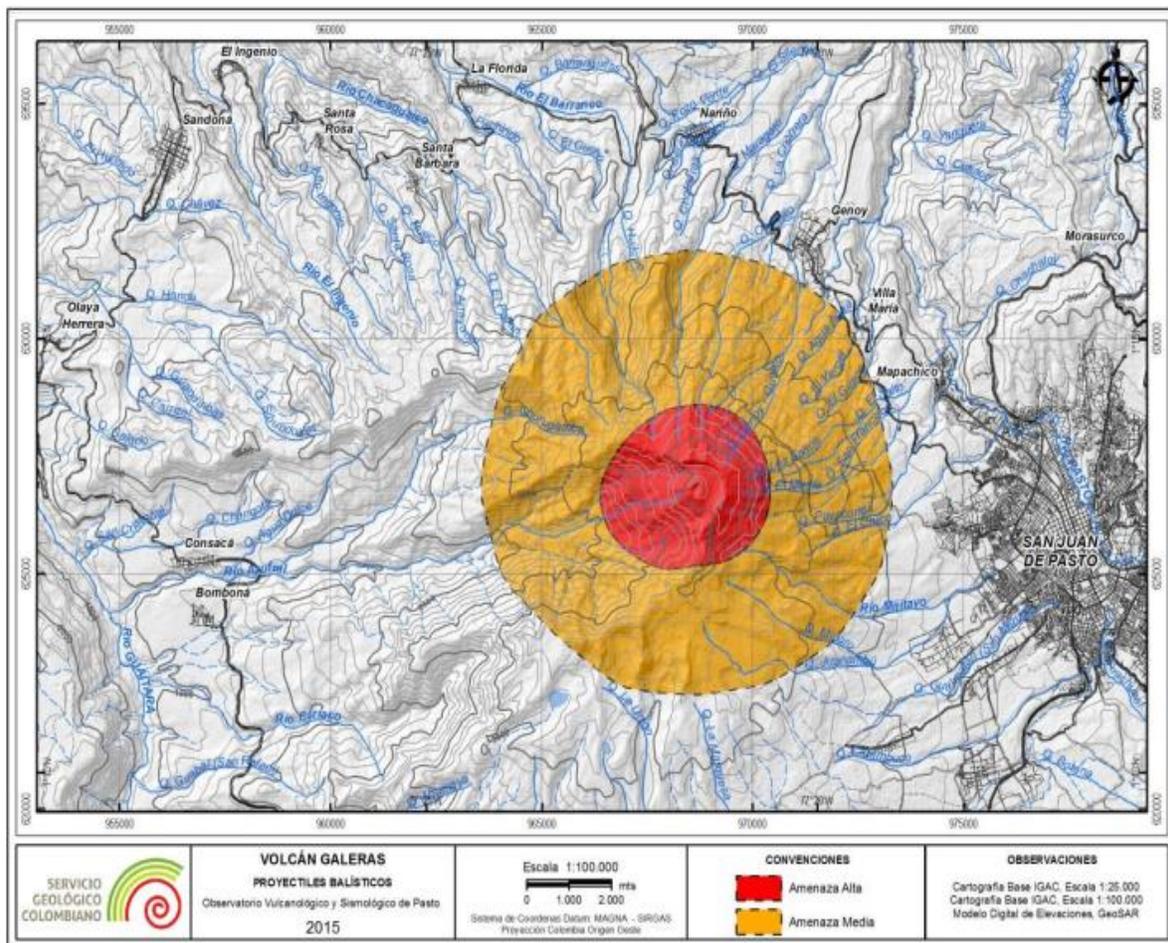
Fuente: (Servicio Geológico Colombiano SGC, 2015).

Por la dirección preferencial de los vientos, en la zona de amenaza alta se encuentran las veredas de Churupamba y San José del Municipio de Consacá, a la vez que las partes altas del Volcán Galeras. La zona de amenaza media abarca los centros poblados de Genoy, La Florida, Santa Bárbara, Sandoná, Ancuya, Linares, Providencia, Consacá, Bomboná, Yacuanquer y el corregimiento de Mapachico, entre otros. Finalmente en el área de amenaza baja se encuentran los centros poblados y zonas rurales de Pasto, El Tambo, El Peñol, Cumbitara, Los Andes, La Llanada, Samaniego, Barbacoas, Guachavez, Ricaurte, Cumbal, Guachucal, Aldana, Sapuyes, Ospina, Túquerres, Imués, Tangua y Funes; y en el departamento del Putumayo, las áreas rurales y centros poblados de Sibundoy, Santiago, Colón y San Francisco, entre otros (Servicio Geológico Colombiano SGC, 2015). (Ver Figura 83)

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. (Servicio Geológico Colombiano SGC, 2015). (Figura 84). Estos proyectiles balísticos causan afectaciones a las vidas y propiedades por la fuerza del impacto de caída de los fragmentos, enterramiento, gases nocivos, interrumpir las líneas de comunicación, entre otros. (Jerez Heredia, 2009). (Ver Figura 84).

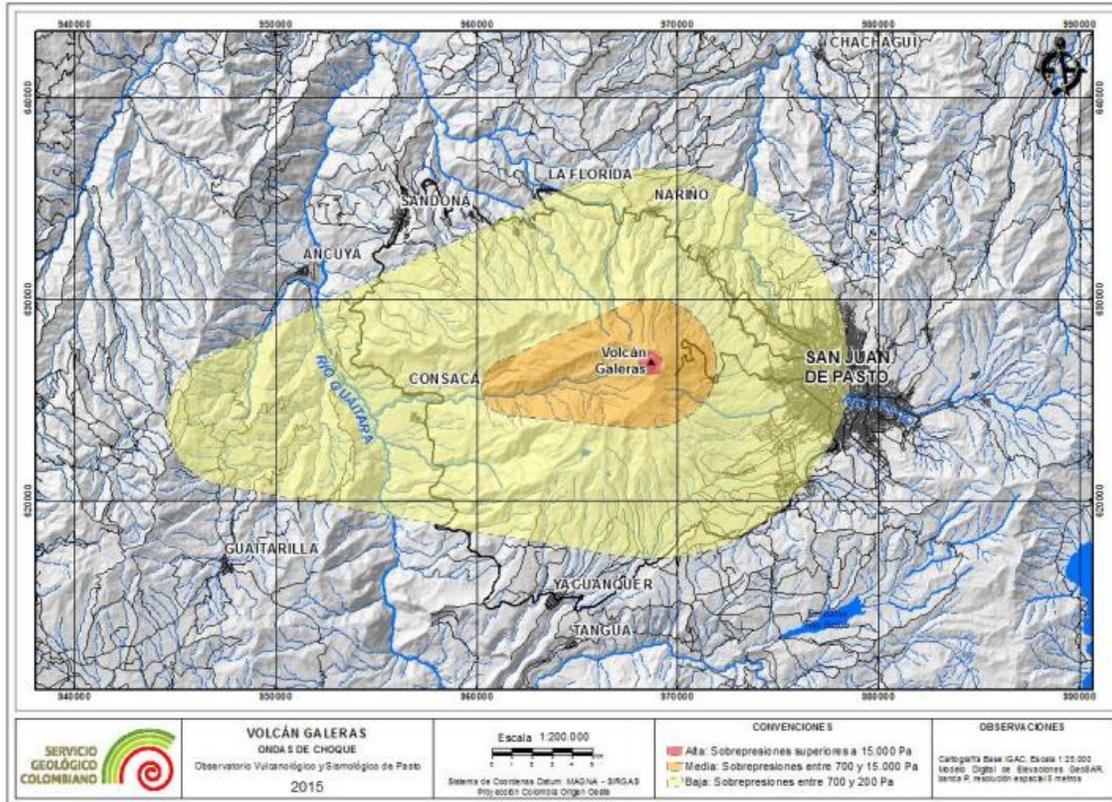
Figura 84 Zonificación de la amenaza por proyectiles basilicos



Fuente: (Servicio Geológico Colombiano SGC, 2015)

Amenazas por ondas de choque: Cuando se presenta una erupción volcánica, la descompresión del sistema produce explosiones que ocasionan ondas de choque, las cuales viajan a velocidades mayores a las del sonido. Estas ondas de choque producen vibraciones, rompimiento de vidrios, fisuras en paredes y conmoción de las personas afectadas por este fenómeno, entre otros (Servicio Geológico Colombiano SGC, 2015). (Ver Figura 85).

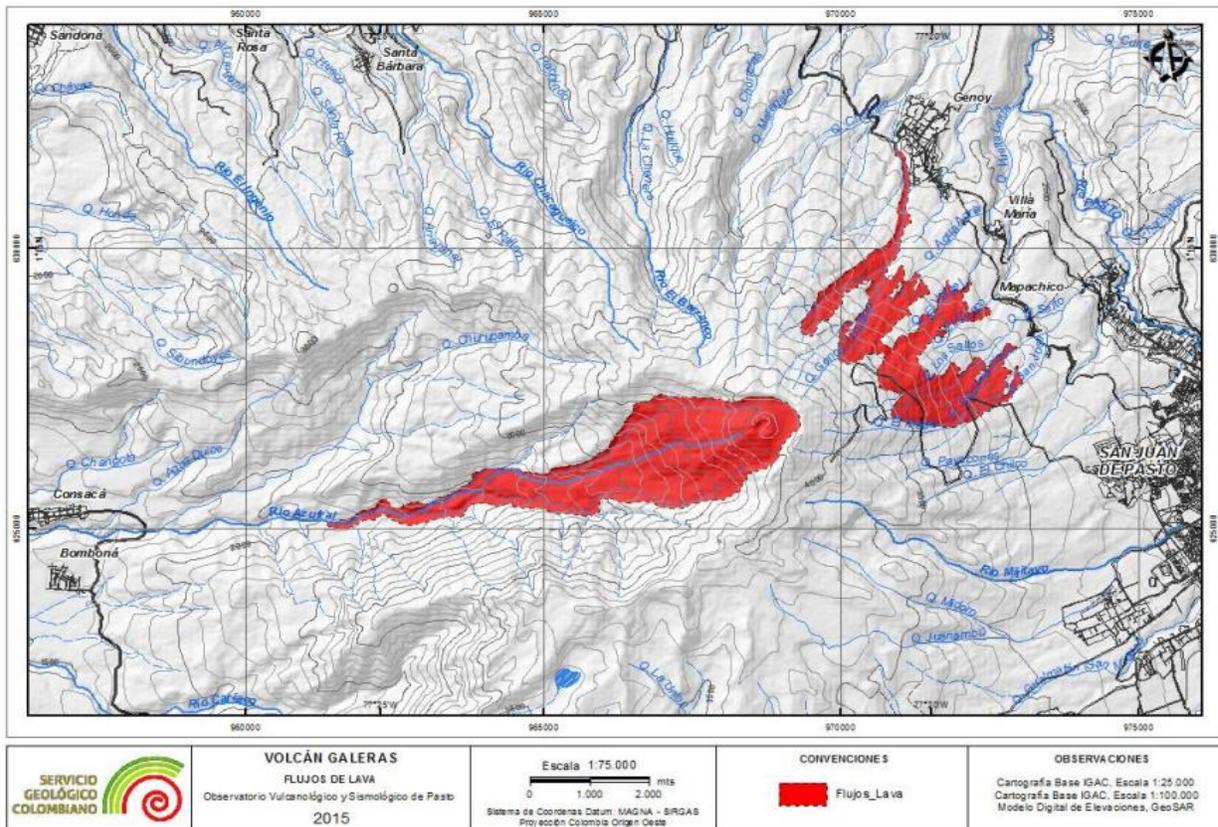
Figura 85 Zonificación para ondas de choque producidas por explosiones en el volcán Galeras.



Fuente: Tomado de Córdoba y del Risco (1998) en (Servicio Geológico Colombiano SGC, 2015).

Amenazas por flujos de lavas: Los flujos de lava son corrientes de roca fundida que fluyen entre los valles de ríos y quebradas que nacen en los volcanes, ocasionando destrucción 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.) (Figura 86).

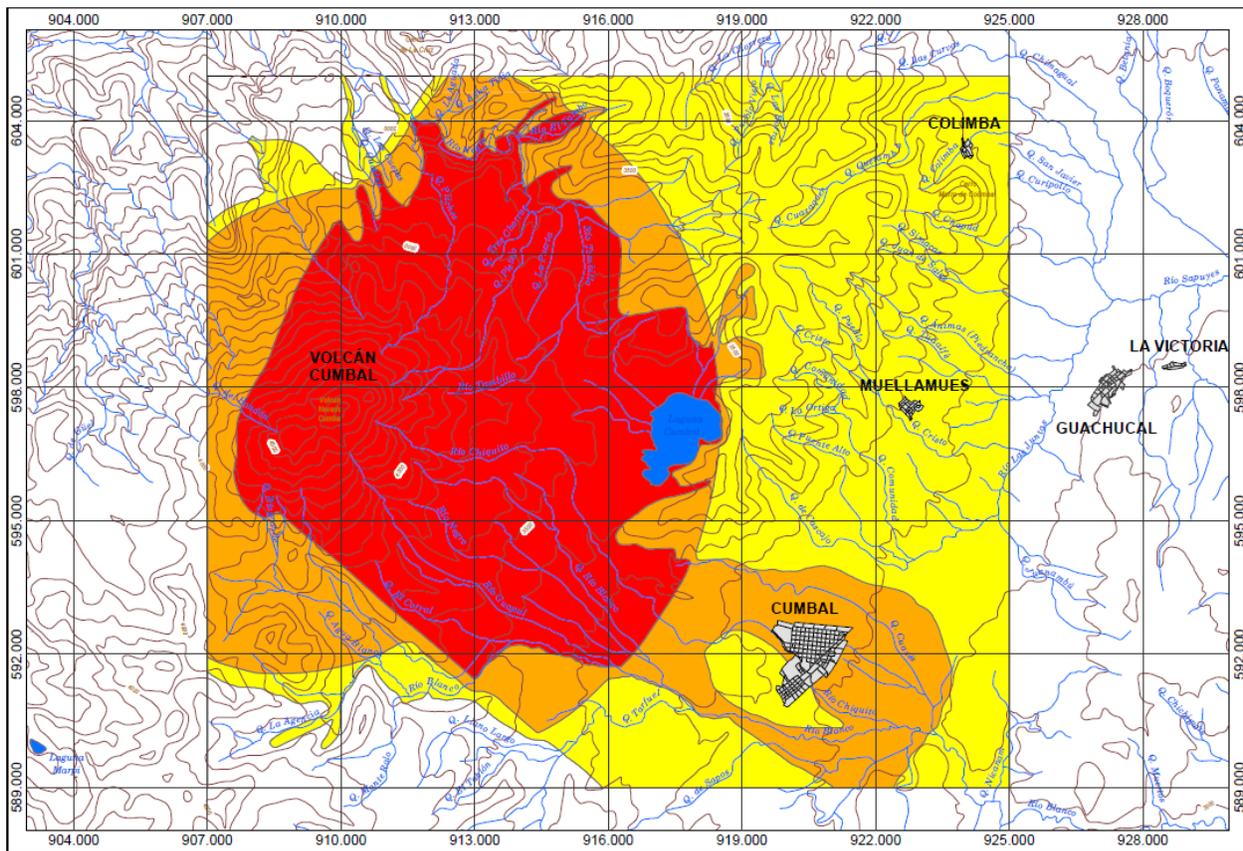
Figura 86 Zonas de amenaza alta por flujos de lava en el volcán Galeras.



Fuente: (Servicio Geológico Colombiano SGC, 2015)

Amenaza por flujos de lodo y flujos de escombros volcánicos (LAHARES): Los lahares se componen de agua, partículas sólidas y fragmentos de roca de diferentes tamaños, que pueden incorporar biomasa y que se desplazan por los cauces y valles de las quebradas y ríos. Según la variación de la pendiente del terreno, los lahares varían en velocidad y tamaño, y pueden alcanzar grandes distancias a partir de su punto de origen. Dependiendo del momento en que se generen estos fenómenos, respecto a la erupción volcánica, se clasifican en primarios (durante) y secundarios (después). Estos eventos se pueden generar directa o indirectamente por actividad volcánica, por una variedad de mecanismos que permiten la interacción del agua con materiales volcánicos y no volcánicos. Las fuentes de agua para formar lahares pueden provenir de nieve, de hielo, de lagos crátericos, de lluvias o de corrientes fluviales o reservorios de agua en el interior del volcán. (Servicio Geológico Colombiano SGC, 2015).(Figura 87).

Figura 88 Mapa de amenaza volcánica para el Volcán Cumbal



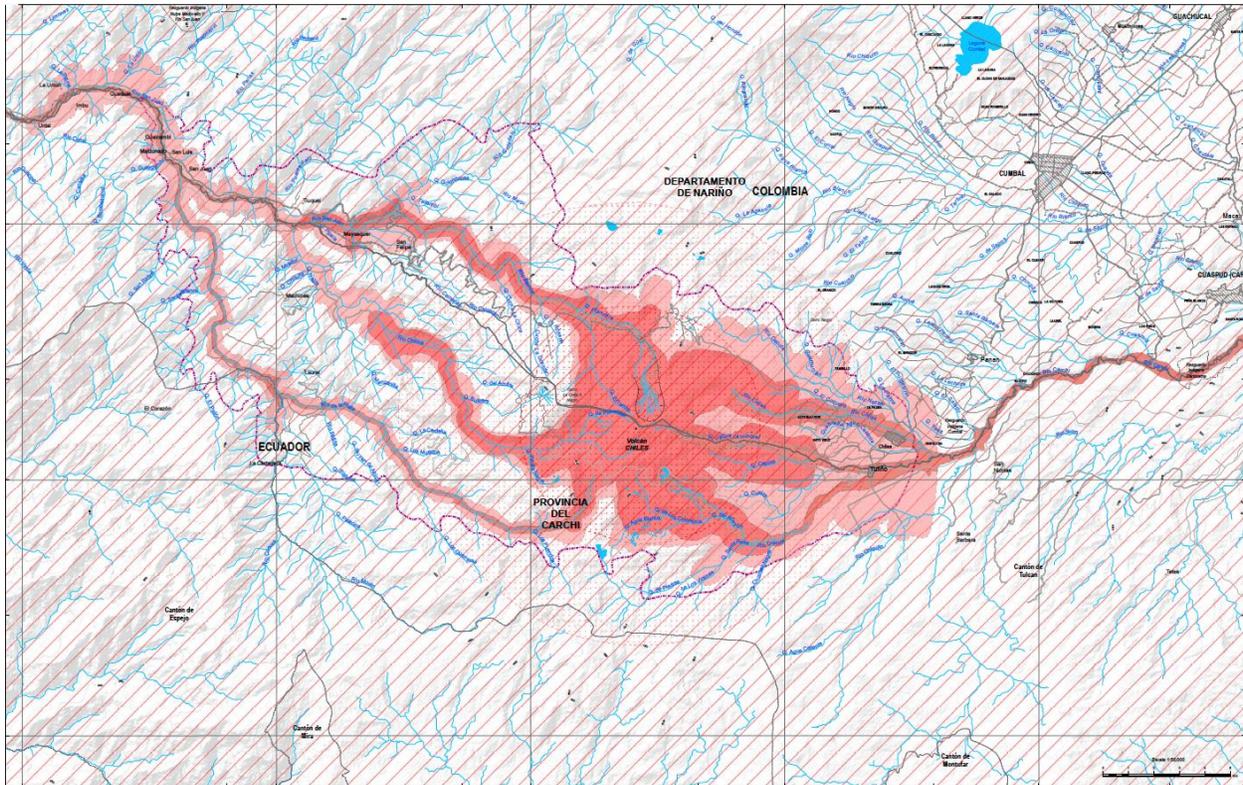
Fuente: (Servicio Geológico Colombiano SGC, s.f.)

Los municipios de Cumbal y Guachucal son los que presentan una amenaza más alta a eventos volcánicos, debido a su cercanía al Volcán Cumbal, esto se ve influenciado por las distintas corrientes que presentan patrones de drenaje radial centrífugo, comenzando en los alrededores de la cima del volcán, y patrón dendrítico, a medida que los drenajes erosionan otro tipo de litologías y geomorfologías. Estos drenajes son los encargados de transportar y encausar el material volcánico hacia las poblaciones cercanas, mediante eventos como lahares, corrientes de densidad piroclástica y flujos de lava, además de estar amenazados a eventos como caída de piroclastos y ondas de choque.

1.12.1.3 VOLCANES CHILES - CERRO NEGRO

Se encuentran ubicados en la frontera entre Colombia y Ecuador a 80 y 86 Km al SW de la ciudad de San Juan de Pasto respectivamente, con geformas resultados de la acción glaciaria ya extinta. Las alturas de las cimas volcánicas alcanzan los 4748 m.s.n.m. (Chiles) y 4470 m.s.n.m. (Cerro Negro) de donde nacen los afluentes con patrones de drenaje radiales excéntricos que llevan sus aguas al Río Guaitara, llamado Carchí en su nacimiento en el Volcán Chiles). (Servicio Geológico Colombiano SGC, s.f.)

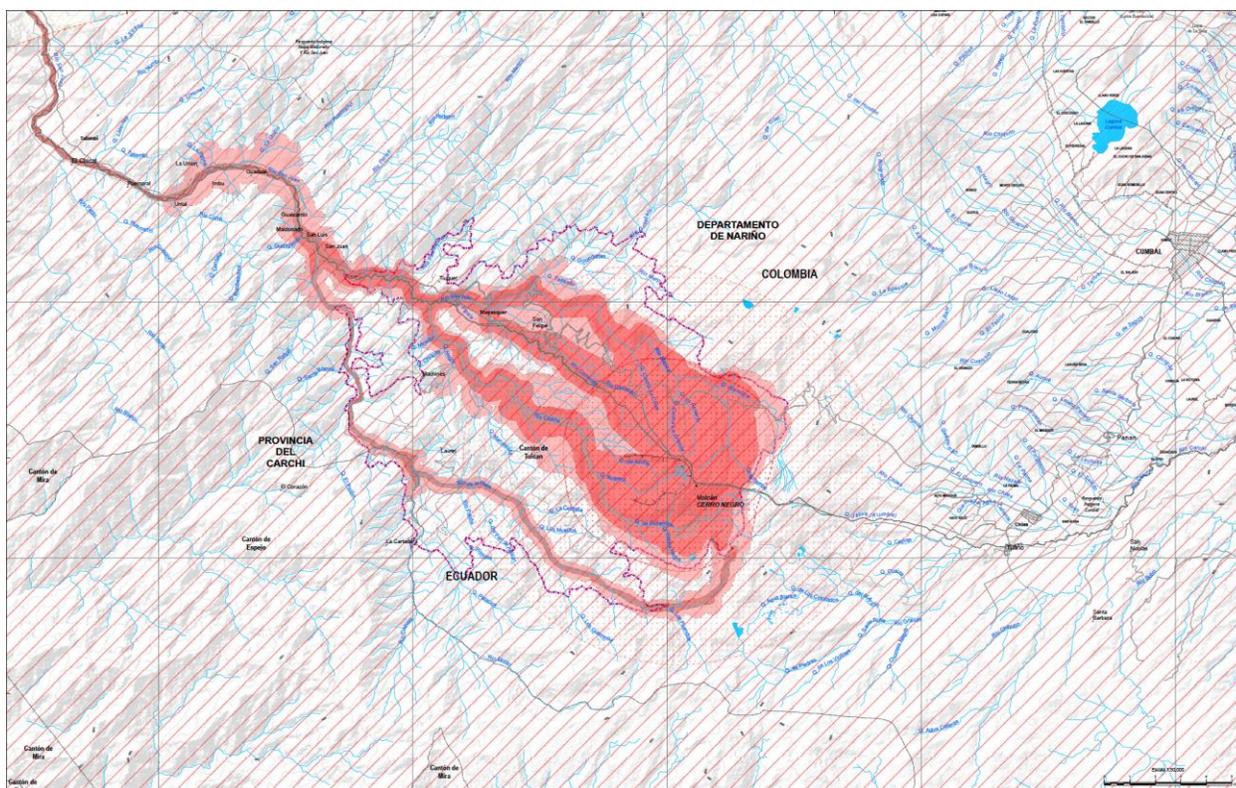
Figura 89 Mapa de Amenaza Volcánica del Volcán Chiles



Fuente: (Servicio Geológico Colombiano SGC, 2014)

En el mapa de amenaza volcánica para el Volcán Chiles (ver Figura 89) se observa un fuerte control por las redes hídricas, principalmente en la parte este por el Río Guaitara (o Río Carchi en inmediaciones con Ecuador), y en la parte oeste controlada por el Río San Juan. Estos drenajes son los encargados de transportar y encausar el material volcánico hacia las poblaciones cercanas, mediante eventos como lahares, corrientes de densidad piroclástica y flujos de lava, además de estar amenazados a eventos como caída de piroclastos y ondas de choque.

Figura 90 Mapa de Amenaza Volcánica del Volcán Cerro Negro



Fuente: (Servicio Geológico Colombiano, 2014)

Existe un fuerte control por el drenaje en el mapa de amenaza volcánica del Volcán Cerro Negro (ver Figura 90) donde el Río San Juan es el encargado de transportar y encausar el material volcánico hacia las poblaciones cercanas, mediante eventos como lahares, corrientes de densidad piroclástica y flujos de lava, además de estar amenazados a eventos como caída de piroclastos y ondas de choque.

1.12.1.4 VOLCÁN AZUFRAL

El Volcán Azufral se localiza en el Municipio de Sapuyes, en cercanía a la población de Túquerres. En la zona de influencia del Volcán Azufral se encuentran los municipios de Sapuyes, Túquerres y Santa Cruz.

1.12.2 Amenaza por Heladas

Se considera la ocurrencia de heladas cuando la temperatura del aire, registrada en el abrigo meteorológico (es decir a 2 metros sobre el nivel del suelo), es de 0°C. Desde el punto de vista agrometeorológico podría definirse una helada como la temperatura a la cual los tejidos de la planta comienzan a sufrir daño. En esta definición entran en juego aspectos fisiológicos, como la resistencia o susceptibilidad del cultivo a bajas temperaturas en sus diferentes estados de desarrollo, altura de la planta sobre el nivel del suelo y la temperatura de la hoja. (IDEAM, 2012)

Fisiológicamente se puede presentar helada en la planta, así no se presente el fenómeno desde el punto de vista climático a nivel de caseta. Además, en una noche de helada y bajo determinadas condiciones de la planta, la temperatura interna de la hoja puede ser más baja que la del aire, o sea que la intensidad de la helada, desde el punto de vista agronómico, puede ser mayor que la intensidad climática registrada (Fernandez R, 1995).

Este fenómeno puede presentar tres orígenes diferentes:

Por advección: se originan cuando una masa de aire frío procedente de las regiones polares invade una región. Se caracteriza por estar acompañada por viento, afectando los lugares más altos y son de carácter macro climático, es decir que son heladas de tipo general, la temperatura disminuye en una gran región. Pueden estar acompañadas de tiempo nublado y lluvioso. Generalmente suelen producir severos daños a todos los cultivos sin distinción de especie o variedad. Este tipo de heladas es característico de las latitudes medias y altas.

Por evaporación: se producen cuando después de una precipitación desciende la humedad relativa del aire, la vegetación intercepta parte de la precipitación reteniendo el agua en el follaje y troncos, se produce una intensa evaporación, el calor de evaporación que el agua necesita para pasar del estado líquido al gaseoso lo toma de las plantas y en consecuencia la temperatura de algunos órganos vegetales desciende a límites que ocasionan daños. La cantidad de agua evaporada, está en función de la humedad relativa, la temperatura y la velocidad del viento. (IDEAM, 2012)

Por radiación: se origina por la pérdida de calor que sufren las plantas y el suelo y que ceden a la atmósfera durante la noche por medio del proceso de radiación. Es la helada típica de las regiones tropicales y son factibles de presentarse a partir de los 2500 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m). Estas heladas ocurren al presentarse un balance de energía negativo, es decir, cuando se pierde durante la noche mayor cantidad de energía de la ganada durante el día.

En relación con los efectos externos que causan las heladas en las plantas, estas heladas se dividen a su vez en la helada blanca y la helada negra. La primera se produce a partir de gotas de rocío o por condensación sólida (paso del estado gaseoso al sólido, sin pasar por el estado líquido) de la humedad del aire, entonces se forma hielo cristalino en forma de agujas o plumas sobre la superficie de las hojas, dando origen a la escarcha. Para que se produzca este fenómeno, la humedad absoluta del aire debe de ser lo suficiente elevada. En el caso de la helada negra, no hay formación de rocío o escarcha y hay un contenido de humedad atmosférica muy bajo, estas sufren quemaduras en sus tejidos lo cual causa un efecto mucho más perjudicial que las primeras.

Como consecuencia de las temperaturas bajas, en la planta se suceden los siguientes procesos:

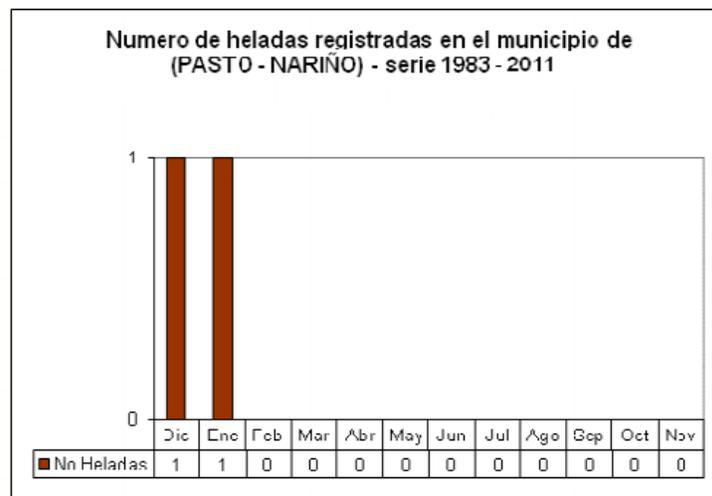
- Se produce un debilitamiento de la actividad funcional reduciéndose entre otras cosas las acciones enzimáticas, la intensidad respiratoria, la actividad fotosintética y la velocidad de absorción del agua.

- Existe un desplazamiento de los equilibrios biológicos frenándose la respiración, fotosíntesis, transpiración, absorción de agua y circulación ascendente.
- Finalmente se produce la muerte celular y la destrucción de los tejidos. Hay que tener en cuenta que la sensibilidad que un vegetal tiene al frío depende de su estado de desarrollo. Los estados fenológicos más vulnerables al frío son la floración y el cuajado de frutos (Fernández R., Jairo, 1995).

Las heladas por radiación, que se presentan con mayor frecuencia en el país, se originan por una pérdida de calor de los vegetales y el suelo por irradiación a la atmósfera durante la noche y presencia de alta radiación y temperatura en el día, con noches despejadas, con bajo contenido de humedad en el aire permitiendo una rápida pérdida de calor por efectos de la difusión solar.

Para el municipio de Pasto el IDEAM (ACTUALIZACION NOTA TECNICA HELADAS 2012 , 2012) reporta dos eventos durante los años 1983 a 2011. En estos eventos DesINVENTAR reporta que las autoridades agropecuarias de Nariño estimaron que algo más de 500 millones de pesos dejaron las pérdidas por la ocurrencia de estas heladas. Lo que corresponde a cerca de 45000 hectáreas de cultivos siendo los de cultivos de papa (con pérdidas que sobrepasan los 455 millones de pesos) de maíz (arrasadas un total de 25 mil hectáreas) y de hortalizas (similar a los casos anteriores) los más afectados.

Figura 91 Número de heladas registradas en el municipio de Pasto desde 1983 hasta 2011.



Fuente: (IDEAM, 2012)

1.12.3 Amenaza por Granizadas

El granizo es un tipo de precipitación de partículas irregulares de hielo. Se forma en tormentas intensas en las que se producen gotas de agua sobre enfriadas, es decir, aún líquidas, pero a temperaturas por debajo de su punto normal de congelación (0 °C). En consecuencia, caen al suelo sin fundirse. En la Tabla 45 se presentan los eventos históricos reportados en la base de datos de DesInventar para granizadas en los municipios de Ipiales, Córdoba, Sapuyes y Potosí. Sin embargo, esta información no pudo ser espacializada ya que no cuenta con coordenadas para la ubicación de los mismos en la cuenca.

Tabla 45. Registro de eventos históricos por granizadas en la subzona hidrográfica del Río Guáitara.

Tipo de Evento	Municipio	Causa	Fuete	Observaciones
Granizada	Ipiales	Condiciones atmosféricas	EL TIEMPO 2004/11/20	-
Granizada	Córdoba	Condiciones atmosféricas	UNGRD	CDGRD reporta lluvias con granizada se presenta afectacion en cultivos pendientes a mas informacion y seguimiento
Granizada	Sapuyes	Condiciones atmosféricas	UNGRD	El coordinador del cmgrd sapuyes informa que hoy en la tarde se presento lluvias con granizada que afecto el techo de la ese y la casa de la cultura; en el momento se encuentran en evaluacion de viviendas afectadas del casco urbano y la vereda de malaver; se recibe informacion via e-mail; en seguimiento DLM -708
Granizada	Córdoba	Condiciones atmosféricas	UNGRD	El día 30 de octubre del presente año se presentaron fuertes lluvias acompañadas de granizo. Principales afectaciones en las veredas de; Muesmueran Bajo; Arrayanes; Pulis; Mirador; Muesmueran Alto; Payan; ; Payan Alto; Pueblo Alto; Pueblo Bajo; San Francisco de Payan; San Juan Chico; San Pablo de Payan; Tандаud; Tequiz y 18 de mayo. En el municipio de cordoba departamento de nariño. 92 viviendas afectadas en sus techos. 192 familias afectadas en sus cultivos (261 hectareas).
Granizada	Ipiales	Condiciones atmosféricas	UNGRD	El pasado jueves 30 de octubre del presente año; se presento una

Tipo de Evento	Municipio	Causa	Fuete	Observaciones
				granizada de grandes proporciones en el corregimiento de Yaramal y sus veredas; Cutuaquer alto y bajo; la Orejuela; Llano Grande; Mirador; Taques; El Rosario; El Salado; entre otras; en el municipio de Ipiales; por lo que vieron afectadas familias en la perdida de sus cultivos (1307 hectareas) y animales de cria; asi como daños en techos de sus viviendas.
Granizada	Potosí	Condiciones atmosféricas	UNGRD	El 30 de octubre del presente año se presentó una fuerte tormenta de lluvia y granizo la cual acabo con mayor parte de cultivos que sembraron nuestros campesinos. Asi mismo por este fenomeno se vieron afectadas en sus estructuras y techos. 159 viviendas afectadas; 62 en el casco urbano y 97 en el sector rural. Un escuela afectada en sus techos; y 1832 hectareas de varios cultivos. 1103 familias afectadas que perdieron sus cultivos.

Fuente: Consorcio POMCA 2015 053

1.13 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)

1.13.1 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 92:

Figura 92 Variables que incluyen la exposición en función a la vulnerabilidad



Fuente: Consorcio POMCA 2015 053

1.13.1.1 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 siguiente ecuación.

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

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.

Cobertura de la tierra	Índice de pérdidas											
	Avenidas torrenciales			Incendios de la cobertura vegetal			Inundaciones			Mov. Masa		
	alta	media	baja	alta	media	baja	alta	media	baja	alta	media	baja
ZONAS URBANIZADAS	0,92641	0,447153	0	0,999919	0,999891	0	0,86475	0,799645	0	0,923797	0,736289	0
ZONAS INDUSTRIALES Y REDES DE COMUNICACIÓN	0,889853	0,444021	0	0,999992	1	0	0,967552	0,943132	0	0,694379	0,527834	0
CULTIVOS TRANSITORIOS	0,952966	0,372262	0	0,95315	0,867487	0	0,70316	0,898479	0	0,744125	0,465532	0
PASTOS	0,888648	0,407956	0	0,865812	0,351951	0	0,955763	0,962365	0	0,774155	0,453101	0
ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	0,88444	0,396806	0	0,822117	0,361677	0	0,960861	0,94496	0	0,646724	0,394759	0
BOSQUES			0			0		0,98226	0		0,34846	0

Cobertura de la tierra	Índice de pérdidas											
	Avenidas torrenciales			Incendios de la cobertura vegetal			Inundaciones			Mov. Masa		
	alta	media	baja	alta	media	baja	alta	media	baja	alta	media	baja
	0,836845	0,600557		0,812845	0,227133		0,992996			0,725508		
ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA Y/O ARBUSTIVA	0,801869	0,783355	0	0,805038	0,286194	0	0,996517	0,985515	0	0,685444	0,529721	0
ÁREAS ABIERTAS SIN O CON POCA VEGETACIÓN	0,899037	0,946901	0	0,999477	0,999619	0	0,986939	0,981359	0	0,781373	0,353099	0
AGUAS CONTINENTALES	0,523638	0,589283	0			0	0,641044	0,622032	0	0,892032	0,644311	0

Fuente: Consorcio POMCA 2015 053

1.13.1.1.1 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.

- Formato: Vector tipo polígono.

- Fuente: DANE.

Tabla 46. Valores por hectárea de densidad de población

ID	Municipio	DEPARTAMEN	Den_Hab
1	POTOSÍ	NARIÑO	0,265855908
2	CÓRDOBA	NARIÑO	0,383049316
3	IPIALES	NARIÑO	0,227854248
4	CUASPUD (Carlosama)	NARIÑO	1,098553263
5	PUERRES	NARIÑO	0,1526489
6	CONTADERO	NARIÑO	1,073763187
7	GUALMATÁN	NARIÑO	1,184195718
8	ALDANA	NARIÑO	0,982270202
9	PUPIALES	NARIÑO	1,038708347
10	ILES	NARIÑO	0,842312447
11	GUACHUCAL	NARIÑO	0,815224809
12	FUNES	NARIÑO	0,111259388
13	OSPINA	NARIÑO	0,971397611
14	CUMBAL	NARIÑO	0,31937064
15	SAPUYES	NARIÑO	0,428235615
16	IMUÉS	NARIÑO	0,693811883
17	YACUANQUER	NARIÑO	0,796296383
18	TANGUA	NARIÑO	0,335982561
19	GUAITARILLA	NARIÑO	0,670987957
20	CONSACÁ	NARIÑO	0,636848132
21	TÚQUERRES	NARIÑO	1,071940747
22	PROVIDENCIA	NARIÑO	1,970627633
23	ANCUYA	NARIÑO	0,798437882

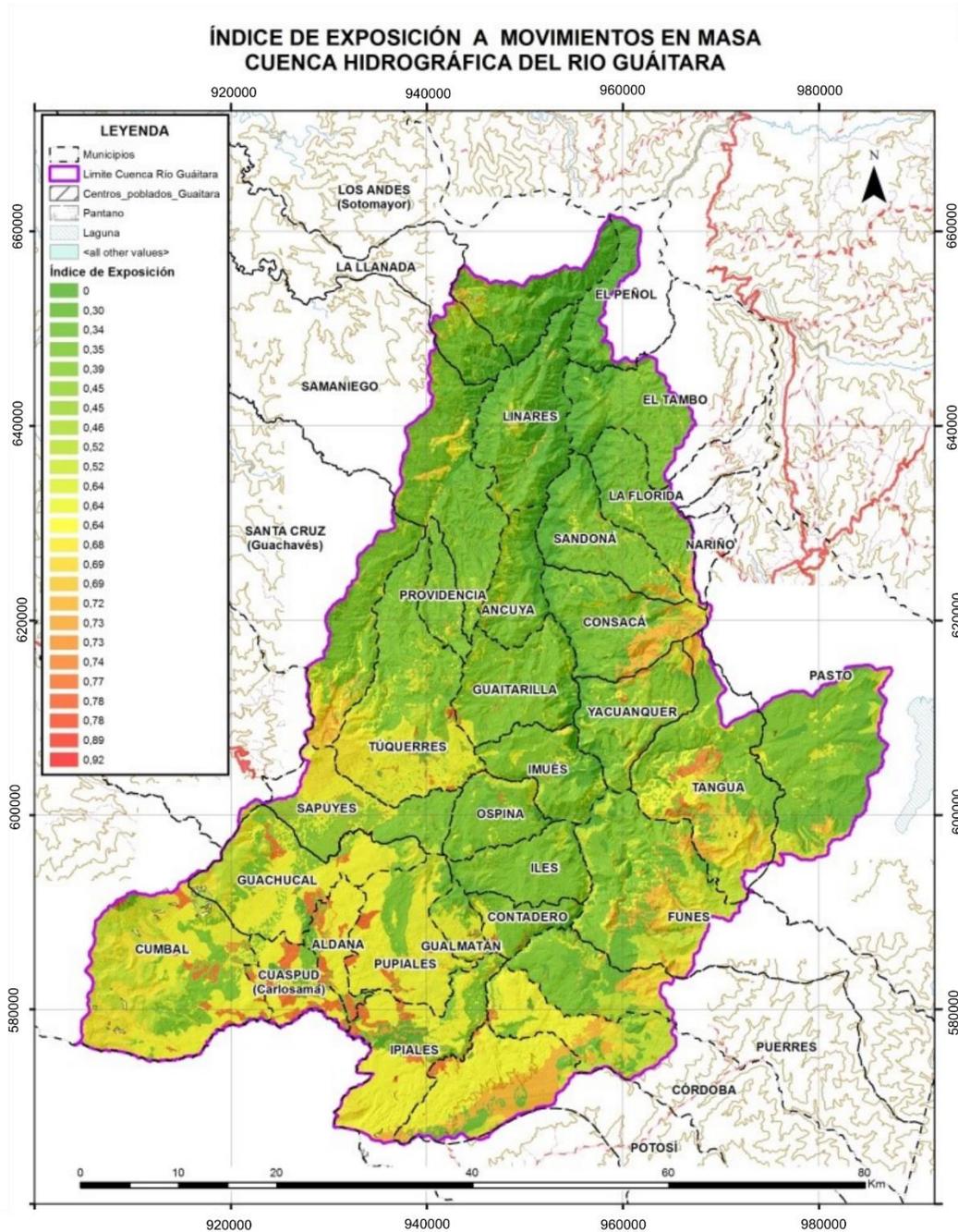
ID	Municipio	DEPARTAMEN	Den_Hab
24	PASTO	NARIÑO	0,693861958
25	SANDONÁ	NARIÑO	1,362014913
26	LA FLORIDA	NARIÑO	0,568996331
27	SANTA CRUZ	NARIÑO	0,400106868
28	LINARES	NARIÑO	0,565308502
29	EL TAMBO	NARIÑO	0,282539393
30	SAMANIEGO	NARIÑO	0,508326119
31	EL PEÑOL	NARIÑO	0,45396247
32	LA LLANADA	NARIÑO	0,160979112
33	LOS ANDES (Sotomayor)	NARIÑO	0,122576736

Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

1.13.1.1.2 Índice de exposición a movimientos en masa:

Por movimientos en masa la cuenca hidrográfica del Río Guátara presenta los mayores índices de exposición en la región sur (Figura 93), con un grado mayor de pérdida en los municipios de Potosí, Ipiales, Pupiales, Guachucal, Cuaspud (Carlosama), Aldana, Córdoba y Cumbal (afectando sobretodo áreas agrícolas heterogéneas y bosques); junto con algunas zonas de la región oriental del municipio de Consacá, la región sur de los municipios de Tangua, Túquerres, Santa Cruz (Guachaves) y Funes y la parte occidental del municipio de Puerres.

Figura 93 Índice de exposición a movimientos en masa



Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

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 47:

Tabla 47. Distribución de porcentual de pérdida por movimientos en masa para la cuenca hidrográfica del Río Guátara

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
Aldana	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	17,87	20,50	21,04	59,42	30,08	34,51	35,41
		Zonas industriales y redes de comunicación	43,70	120,40	216,49	380,58	11,48	31,64	56,88
	Tierras agrícolas	Pastos	794,93	307,61	1,44	1103,98	72,01	27,86	0,13
		Áreas agrícolas heterogéneas	2901,91	126,06	1,43	3029,40	95,79	4,16	0,05
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	107,24	2,29	0,02	109,55	97,89	2,09	0,02
	Aguas superficiales	Aguas continentales	1,69	7,56	2,18	11,42	14,80	66,16	19,05
	Total			3867,34	584,42	242,59	4694,36	82,38	12,45
Ancuya	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,01	3,35	19,88	23,22	0,01	14,40	85,60
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,57	36,80	6,47	43,84	1,31	83,93	14,76
	Tierras agrícolas	Pastos	2,54	82,11	216,20	300,85	0,84	27,29	71,86
		Áreas agrícolas heterogéneas	150,05	3772,49	1210,16	5132,71	2,92	73,50	23,58
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	44,55	374,02	68,91	487,48	9,14	76,72	14,14
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	50,92	578,95	295,35	925,22	5,50	62,57	31,92

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja	
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,87	7,49	40,86	49,23	1,77	15,21	83,01	
	Total		249,51	4855,21	1857,84	6962,56	3,58	69,73	26,68	
Consacá	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,00	17,48	68,92	86,41	0,00	20,23	79,76	
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,18	47,62	18,67	66,47	0,26	71,64	28,09	
	Tierras agrícolas	Pastos	3,44	316,50	625,17	945,10	0,36	33,49	66,15	
		Áreas agrícolas heterogéneas	56,43	3854,48	438,73	4349,64	1,30	88,62	10,09	
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	2224,51	2548,85	161,11	4934,47	45,08	51,65	3,27	
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	386,24	726,87	364,89	1478,00	26,13	49,18	24,69	
	Aguas superficiales	Aguas continentales	1,43	4,11	14,92	20,47	6,99	20,10	72,91	
	Total		2672,23	7515,92	1692,42	11880,57	22,49	63,26	14,25	
	Contadero	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	6,80	13,29	24,25	44,33	15,33	29,97	54,70
			Zonas industriales y redes de comunicación	9,13	6,39	0,01	15,52	58,80	41,20	0,01
Tierras agrícolas		Pastos	97,87	805,15	317,01	1220,03	8,02	65,99	25,98	
		Áreas agrícolas heterogéneas	538,26	2233,10	4,75	2776,10	19,39	80,44	0,17	

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja	
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	54,22	211,96	0,79	266,96	20,31	79,39	0,30	
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,35	5,53	2,19	8,07	4,37	68,45	27,18	
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,66	2,69	20,21	23,56	2,80	11,41	85,78	
	Total		707,28	3278,09	369,21	4354,58	16,24	75,28	8,48	
Córdoba	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	8,13	0,77	45,23	54,14	15,02	1,43	83,55	
		Zonas industriales y redes de comunicación	31,64	4,15	0,01	35,79	88,39	11,59	0,02	
	Tierras agrícolas	Pastos	105,09	45,78	0,01	150,87	69,66	30,34	0,01	
		Áreas agrícolas heterogéneas	3988,55	573,60	2,39	4564,54	87,38	12,57	0,05	
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	834,46	970,47	0,01	1804,93	46,23	53,77	0,01	
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	769,22	2695,94	0,01	3465,16	22,20	77,80	0,01	
	Aguas superficiales	Aguas continentales	21,68	19,71	0,01	41,38	52,38	47,62	0,01	
	Total		5758,77	4310,42	47,63	10116,82	56,92	42,61	0,47	
	Cuaspud (Carlosamal)	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	12,85	14,97	29,09	56,91	22,59	26,30	51,11
			Zonas industriales y redes de comunicación	60,33	21,84	4,46	86,64	69,64	25,21	5,15

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja	
	Tierras agrícolas	Cultivos permanentes	272,47	0,01	0,01	272,47	100,00	0,01	0,01	
		Pastos	1389,08	334,43	0,11	1723,62	80,59	19,40	0,01	
		Áreas agrícolas heterogéneas	2871,51	753,44	1,16	3626,10	79,19	20,78	0,03	
	Aguas superficiales	Aguas continentales	23,84	11,05	0,03	34,93	68,27	31,64	0,09	
	Total		4630,09	1135,73	34,85	5800,67	79,82	19,58	0,60	
Cumbal	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	22,97	121,58	18,99	163,54	14,05	74,34	11,61	
		Zonas industriales y redes de comunicación	135,61	53,43	0,02	189,06	71,73	28,26	0,01	
	Tierras agrícolas	Pastos	975,81	995,20	0,00	1971,01	49,51	50,49	0,00	
		Áreas agrícolas heterogéneas	7630,90	3348,23	0,88	10980,01	69,50	30,49	0,01	
	Bosques y áreas semi naturales	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	6116,94	5308,89	0,01	11425,83	53,54	46,46	0,01	
		Áreas abiertas sin o con poca vegetación	79,48	239,29	0,01	318,77	24,93	75,07	0,01	
	Aguas superficiales	Aguas continentales	34,19	187,38	0,01	221,57	15,43	84,57	0,01	
	Total		1499,590	10254,01	19,89	25269,80	59,34	40,58	0,08	
	El peñol	Territorios artificializados	Zonas industriales y redes de comunicación	0,54	0,87	26,37	27,78	1,95	3,14	94,91

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Tierras agrícolas	Pastos	1,32	14,29	806,46	822,07	0,16	1,74	98,10
		Áreas agrícolas heterogéneas	0,72	220,26	960,93	1181,92	0,06	18,64	81,30
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	23,84	135,93	154,37	314,13	7,59	43,27	49,14
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,72	28,57	2269,83	2299,12	0,03	1,24	98,73
		Áreas abiertas sin o con poca vegetación	0,01	0,01	2,95	2,95	0,01	0,01	100,00
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,01	0,01	8,17	8,17	0,01	0,01	100,00
	Total		27,15	399,92	4229,08	4656,15	0,58	8,59	90,83
El Tambo	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	1,23	4,87	63,75	69,85	1,76	6,97	91,27
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,93	39,82	19,79	60,55	1,54	65,77	32,69
	Tierras agrícolas	Pastos	3,24	429,07	458,81	891,12	0,36	48,15	51,49
		Áreas agrícolas heterogéneas	79,58	4468,63	1158,42	5706,64	1,39	78,31	20,30
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	26,15	1978,45	799,42	2804,02	0,93	70,56	28,51
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	1,68	10,51	527,17	539,36	0,31	1,95	97,74
		Áreas abiertas sin o con poca vegetación	0,31	0,54	6,97	7,82	3,93	6,90	89,17

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,01	0,01	20,84	20,84	0,01	0,01	100,00
	Total		113,12	6931,89	3055,18	10100,19	1,12	68,63	30,25
Funes	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,01	3,44	60,98	64,42	0,01	5,33	94,67
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,93	24,40	7,24	32,57	2,85	74,91	22,24
	Tierras agrícolas	Pastos	46,50	965,56	361,04	1373,10	3,39	70,32	26,29
		Áreas agrícolas heterogéneas	623,83	5503,47	16,38	6143,69	10,15	89,58	0,27
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	2020,84	3219,11	0,01	5239,95	38,57	61,43	0,01
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	2344,09	4559,63	491,99	7395,71	31,70	61,65	6,65
		Áreas abiertas sin o con poca vegetación	1,58	0,71	7,36	9,64	16,34	7,38	76,28
	Aguas superficiales	Aguas continentales	16,65	73,24	44,65	134,54	12,37	54,44	33,19
	Total		5054,41	14349,56	989,65	20393,62	24,78	70,36	4,85
	Guachucal	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	27,22	22,35	48,31	97,87	27,81	22,84
Zonas industriales y redes de comunicación			200,91	124,60	232,07	557,59	36,03	22,35	41,62
Tierras agrícolas		Pastos	629,44	659,11	0,65	1289,20	48,82	51,13	0,05

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja	
		Áreas agrícolas heterogéneas	7585,68	2682,92	2,53	10271,13	73,85	26,12	0,02	
	Bosques y áreas seminaturales	Bosques	48,74	1,15	0,01	49,89	97,69	2,31	0,01	
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	1001,45	2194,83	0,01	3196,28	31,33	68,67	0,01	
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,01	44,71	0,01	44,71	0,01	100,00	0,01	
	Total		9493,44	5729,68	283,55	15506,67	61,22	36,95	1,83	
Guaitarilla	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	1,00	22,00	15,35	38,36	2,62	57,35	40,03	
		Zonas industriales y redes de comunicación	1,38	36,83	2,59	40,80	3,39	90,27	6,34	
	Tierras agrícolas	Pastos	74,44	1279,66	681,34	2035,44	3,66	62,87	33,47	
		Áreas agrícolas heterogéneas	847,46	7784,14	282,67	8914,27	9,51	87,32	3,17	
	Bosques y áreas seminaturales	Bosques	49,27	543,64	27,95	620,86	7,94	87,56	4,50	
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	32,29	278,20	24,59	335,08	9,64	83,02	7,34	
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,01	0,00	31,98	31,98	0,01	0,01	99,99	
	Total		1005,85	9944,47	1066,47	12016,80	8,37	82,75	8,87	
	Gualaquiza		Zonas urbanizadas	18,28	12,81	41,28	72,37	25,26	17,70	57,03

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Territorios artificializados	Zonas industriales y redes de comunicación	21,84	3,84	0,01	25,68	85,03	14,97	0,01
	Tierras agrícolas	Pastos	2,81	1,02	0,01	3,82	73,43	26,57	0,01
		Áreas agrícolas heterogéneas	1585,28	574,55	1,99	2161,82	73,33	26,58	0,09
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	169,27	546,59	0,01	715,87	23,65	76,35	0,01
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3,82	26,90	0,01	30,71	12,42	87,58	0,01
Total			1801,29	1165,71	43,26	3010,27	59,84	38,72	1,44
Illes	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,48	19,49	140,87	160,84	0,30	12,12	87,58
	Tierras agrícolas	Pastos	1,46	664,12	66,03	731,61	0,20	90,77	9,03
		Áreas agrícolas heterogéneas	136,39	5965,78	10,14	6112,31	2,23	97,60	0,17
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	27,48	661,05	2,57	691,11	3,98	95,65	0,37
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	8,95	311,10	23,65	343,69	2,60	90,52	6,88
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,85	8,29	13,60	22,74	3,74	36,46	59,80
Total			175,62	7629,82	256,85	8062,29	2,18	94,64	3,19
Imúes		Zonas urbanizadas	0,22	8,12	27,90	36,24	0,59	22,42	76,99

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Territorios artificializados	Zonas industriales y redes de comunicación	1,51	4,09	4,04	9,64	15,70	42,37	41,93
	Tierras agrícolas	Pastos	28,12	857,25	955,44	1840,81	1,53	46,57	51,90
		Áreas agrícolas heterogéneas	397,24	4450,74	17,24	4865,22	8,16	91,48	0,35
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	20,09	177,69	21,18	218,97	9,18	81,15	9,67
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	136,05	637,89	167,97	941,92	14,44	67,72	17,83
	Aguas superficiales	Aguas continentales	2,14	15,44	74,72	92,29	2,31	16,73	80,96
	Total			585,36	6151,23	1268,49	8005,08	7,31	76,84
Ipiiales	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	25,74	288,77	808,07	1122,58	2,29	25,72	71,98
		Zonas industriales y redes de comunicación	86,60	49,19	10,09	145,88	59,37	33,72	6,92
	Tierras agrícolas	Pastos	888,45	951,55	9,13	1849,13	48,05	51,46	0,49
		Áreas agrícolas heterogéneas	8685,51	1901,55	9,06	10596,11	81,97	17,95	0,09
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	280,76	25,78	0,01	306,54	91,59	8,41	0,01
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	578,89	12,89	0,01	591,78	97,82	2,18	0,01

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Aguas superficiales	Aguas continentales	15,15	51,51	12,11	78,77	19,24	65,39	15,37
	Total		1056,11	3281,23	848,46	1469,080	71,89	22,34	5,78
La florida	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,07	8,48	16,92	25,46	0,28	33,29	66,43
		Zonas industriales y redes de comunicación	1,17	45,14	3,04	49,34	2,36	91,48	6,16
	Tierras agrícolas	Pastos	0,47	65,97	115,31	181,75	0,26	36,30	63,44
		Áreas agrícolas heterogéneas	205,40	4691,84	421,67	5318,91	3,86	88,21	7,93
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	332,63	1794,44	540,12	2667,20	12,47	67,28	20,25
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	59,89	233,32	77,90	371,11	16,14	62,87	20,99
	Total		599,62	6839,19	1174,95	8613,77	6,96	79,40	13,64
La llanada	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,01	3,03	17,81	20,84	0,01	14,53	85,47
		Zonas industriales y redes de comunicación	1,88	77,70	12,57	92,15	2,04	84,32	13,64
	Tierras agrícolas	Pastos	2,48	30,49	98,72	131,70	1,89	23,15	74,96
		Áreas agrícolas heterogéneas	26,65	1131,94	83,41	1242,00	2,15	91,14	6,72
		Bosques	195,39	985,27	93,57	1274,24	15,33	77,32	7,34

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Bosques y áreas semi naturales	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	41,86	527,54	705,47	1274,87	3,28	41,38	55,34
		Áreas abiertas sin o con poca vegetación	0,46	1,55	3,46	5,46	8,34	28,38	63,28
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,01	0,00	2,62	2,62	0,01	0,03	99,97
	Total		268,73	2757,53	1017,62	4043,88	6,65	68,19	25,16
Linaires	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,26	10,35	38,44	49,05	0,52	21,11	78,37
		Zonas industriales y redes de comunicación	2,15	63,53	33,15	98,83	2,17	64,29	33,54
	Tierras agrícolas	Pastos	0,68	25,03	278,12	303,83	0,22	8,24	91,54
		Áreas agrícolas heterogéneas	79,76	2426,21	893,06	3399,02	2,35	71,38	26,27
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	244,19	2583,60	1046,47	3874,27	6,30	66,69	27,01
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	64,70	497,83	4921,62	5484,15	1,18	9,08	89,74
		Áreas abiertas sin o con poca vegetación	0,01	0,01	17,14	17,14	0,01	0,01	100,00
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,45	0,25	116,41	117,12	0,39	0,21	99,40
	Total		392,19	5606,80	7344,41	13343,40	2,94	42,02	55,04
	Los Andes		Zonas urbanizadas	0,01	3,88	36,48	40,37	0,01	9,62

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Territorios artificializados	Zonas industriales y redes de comunicación	4,07	79,98	71,25	155,31	2,62	51,50	45,88
	Tierras agrícolas	Cultivos transitorios	0,01	8,53	25,27	33,80	0,01	25,25	74,75
		Pastos	5,94	79,98	379,48	465,40	1,28	17,19	81,54
		Áreas agrícolas heterogéneas	93,83	1645,75	241,73	1981,31	4,74	83,06	12,20
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	355,33	1332,54	584,53	2272,39	15,64	58,64	25,72
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	24,36	391,76	3266,58	3682,70	0,66	10,64	88,70
		Áreas abiertas sin o con poca vegetación	0,01	0,01	6,13	6,13	0,01	0,01	100,00
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,01	0,01	75,91	75,91	0,01	0,01	100,00
	Total		483,53	3542,43	4687,36	8713,32	5,55	40,66	53,80
	Ospina	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	1,21	19,24	44,70	65,15	1,85	29,54
Zonas industriales y redes de comunicación			0,01	10,24	1,60	11,83	-	86,52	13,48
Tierras agrícolas		Cultivos transitorios	40,53	338,23	0,13	378,89	10,70	89,27	0,03
		Pastos	9,27	260,67	170,39	440,33	2,11	59,20	38,70
		Áreas agrícolas heterogéneas	158,90	4320,87	3,44	4483,21	3,54	96,38	0,08

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	14,37	306,87	2,25	323,49	4,44	94,86	0,70
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	108,68	611,67	3,89	724,24	15,01	84,46	0,54
	Aguas superficiales	Aguas continentales	6,04	9,72	66,04	81,81	7,39	11,89	80,73
	Total		339,01	5877,52	292,43	6508,96	5,21	90,30	4,49
Pasto	Territorios artificializados	Zonas industriales y redes de comunicación	5,68	74,90	4,60	85,18	6,67	87,93	5,40
	Tierras agrícolas	Pastos	2,67	1059,44	2,77	1064,89	0,25	99,49	0,26
		Áreas agrícolas heterogéneas	614,63	7968,32	5,29	8588,24	7,16	92,78	0,06
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	422,73	5965,78	0,01	6388,51	6,62	93,38	0,01
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	670,37	1745,17	0,01	2415,55	27,75	72,25	0,01
	Aguas superficiales	Aguas continentales	3,53	15,13	221,49	240,15	1,47	6,30	92,23
	Total		1719,61	16828,75	234,15	18782,52	9,16	89,60	1,25
Policarpa	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,01	0,01	0,12	0,12	0,01	0,01	100,00
Potosí	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	5,57	1,02	23,25	29,85	18,67	3,43	77,90
		Zonas industriales y redes de comunicación	67,90	3,03	0,46	71,39	95,12	4,24	0,64

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Tierras agrícolas	Pastos	367,39	66,75	0,07	434,21	84,61	15,37	0,02
		Áreas agrícolas heterogéneas	6439,72	108,07	1,28	6549,07	98,33	1,65	0,02
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	3633,91	1328,88	0,01	4962,78	73,22	26,78	0,01
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	486,35	367,52	0,01	853,87	56,96	43,04	0,01
	Aguas superficiales	Aguas continentales	7,08	7,66	0,31	15,05	47,01	50,91	2,08
	Total			11007,92	1882,92	25,38	12916,23	85,23	14,58
Providencia	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,55	5,86	9,57	15,98	3,43	36,69	59,88
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,53	26,30	0,01	26,82	1,96	98,04	0,01
	Tierras agrícolas	Pastos	1,15	33,78	31,62	66,55	1,73	50,76	47,51
		Áreas agrícolas heterogéneas	168,07	3054,01	2,70	3224,79	5,21	94,70	0,08
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	70,76	876,17	2,38	949,31	7,45	92,30	0,25
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,01	98,02	0,01	98,02	0,01	100,00	0,01
Total			241,06	4094,14	46,27	4381,46	5,50	93,44	1,06
Puerres	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,01	23,04	80,51	103,56	0,01	22,25	77,75

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
		Zonas industriales y redes de comunicación	1,27	40,86	0,01	42,13	3,02	96,98	0,01
	Tierras agrícolas	Pastos	30,58	275,45	106,94	412,97	7,41	66,70	25,89
		Áreas agrícolas heterogéneas	214,34	3592,26	6,81	3813,41	5,62	94,20	0,18
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	543,23	1799,07	0,01	2342,31	23,19	76,81	0,01
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	1118,50	1410,85	0,28	2529,62	44,22	55,77	0,01
	Aguas superficiales	Aguas continentales	8,69	24,42	11,79	44,90	19,35	54,39	26,26
	Total			1916,62	7165,96	206,33	9288,90	20,63	77,15
Pupiales	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	36,71	80,34	41,04	158,08	23,22	50,82	25,96
		Zonas industriales y redes de comunicación	139,16	21,95	0,80	161,91	85,95	13,56	0,50
	Tierras agrícolas	Pastos	495,24	14,65	0,01	509,89	97,13	2,87	0,01
		Áreas agrícolas heterogéneas	8898,04	2173,84	0,99	11072,86	80,36	19,63	0,01
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	176,03	333,31	0,01	509,34	34,56	65,44	0,01
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	107,18	444,56	0,01	551,74	19,43	80,57	0,01

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja	
	Total		9852,35	3068,64	42,83	12963,82	76,00	23,67	0,33	
Samaniego	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	5,21	9,79	79,86	94,86	5,50	10,32	84,18	
		Zonas industriales y redes de comunicación	51,74	130,87	32,10	214,70	24,10	60,95	14,95	
	Tierras agrícolas	Pastos	7,92	680,20	166,65	854,76	0,93	79,58	19,50	
		Áreas agrícolas heterogéneas	765,70	7006,38	359,11	8131,20	9,42	86,17	4,42	
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	366,89	4818,63	303,03	5488,54	6,68	87,79	5,52	
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	18,68	887,72	548,33	1454,74	1,28	61,02	37,69	
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,27	1,31	13,30	14,89	1,84	8,81	89,35	
	Total		1216,42	13534,90	1502,38	16253,70	7,48	83,27	9,24	
	Sandón	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,64	18,48	126,06	145,18	0,44	12,73	86,83
			Zonas industriales y redes de comunicación	2,93	52,54	11,43	66,90	4,38	78,53	17,09
Tierras agrícolas		Pastos	9,48	190,24	206,81	406,52	2,33	46,80	50,87	
		Áreas agrícolas heterogéneas	278,91	4555,24	1900,39	6734,54	4,14	67,64	28,22	
		Bosques	462,86	1234,66	633,18	2330,70	19,86	52,97	27,17	

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Bosques y áreas semi naturales	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	30,48	172,87	203,34	406,69	7,49	42,51	50,00
		Áreas abiertas sin o con poca vegetación	0,01	0,01	6,32	6,32	0,01	0,01	100,00
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,01	0,03	31,81	31,84	0,01	0,10	99,90
	Total		785,29	6224,06	3119,34	10128,70	7,75	61,45	30,80
Santa cruz (guachavés)	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,01	5,14	6,91	12,06	0,01	42,66	57,34
		Zonas industriales y redes de comunicación	28,97	70,72	14,86	114,56	25,29	61,73	12,97
	Tierras agrícolas	Pastos	77,67	285,26	28,10	391,04	19,86	72,95	7,19
		Áreas agrícolas heterogéneas	1023,03	6000,00	4,31	7027,35	14,56	85,38	0,06
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	991,53	759,97	1,53	1753,02	56,56	43,35	0,09
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	785,80	421,90	6,20	1213,89	64,73	34,76	0,51
	Total		2907,00	7543,00	61,92	10511,92	27,65	71,76	0,59
Sapuyes	Territorios artificializados	zonas urbanizadas	10,37	26,43	25,56	62,37	16,62	42,39	40,99
		zonas industriales y redes de comunicación	13,53	52,99	6,19	72,70	18,60	72,88	8,51
		cultivos transitorios	0,01	17,09	0,01	17,09	0,01	100,00	0,01

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja	
	Tierras agrícolas	pastos	152,90	2264,05	0,00	2416,95	6,33	93,67	0,00	
		áreas agrícolas heterogéneas	2333,87	3720,74	1,43	6056,04	38,54	61,44	0,02	
	Bosques y áreas semi naturales	bosques	46,36	135,59	0,01	181,95	25,48	74,52	0,01	
		áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	1435,19	395,72	0,01	1830,91	78,39	21,61	0,01	
	Aguas superficiales	aguas continentales	0,01	0,86	0,01	0,86	0,01	100,00	0,01	
	Total			3992,21	6613,48	33,18	10638,87	37,52	62,16	0,31
Tangua	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,01	5,41	30,21	35,63	0,01	15,20	84,80	
		Zonas industriales y redes de comunicación	4,80	49,36	5,25	59,42	8,08	83,08	8,84	
	Tierras agrícolas	Pastos	773,36	1177,76	256,48	2207,61	35,03	53,35	11,62	
		Áreas agrícolas heterogéneas	2374,97	6515,54	18,79	8909,30	26,66	73,13	0,21	
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	2056,80	1663,79	3,18	3723,78	55,23	44,68	0,09	
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	2536,30	2843,72	1,25	5381,27	47,13	52,84	0,02	
	Aguas superficiales	Aguas continentales	18,11	70,49	2,89	91,49	19,80	77,05	3,15	
	Total			7764,36	12326,09	318,05	20408,50	38,04	60,40	1,56

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja	
Túquerres	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	47,92	38,99	131,23	218,13	21,97	17,87	60,16	
		Zonas industriales y redes de comunicación	110,36	171,69	3,09	285,14	38,70	60,21	1,08	
	Tierras agrícolas	Cultivos transitorios	95,22	5,54	0,01	100,76	94,50	5,50	0,01	
		Pastos	167,31	846,52	28,02	1041,85	16,06	81,25	2,69	
		Áreas agrícolas heterogéneas	7308,78	7759,83	6,83	15075,44	48,48	51,47	0,05	
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	206,32	1390,66	4,76	1601,74	12,88	86,82	0,30	
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	1633,63	1510,29	2,05	3145,97	51,93	48,01	0,07	
	Aguas superficiales	Aguas continentales	9,00	3,25	5,29	17,53	51,32	18,52	30,16	
	Total			9578,53	11726,76	181,26	21486,55	44,58	54,58	0,84
	Yacuanquer	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,02	36,43	34,53	70,99	0,03	51,33	48,65
Zonas industriales y redes de comunicación			7,37	56,73	7,52	71,62	10,29	79,21	10,50	
Zonas de extracción minera			0,01	2,98	2,60	5,58	0,01	53,45	46,55	
Tierras agrícolas		Pastos	91,49	1433,58	920,66	2445,74	3,74	58,62	37,64	
		Áreas agrícolas heterogéneas	335,77	3948,51	80,01	4364,28	7,69	90,47	1,83	

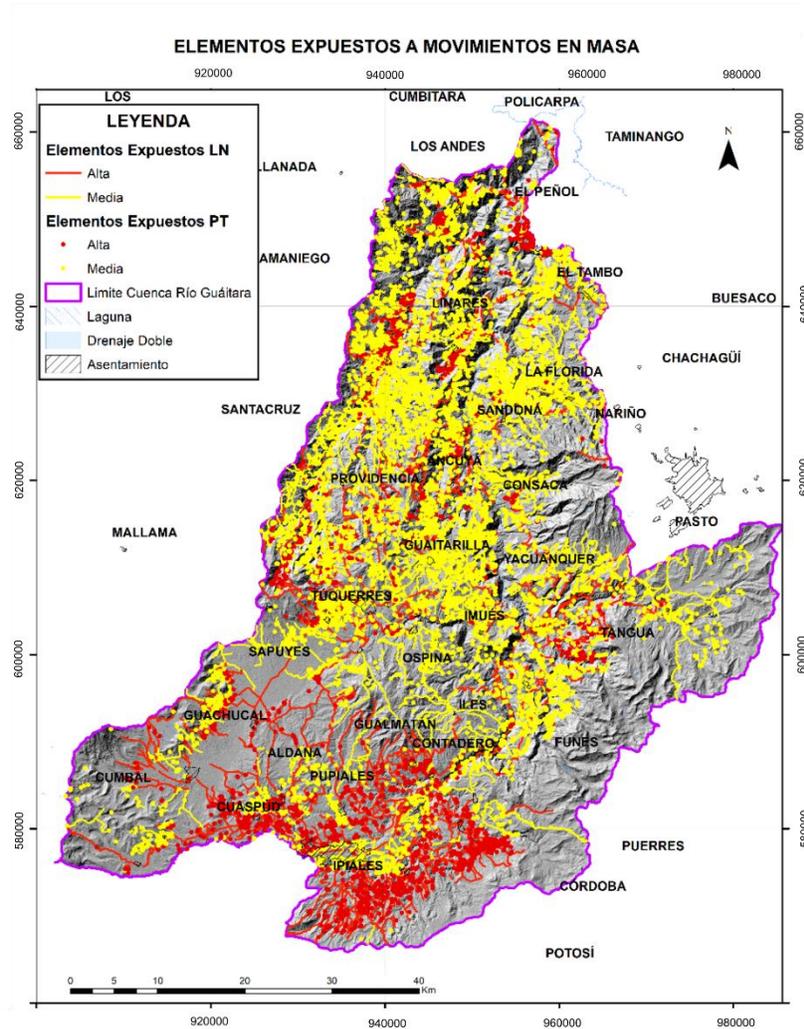
Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	511,82	599,53	11,83	1123,18	45,57	53,38	1,05
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	324,37	1340,18	454,50	2119,05	15,31	63,24	21,45
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,86	4,24	28,07	33,17	2,58	12,79	84,63
	Total		1271,70	7422,18	1539,72	10233,61	12,43	72,53	15,05
Total general			116159,76	210809,93	38133,15	365102,83	31,82	57,74	10,44

Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

En la Figura 84 se pueden observar los elementos expuestos a amenaza alta por movimientos en masa, los cuales se encuentran distribuidos a lo largo de la Cuenca Hidrográfica del Río Guaitara en los municipios Los Andes, Linares, Sandona, Providencia, Ipiales, Puerres, Ospina, Túquerres, Santacruz con una concentración considerable en los municipios de Pupiales, Aldana, Potosi, Gualmatán y Cuaspud. Entre estos elementos se encuentran vías de tipo 1 a tipo 6; bocatomas en los municipios de Imués y Túquerres; capillas en los municipios de Aldana, Consacá, Samaniego, Guachucal, Ancuya, Sandona, Tagua y Túquerres; los cementerios de los municipios de Guaitarilla, Consacá, Santacruz, Sandoná y Linares; centros educativos como el Colegio Agropecuario en el municipio de Consacá, la escuela Nueva Pierramag en Santacruz, escuela rural mixta en Chavisnan, escuela Rural mixta Dos Quebradas en Túquerres, escuela rural Mixta El Cilidro, El Pliche, San Luis Gonzaga, en el municipio de Samaniego; puentes en los municipios de Córdoba, Cuaspúd, Aldana, Pupiales, Iles, Tagua, Guaitarilla, Ancuya, Samaniego, El Peñol, Los Andes.

En cuanto a los elementos expuestos a amenaza media se encuentran antenas de telecomunicación en los municipios de Ipiales, Cumbal, Pupiales, Imués y Consacá; vías de tipo 1 a 6 ; puentes ; centros educativos como la escuela El Mosqueral, Cristo Rey, Nuevo El Partidero, escuela Monte Blanco, escuela Puente Tierra, escuela Rural Mixta Bermejál y escuela Mixta El Limo en el municipio de Samaniego, la escuela Municipal Cualchag, escuela Nuestra Señora de las Lajas, escuela Nueva Corralira y escuela Nueva El Arrayán en el municipio de Santacruz; entre otras ubicadas en los municipios Linares, Ancuya, Imués, Túquerres, Funes y Consacá. Tuquerres es el municipio con mayor número de elementos, teniendo 1245 entre amenaza alta y media.

Figura 94 Elementos expuestos en zonas de amenaza por Movimientos en Masa.



Fuente: Consorcio POMCA, 2015

1.13.1.1.3 Índice de exposición a inundaciones:

Los mayores índices de exposición por inundaciones se presentan en la zona norte de la cuenca hidrográfica, concentrados a lo largo del cauce del Río Guaitara (Figura 95), y algunas zonas puntuales al norte de los municipios de Ipiales, Cumbal, Sapuyes, Aldana y Ospina; al oriente de los municipios de Pupiales y Túquerres; al sur de Gualmatan y Sapuyes y en la parte central de Guaitarilla y Guachucal.

Figura 95 Índice de exposición a inundaciones

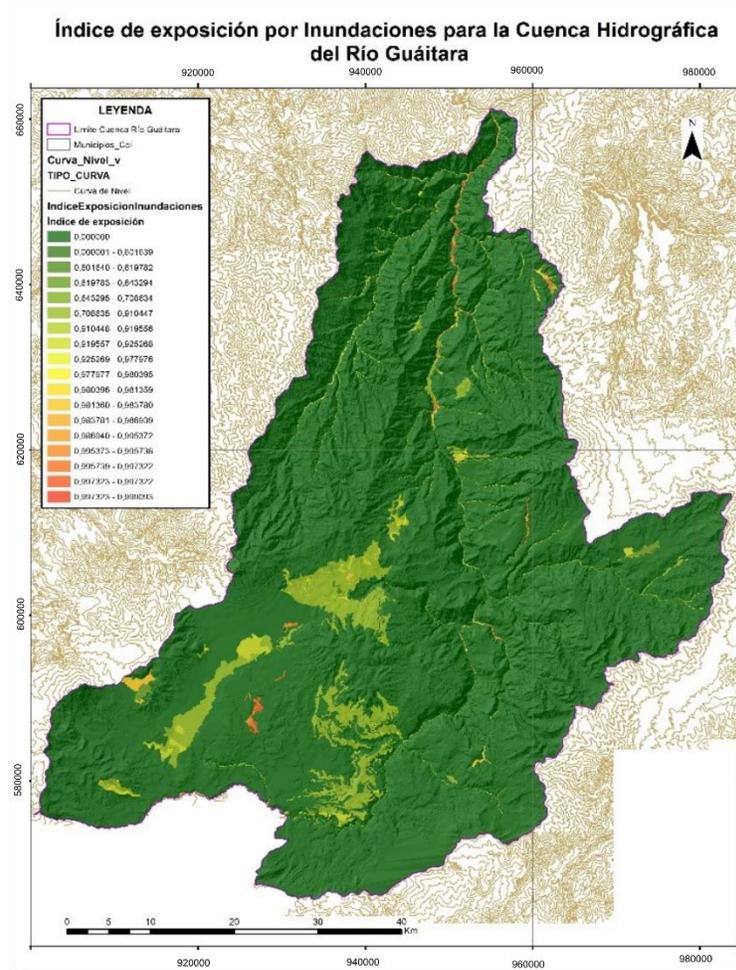


Tabla 48. Distribución de porcentual de pérdida por inundaciones para la cuenca hidrográfica del Río Guaitara

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
Aldana	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,00	0,00	59,42	59,42	0,00	0,00	100,00
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,36	0,00	380,22	380,58	0,10	0,00	99,90
	Tierras agrícolas	Pastos	27,78	4,65	1071,55	1103,98	2,52	0,42	97,06
		Áreas agrícolas heterogéneas	183,58	7,23	2838,59	3029,40	6,06	0,24	93,70
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	98,80	0,00	10,75	109,55	90,19	0,00	9,81
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,00	7,59	3,84	11,42	0,00	66,40	33,60
	Total			310,53	19,46	4364,37	4694,36	6,61	0,41
Ancuya	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,00	0,00	23,22	23,22	0,00	0,00	100,00
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,00	0,00	43,84	43,84	0,00	0,00	100,00
	Tierras agrícolas	Pastos	4,52	5,90	290,43	300,85	1,50	1,96	96,54
		Áreas agrícolas heterogéneas	34,48	113,31	4984,92	5132,71	0,67	2,21	97,12
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	1,66	9,93	475,89	487,48	0,34	2,04	97,62
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,33	0,30	924,59	925,22	0,04	0,03	99,93
	Aguas superficiales	Aguas continentales	25,00	13,17	11,05	49,23	50,78	26,76	22,46

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Total		65,99	142,61	6753,95	6962,56	0,95	2,05	97,00
Consacá	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	19,70	0,00	66,71	86,41	22,80	0,00	77,20
		Zonas industriales y redes de comunicación	2,56	0,73	63,18	66,47	3,85	1,10	95,05
	Tierras agrícolas	Pastos	38,55	15,29	891,27	945,10	4,08	1,62	94,30
		Áreas agrícolas heterogéneas	213,56	41,39	4094,69	4349,64	4,91	0,95	94,14
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	40,29	102,61	4791,58	4934,47	0,82	2,08	97,10
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	43,16	7,92	1426,92	1478,00	2,92	0,54	96,54
	Aguas superficiales	Aguas continentales	3,10	14,44	2,93	20,47	15,16	70,53	14,31
	Total		360,92	182,37	11337,27	11880,57	3,04	1,54	95,43
Contadero	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,00	42,96	1,38	44,33	0,00	96,89	3,11
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,00	8,53	6,99	15,52	0,00	54,94	45,06
	Tierras agrícolas	Pastos	0,00	40,25	1179,78	1220,03	0,00	3,30	96,70
		Áreas agrícolas heterogéneas	0,00	462,24	2313,86	2776,10	0,00	16,65	83,35
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,00	7,19	259,78	266,96	0,00	2,69	97,31
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,00	1,09	6,98	8,07	0,00	13,55	86,45

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,00	16,93	6,63	23,56	0,00	71,84	28,16
	Total		0,00	579,18	3775,40	4354,58	0,00	13,30	86,70
Córdoba	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,00	0,00	54,14	54,14	0,00	0,00	100,00
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,00	0,13	35,66	35,79	0,00	0,36	99,64
	Tierras agrícolas	Pastos	0,00	6,20	144,67	150,87	0,00	4,11	95,89
		Áreas agrícolas heterogéneas	0,00	35,13	4529,41	4564,54	0,00	0,77	99,23
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,00	3,23	1801,70	1804,93	0,00	0,18	99,82
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,00	18,02	3447,14	3465,16	0,00	0,52	99,48
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,00	29,53	11,85	41,38	0,00	71,36	28,64
	Total		0,00	92,24	10024,58	10116,82	0,00	0,91	99,09
Cuaspud (carlosarma)	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,00	0,00	56,91	56,91	0,00	0,00	100,00
		Zonas industriales y redes de comunicación	4,43	0,11	82,10	86,64	5,12	0,13	94,76
	Tierras agrícolas	Cultivos permanentes	0,00	0,00	272,47	272,47	0,00	0,00	100,00
		Pastos	51,88	40,47	1631,28	1723,62	3,01	2,35	94,64
		Áreas agrícolas heterogéneas	342,19	59,55	3224,37	3626,11	9,44	1,64	88,92

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Aguas superficiales	Aguas continentales	2,26	19,03	13,64	34,93	6,47	54,48	39,06
	Total		400,76	119,15	5280,77	5800,68	6,91	2,05	91,04
Cumbal	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	46,66	49,05	67,83	163,54	28,53	29,99	41,48
		Zonas industriales y redes de comunicación	6,79	3,75	178,52	189,06	3,59	1,99	94,43
	Tierras agrícolas	Pastos	231,01	276,50	1463,50	1971,01	11,72	14,03	74,25
		Áreas agrícolas heterogéneas	620,39	442,90	9919,19	10982,48	5,65	4,03	90,32
	Bosques y áreas semi naturales	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	1,57	259,71	11164,55	11425,83	0,01	2,27	97,71
		Áreas abiertas sin o con poca vegetación	0,00	0,00	318,77	318,77	0,00	0,00	100,00
	Aguas superficiales	Aguas continentales	170,02	23,02	28,53	221,57	76,74	10,39	12,88
	Total		1076,44	1054,93	23140,90	25272,27	4,26	4,17	91,57
El peñol	Territorios artificializados	Zonas industriales y redes de comunicación	0,04	0,54	27,20	27,78	0,14	1,93	97,93
	Tierras agrícolas	Pastos	4,93	14,52	802,62	822,07	0,60	1,77	97,63
		Áreas agrícolas heterogéneas	1,39	12,95	1167,58	1181,92	0,12	1,10	98,79
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	5,68	6,59	301,87	314,13	1,81	2,10	96,09
Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva		23,09	54,80	2221,24	2299,12	1,00	2,38	96,61	

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
		Áreas abiertas sin o poca vegetación	0,22	2,49	0,24	2,95	7,35	84,43	8,22
	Aguas superficiales	Aguas continentales	5,52	2,64	0,01	8,17	67,60	32,33	0,07
	Total		40,87	94,53	4520,75	4656,15	0,88	2,03	97,09
El Tambo	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	44,54	10,99	14,32	69,85	63,77	15,73	20,50
		Zonas industriales y redes de comunicación	1,22	3,93	55,39	60,55	2,02	6,49	91,49
	Tierras agrícolas	Pastos	6,67	14,47	869,98	891,12	0,75	1,62	97,63
		Áreas agrícolas heterogéneas	126,32	207,52	5372,80	5706,64	2,21	3,64	94,15
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	49,99	71,85	2682,19	2804,02	1,78	2,56	95,65
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	25,54	13,15	500,66	539,36	4,74	2,44	92,83
		Áreas abiertas sin o poca vegetación	4,27	0,99	2,56	7,82	54,61	12,61	32,78
	Aguas superficiales	Aguas continentales	12,38	6,85	1,61	20,84	59,41	32,87	7,71
	Total		270,94	329,75	9499,51	10100,19	2,68	3,26	94,05
	Funes	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	61,86	0,27	2,29	64,42	96,03	0,41
Zonas industriales y redes de comunicación			4,22	0,34	28,02	32,57	12,94	1,04	86,01
Tierras agrícolas		Pastos	0,06	5,65	1367,39	1373,10	0,00	0,41	99,58

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja	
		Áreas agrícolas heterogéneas	202,85	90,29	5850,55	6143,69	3,30	1,47	95,23	
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,00	17,61	5222,34	5239,95	0,00	0,34	99,66	
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,56	53,60	7341,55	7395,71	0,01	0,72	99,27	
		Áreas abiertas sin o con poca vegetación	0,00	1,19	8,45	9,64	0,00	12,39	87,61	
	Aguas superficiales	Aguas continentales	1,71	70,70	62,13	134,54	1,27	52,55	46,18	
	Total			271,25	239,65	19882,72	20393,62	1,33	1,18	97,49
Guachucal	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	4,02	1,57	92,28	97,87	4,11	1,61	94,29	
		Zonas industriales y redes de comunicación	24,30	7,05	526,24	557,59	4,36	1,26	94,38	
	Tierras agrícolas	Pastos	126,00	39,22	1123,98	1289,20	9,77	3,04	87,18	
		Áreas agrícolas heterogéneas	1364,69	468,17	8438,27	10271,13	13,29	4,56	82,16	
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	1,49	0,00	48,40	49,89	2,99	0,00	97,01	
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,38	206,60	2989,30	3196,28	0,01	6,46	93,52	
	Aguas superficiales	Aguas continentales	41,18	3,53	0,01	44,71	92,09	7,89	0,01	
	Total			1562,05	726,15	13218,47	15506,67	10,07	4,68	85,24
	Guaitarilla	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	38,36	0,00	0,00	38,36	100,00	0,00	0,00

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
		Zonas industriales y redes de comunicación	2,12	0,00	38,68	40,80	5,20	0,00	94,80
	Tierras agrícolas	Pastos	158,00	15,61	1861,83	2035,44	7,76	0,77	91,47
		Áreas agrícolas heterogéneas	615,71	74,78	8223,79	8914,27	6,91	0,84	92,25
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	26,27	14,89	579,70	620,86	4,23	2,40	93,37
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	27,66	6,16	301,26	335,08	8,25	1,84	89,91
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,00	27,33	4,65	31,98	0,00	85,46	14,54
	Total			868,12	138,76	11009,91	12016,80	7,22	1,15
Gualmatán	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,00	72,36	0,01	72,37	0,00	99,98	0,02
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,00	16,42	9,27	25,68	0,00	63,92	36,08
	Tierras agrícolas	Pastos	0,00	1,86	1,97	3,82	0,00	48,56	51,44
		Áreas agrícolas heterogéneas	0,00	1146,22	1015,60	2161,82	0,00	53,02	46,98
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,00	36,76	679,10	715,87	0,00	5,14	94,86
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,00	0,00	30,71	30,71	0,00	0,00	100,00
	Total			0,00	1273,61	1736,65	3010,27	0,00	42,31
Illes	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,00	4,45	156,38	160,84	0,00	2,77	97,23

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Tierras agrícolas	Pastos	0,00	1,49	730,13	731,61	0,00	0,20	99,80
		Áreas agrícolas heterogéneas	0,01	17,97	6094,33	6112,31	0,00	0,29	99,71
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,00	0,35	690,76	691,11	0,00	0,05	99,95
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,00	9,17	334,52	343,69	0,00	2,67	97,33
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,00	17,65	5,09	22,74	0,00	77,63	22,37
	Total			0,01	51,09	8011,20	8062,29	0,00	0,63
Imués	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,00	0,28	35,95	36,24	0,00	0,78	99,22
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,00	1,07	8,58	9,64	0,00	11,08	88,92
	Tierras agrícolas	Pastos	0,00	8,28	1832,53	1840,81	0,00	0,45	99,55
		Áreas agrícolas heterogéneas	129,97	43,15	4692,10	4865,22	2,67	0,89	96,44
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,00	3,10	215,87	218,97	0,00	1,41	98,59
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,00	15,69	926,23	941,92	0,00	1,67	98,33
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,00	50,03	42,26	92,29	0,00	54,21	45,79
	Total			129,97	121,59	7753,52	8005,08	1,62	1,52
Ipiales	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,00	279,18	843,40	1122,58	0,00	24,87	75,13

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,00	32,45	113,43	145,88	0,00	22,25	77,75
	Tierras agrícolas	Pastos	0,00	399,62	1449,50	1849,13	0,00	21,61	78,39
		Áreas agrícolas heterogéneas	0,00	2183,80	8412,31	10596,11	0,00	20,61	79,39
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,00	2,28	304,26	306,54	0,00	0,74	99,26
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,00	0,00	591,78	591,78	0,00	0,00	100,00
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,00	45,84	32,94	78,77	0,00	58,19	41,81
	Total			0,00	2943,17	11747,63	14690,80	0,00	20,03
La florida	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,00	0,00	25,46	25,46	0,00	0,00	100,00
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,00	0,87	48,47	49,34	0,00	1,76	98,24
	Tierras agrícolas	Pastos	0,09	0,25	181,41	181,75	0,05	0,14	99,81
		Áreas agrícolas heterogéneas	1,94	59,72	5257,25	5318,91	0,04	1,12	98,84
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,38	38,22	2628,60	2667,20	0,01	1,43	98,55
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,46	5,35	365,30	371,11	0,12	1,44	98,43
	Total			2,86	104,42	8506,49	8613,77	0,03	1,21
La llanada	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,00	0,00	20,84	20,84	0,00	0,00	100,00

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,00	0,00	92,15	92,15	0,00	0,00	100,00
	Tierras agrícolas	Pastos	0,00	0,00	131,70	131,70	0,00	0,00	100,00
		Áreas agrícolas heterogéneas	0,00	1,30	1240,70	1242,00	0,00	0,10	99,90
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,00	37,37	1236,87	1274,24	0,00	2,93	97,07
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,00	7,58	1267,29	1274,87	0,00	0,59	99,41
		Áreas abiertas sin o con poca vegetación	0,00	0,00	5,46	5,46	0,00	0,00	100,00
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,00	2,23	0,39	2,62	0,00	85,03	14,97
Total			0,00	48,48	3995,40	4043,88	0,00	1,20	98,80
Linares	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	26,58	0,00	22,47	49,05	54,19	0,00	45,81
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,00	0,42	98,40	98,83	0,00	0,43	99,57
	Tierras agrícolas	Pastos	8,76	1,52	293,55	303,83	2,88	0,50	96,62
		Áreas agrícolas heterogéneas	48,98	30,15	3319,88	3399,02	1,44	0,89	97,67
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	51,21	146,64	3676,41	3874,27	1,32	3,79	94,89
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	26,88	69,43	5387,83	5484,15	0,49	1,27	98,24
		Áreas abiertas sin o con poca vegetación	0,40	2,21	14,53	17,14	2,35	12,89	84,75

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Aguas superficiales	Aguas continentales	65,31	42,12	9,69	117,12	55,76	35,97	8,27
	Total		228,12	292,51	1282,76	1334,340	1,71	2,19	96,10
Los andes (sotomayor)	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	27,58	0,00	12,79	40,37	68,32	0,00	31,68
		Zonas industriales y redes de comunicación	23,12	4,41	127,77	155,31	14,89	2,84	82,27
	Tierras agrícolas	Cultivos transitorios	0,00	0,00	33,80	33,80	0,00	0,00	100,00
		Pastos	89,84	4,35	371,21	465,40	19,30	0,93	79,76
		Áreas agrícolas heterogéneas	202,33	19,92	1759,06	1981,31	10,21	1,01	88,78
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	93,11	111,88	2067,40	2272,39	4,10	4,92	90,98
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	29,21	59,81	3593,68	3682,70	0,79	1,62	97,58
		Áreas abiertas sin o con poca vegetación	0,00	0,10	6,04	6,13	0,00	1,58	98,42
	Aguas superficiales	Aguas continentales	31,94	33,43	10,54	75,91	42,08	44,04	13,88
	Total		497,13	233,91	7982,28	8713,32	5,71	2,68	91,61
	Ospina	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	58,15	0,00	7,00	65,15	89,26	0,00
Zonas industriales y redes de comunicación			5,08	1,57	5,18	11,83	42,92	13,31	43,77
Tierras agrícolas		Cultivos transitorios	148,89	0,00	230,00	378,89	39,30	0,00	60,70

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
		Pastos	0,00	0,53	439,80	440,33	0,00	0,12	99,88
		Áreas agrícolas heterogéneas	1351,33	0,82	3131,06	4483,21	30,14	0,02	69,84
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	7,36	0,21	315,93	323,49	2,27	0,06	97,66
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	5,19	8,82	710,23	724,24	0,72	1,22	98,07
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,00	45,70	36,11	81,81	0,00	55,86	44,14
	Total			1576,00	57,65	4875,30	6508,96	24,21	0,89
Pasto	Territorios artificializados	Zonas industriales y redes de comunicación	0,04	4,18	80,96	85,18	0,04	4,91	95,05
	Tierras agrícolas	Pastos	5,15	106,41	953,32	1064,89	0,48	9,99	89,52
		Áreas agrícolas heterogéneas	10,96	214,31	8362,97	8588,24	0,13	2,50	97,38
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,00	32,38	6356,13	6388,51	0,00	0,51	99,49
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,00	2,69	2412,85	2415,55	0,00	0,11	99,89
	Aguas superficiales	Aguas continentales	202,06	27,08	11,01	240,15	84,14	11,28	4,58
		Aguas continentales	0,00	0,12	0,00	0,12	0,00	100,00	0,00
Policarpa			218,21	387,06	1817,725	1878,252	1,16	2,06	96,78
Potosí	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,00	0,00	29,85	29,85	0,00	0,00	100,00

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,00	0,01	71,38	71,39	0,00	0,01	99,99
	Tierras agrícolas	Pastos	0,00	11,29	422,92	434,21	0,00	2,60	97,40
		Áreas agrícolas heterogéneas	0,00	0,38	6548,69	6549,07	0,00	0,01	99,99
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,00	0,00	4962,78	4962,78	0,00	0,00	100,00
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,00	0,00	853,87	853,87	0,00	0,00	100,00
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,00	5,88	9,17	15,05	0,00	39,06	60,94
	Total			0,00	17,56	12898,66	12916,23	0,00	0,14
Providencia	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,00	1,57	14,41	15,98	0,00	9,84	90,16
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,00	0,00	26,82	26,82	0,00	0,00	100,00
	Tierras agrícolas	Pastos	0,00	2,16	64,39	66,55	0,00	3,24	96,76
		Áreas agrícolas heterogéneas	0,00	53,90	3170,89	3224,79	0,00	1,67	98,33
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,00	12,08	937,23	949,31	0,00	1,27	98,73
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,00	4,54	93,48	98,02	0,00	4,63	95,37
	Total			0,00	74,24	4307,22	4381,46	0,00	1,69
Puerres	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,00	0,00	103,56	103,56	0,00	0,00	100,00

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,00	0,85	41,28	42,13	0,00	2,02	97,98
	Tierras agrícolas	Pastos	0,00	5,35	407,62	412,97	0,00	1,30	98,70
		Áreas agrícolas heterogéneas	0,00	89,99	3723,43	3813,41	0,00	2,36	97,64
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,00	35,51	2306,80	2342,31	0,00	1,52	98,48
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,00	50,69	2478,93	2529,62	0,00	2,00	98,00
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,00	26,15	18,76	44,90	0,00	58,23	41,77
	Total		0,00	208,53	9080,37	9288,90	0,00	2,24	97,76
Pupiales	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,00	5,49	152,59	158,08	0,00	3,48	96,52
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,15	29,95	131,80	161,91	0,10	18,50	81,41
	Tierras agrícolas	Pastos	0,00	6,79	503,10	509,89	0,00	1,33	98,67
		Áreas agrícolas heterogéneas	14,15	1945,08	9113,64	11072,86	0,13	17,57	82,31
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,00	11,97	497,36	509,34	0,00	2,35	97,65
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,00	2,36	549,38	551,74	0,00	0,43	99,57
	Total		14,30	2001,64	10947,87	12963,82	0,11	15,44	84,45
Samaniego	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,00	11,26	83,61	94,86	0,00	11,87	88,13

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,00	5,30	209,41	214,70	0,00	2,47	97,53
	Tierras agrícolas	Pastos	0,00	0,00	854,76	854,76	0,00	0,00	100,00
		Áreas agrícolas heterogéneas	0,00	60,72	8070,48	8131,20	0,00	0,75	99,25
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,00	165,04	5323,50	5488,54	0,00	3,01	96,99
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,00	11,68	1443,06	1454,74	0,00	0,80	99,20
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,00	12,78	2,11	14,89	0,00	85,81	14,19
	Total			0,00	266,77	15986,93	16253,70	0,00	1,64
Sandón	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	96,29	0,00	48,89	145,18	66,32	0,00	33,68
		Zonas industriales y redes de comunicación	11,37	1,68	53,84	66,90	17,00	2,52	80,48
	Tierras agrícolas	Pastos	4,29	5,26	396,98	406,52	1,06	1,29	97,65
		Áreas agrícolas heterogéneas	193,01	297,34	6244,19	6734,54	2,87	4,42	92,72
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	21,85	80,77	2228,08	2330,70	0,94	3,47	95,60
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3,64	7,14	395,90	406,69	0,90	1,76	97,35
		Áreas abiertas sin o con poca vegetación	0,00	0,00	6,32	6,32	0,00	0,00	100,00
	Aguas superficiales	Aguas continentales	15,30	8,84	7,70	31,84	48,05	27,76	24,19

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Total		345,76	401,03	9381,91	10128,70	3,41	3,96	92,63
Santa cruz (guachavés)	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,00	0,00	12,06	12,06	0,00	0,00	100,00
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,00	32,67	81,89	114,56	0,00	28,52	71,48
	Tierras agrícolas	Pastos	0,00	0,00	391,04	391,04	0,00	0,00	100,00
		Áreas agrícolas heterogéneas	0,00	10,52	7016,83	7027,35	0,00	0,15	99,85
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,00	17,98	1735,04	1753,02	0,00	1,03	98,97
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,00	1,72	1212,18	1213,89	0,00	0,14	99,86
	Total		0,00	62,89	10449,03	10511,92	0,00	0,60	99,40
Sapuyes	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	6,83	2,92	52,61	62,37	10,96	4,68	84,36
		Zonas industriales y redes de comunicación	21,87	0,60	50,24	72,70	30,08	0,82	69,10
	Tierras agrícolas	Cultivos transitorios	6,60	0,00	10,49	17,09	38,62	0,00	61,38
		Pastos	581,22	6,87	1828,86	2416,95	24,05	0,28	75,67
		Áreas agrícolas heterogéneas	937,00	72,77	5046,27	6056,04	15,47	1,20	83,33
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	11,60	0,00	170,35	181,95	6,38	0,00	93,62
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	16,65	0,00	1814,26	1830,91	0,91	0,00	99,09

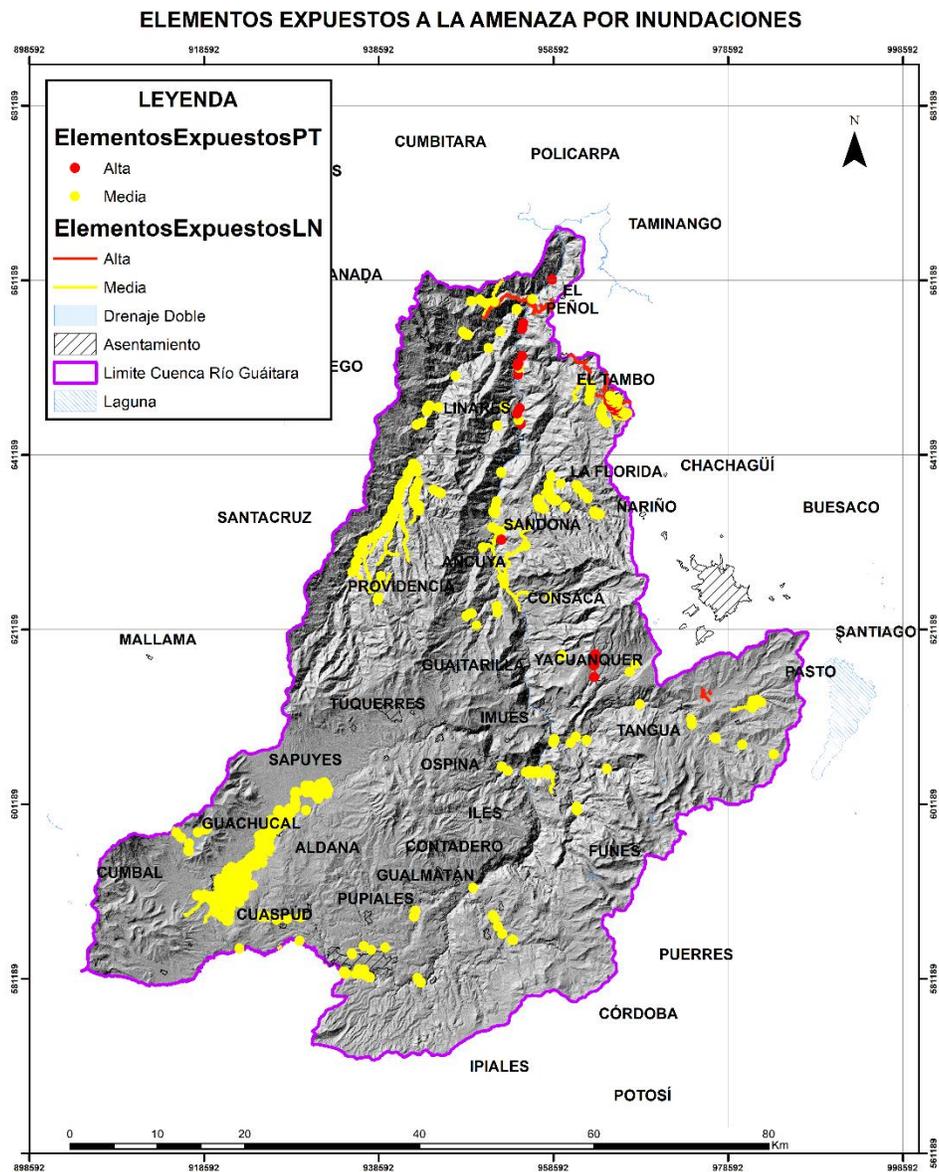
Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,00	0,00	0,86	0,86	0,00	0,00	100,00
	Total		1581,77	83,16	8973,94	10638,87	14,87	0,78	84,35
Tangua	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,00	0,00	35,63	35,63	0,00	0,00	100,00
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,00	0,27	59,14	59,42	0,00	0,46	99,54
	Tierras agrícolas	Pastos	0,00	15,92	2191,68	2207,61	0,00	0,72	99,28
		Áreas agrícolas heterogéneas	0,00	78,80	8830,50	8909,30	0,00	0,88	99,12
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,00	17,75	3706,03	3723,78	0,00	0,48	99,52
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,00	11,24	5370,03	5381,27	0,00	0,21	99,79
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,00	28,89	62,60	91,49	0,00	31,58	68,42
	Total		0,00	152,88	20255,61	20408,50	0,00	0,75	99,25
Túquerres	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	3,57	178,43	36,14	218,13	1,63	81,80	16,57
		Zonas industriales y redes de comunicación	2,65	34,60	247,89	285,14	0,93	12,13	86,94
	Tierras agrícolas	Cultivos transitorios	1,99	53,86	44,90	100,76	1,98	53,46	44,56
		Pastos	49,13	123,40	869,31	1041,85	4,72	11,84	83,44
		Áreas agrícolas heterogéneas	1049,14	2421,22	11605,08	15075,44	6,96	16,06	76,98

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	12,84	64,82	1524,08	1601,74	0,80	4,05	95,15
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	25,31	45,68	3074,98	3145,97	0,80	1,45	97,74
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,00	0,00	17,53	17,53	0,00	0,00	100,00
	Total		1144,63	2922,01	1741,91	2148,655	5,33	13,60	81,07
Yacuanquer	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	11,92	0,00	59,07	70,99	16,79	0,00	83,21
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,10	1,10	70,43	71,62	0,13	1,53	98,33
		Zonas de extracción minera	0,00	0,00	5,58	5,58	0,00	0,00	100,00
	Tierras agrícolas	Pastos	30,96	27,02	2387,75	2445,74	1,27	1,10	97,63
		Áreas agrícolas heterogéneas	45,51	47,98	4270,79	4364,28	1,04	1,10	97,86
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,07	21,43	1101,68	1123,18	0,01	1,91	98,09
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	2,84	31,71	2084,51	2119,05	0,13	1,50	98,37
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,00	24,81	8,36	33,17	0,00	74,80	25,20
	Total		91,40	154,05	9988,16	10233,61	0,89	1,51	97,60
	Total general			11058,04	15577,16	338467,63	365102,83	3,03	4,27

Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

En la Figura 96 se muestran los elementos expuestos a amenaza alta y media por inundaciones en áreas de los municipios de Guachucal, Cumbal, Cuaspud, Ipiales, Pupiales, Puerres, Córdoba, Sapuyés, Funes, Imués, Ilés, Yacuanquer, Consacá, Ancuya, Sandoná, La Florida, Samaniego, Providencia, El Tambo, Linares, Los Andes, El Peñol, Pasto y Tangua tales como infraestructura vial (vías tipo 1, 2, 4, 5 y 6), puentes, establecimientos educativos (Colegio Agropecuario Técnico "Cumbe", Centro Educativo Caspuo Chiquito, Centro Educativo El Salado, Instituto Integrado Divino Niño Jesús, Preescolar, Instituto Integrado San Juan Bosco, Colegio José Antonio Llorente, Escuela Mixta Comunidad Santa Rosa, E.R.M San Gabriel, Los Aguacates, Escuela Rural Mixta El Pedregal, Escuela Rural Mixta Santa Rosa, Guadrauma y Instituto Jesús Nazareno), iglesias (Iglesia Adventista de 7° Día, Congregación de Los Caballeros de La Virgen de Los Dolores, Gruta de La Virgen del Carmen, Iglesia de Dios Ríos de Agua Viva, Iglesia San Pedro, Congregación de Los Caballeros del Santo Sepulcro y Capilla Santa Rosa), molinos de viento, Monumento A Bolívar (Piedra de Bolívar), sitios de interés (Centro de Atención En Fronteras, Casa Comunal, Hogar de Bienestar Familiar No 40, Hogar de Bienestar Familiar, Secretaria de Agricultura Granja Cumbal, Caja de Crédito Agrario, Juzgado Promiscuo Municipal, Estación de Servicio Toledo, Polideportivo José Antonio Llorente, Fondo Prestacional del Magisterio, Estación de Servicio Terpel Cumbal, Hogar de Bienestar Familiar, Palacio Municipal, Despacho Parroquial, Teatro J. Enrique Prado, Notaria Unica, Hogar de Bienestar Familiar, Campo Deportivo I Pialpud, Plaza de Feria de Ganado y Hogar de Bienestar Familiar) y otras construcciones.

Figura 96 Elementos expuestos en zonas de amenaza por Inundaciones



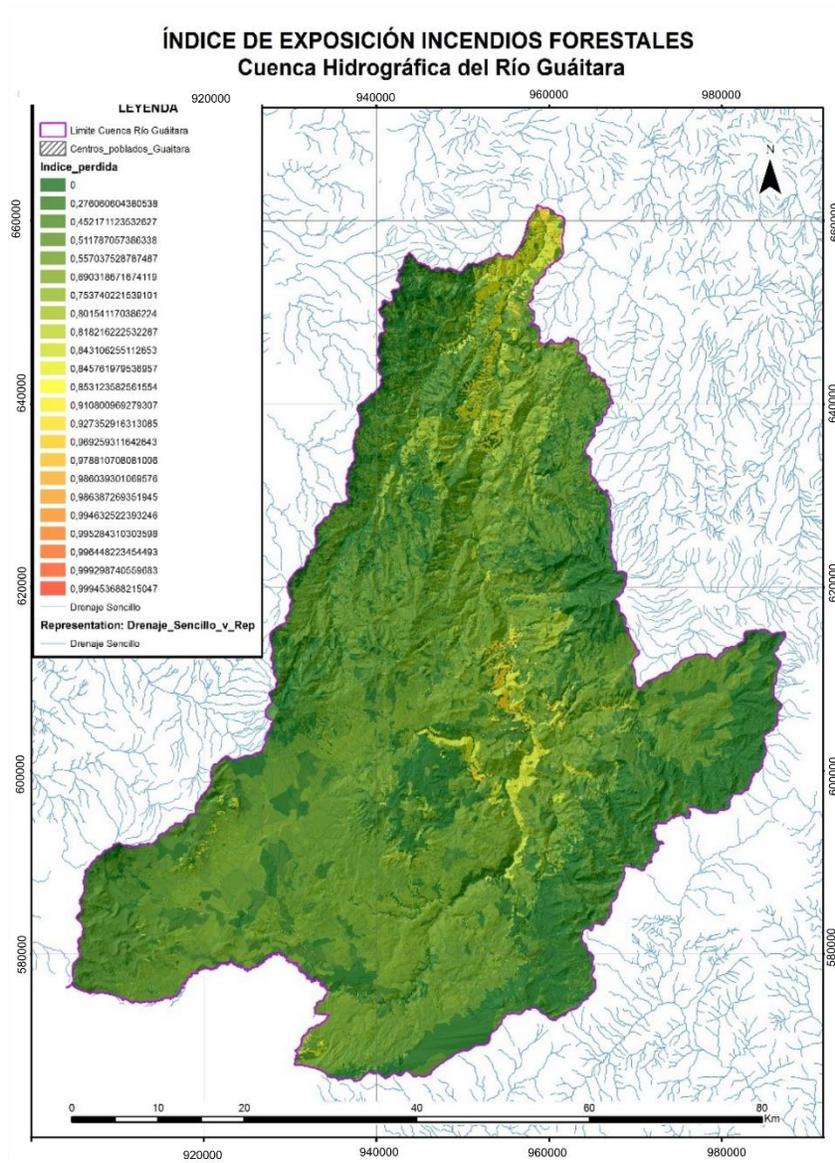
Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

1.13.1.1.4 Índice de exposición a incendios de la cobertura vegetal:

Por incendios de la cobertura vegetal la cuenca hidrográfica del Río Guaitara presenta valores de exposición comparativamente menores a los obtenidos por las otras amenazas (Figura 97), con afectación principalmente en los municipios de El Peñol, Los Andes (Sotomayor), La Llanada, Linares, Sandoná, La Florida, El Tambo, Samaniego, Ancuya, Consacá, Guaitarilla y Santa Cruz; junto con

algunas áreas menores de Potosí, Ipiales, Tangua, Pasto, Funes, Puerres, Córdoba, Contadero, Providencia y Túquerres.

Figura 97 Índice de exposición a incendios de la cobertura vegetal



Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

Para mayor detalle en lo referente al tipo y área de cobertura afectada por incendios de la cobertura vegetal (según su grado de amenaza: alta, media y baja), discriminada por cada uno de los municipios de la cuenca, se presenta la Tabla 49:

Tabla 49. Distribución de porcentual de pérdida por incendios de la cobertura vegetal para la cuenca hidrográfica del Río Guátara

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
Aldana	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,0	0,0	59,42	59,42	0,00	0,00	100,00
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,0	0,0	380,58	380,58	0,00	0,00	100,00
	Tierras agrícolas	Pastos	0,0	103,90	1000,08	1103,98	0,00	9,41	90,59
		Áreas agrícolas heterogéneas	0,0	819,31	2210,09	3029,40	0,00	27,05	72,95
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,0	1,43	108,12	109,55	0,00	1,30	98,70
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,0	0,0	11,42	11,42	0,00	0,00	100,00
	Total		0,0	924,63	3769,73	4694,36	0,00	19,70	80,30
Ancuya	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,0	0,0	23,22	23,22	0,00	0,00	100,00
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,0	0,0	43,84	43,84	0,00	0,00	100,00
	Tierras agrícolas	Pastos	192,39	107,87	0,60	300,85	63,95	35,85	0,20
		Áreas agrícolas heterogéneas	3992,35	1098,34	42,02	5132,71	77,78	21,40	0,82
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	199,45	286,15	1,88	487,48	40,92	58,70	0,39
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	315,94	604,22	5,05	925,22	34,15	65,31	0,55

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,0	0,0	49,23	49,23	0,00	0,00	100,00
	Total		4700,13	2096,58	165,85	6962,56	67,51	30,11	2,38
Consacá	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,17	0,04	86,20	86,41	0,19	0,05	99,76
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,0	0,0	66,47	66,47	0,00	0,00	100,00
	Tierras agrícolas	Pastos	374,78	568,02	2,31	945,10	39,65	60,10	0,24
		Áreas agrícolas heterogéneas	2211,01	2119,12	19,51	4349,64	50,83	48,72	0,45
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	650,86	4279,77	3,84	4934,47	13,19	86,73	0,08
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	325,66	1076,17	76,16	1478,00	22,03	72,81	5,15
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,0	0,0	20,47	20,47	0,00	0,00	100,00
	Total		3562,47	8043,13	274,97	11880,57	29,99	67,70	2,31
Contadero	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,0	0,0	44,33	44,33	0,00	0,00	100,00
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,0	0,0	15,52	15,52	0,00	0,00	100,00
	Tierras agrícolas	Pastos	299,13	688,61	232,29	1220,03	24,52	56,44	19,04
		Áreas agrícolas heterogéneas	172,29	1932,18	671,63	2776,10	6,21	69,60	24,19
		Bosques	0,04	49,66	217,27	266,96	0,02	18,60	81,38

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Bosques y áreas semi naturales	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,0	8,02	0,06	8,07	0,00	99,29	0,71
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,0	0,0	23,56	23,56	0,00	0,00	100,00
	Total		471,47	2678,46	1204,65	4354,58	10,83	61,51	27,66
Córdoba	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,0	0,0	54,14	54,14	0,00	0,00	100,00
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,0	0,0	35,79	35,79	0,00	0,00	100,00
	Tierras agrícolas	Pastos	11,88	136,94	2,05	150,87	7,87	90,77	1,36
		Áreas agrícolas heterogéneas	71,46	4440,39	52,69	4564,54	1,57	97,28	1,15
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,0	1803,45	1,49	1804,93	0,00	99,92	0,08
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,0	3464,48	0,68	3465,16	0,00	99,98	0,02
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,0	0,0	41,38	41,38	0,00	0,00	100,00
	Total		83,34	9845,26	188,23	10116,82	0,82	97,32	1,86
Cuaspud (carlosama)	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,0	0,0	56,91	56,91	0,00	0,00	100,00
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,0	0,0	86,64	86,64	0,00	0,00	100,00
	Tierras agrícolas	Cultivos permanentes	0,0	0,13	272,34	272,47	0,00	0,05	99,95

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
		Pastos	0,0	536,22	1187,40	1723,62	0,00	31,11	68,89
		Áreas agrícolas heterogéneas	0,0	1258,76	2371,21	3629,97	0,00	34,68	65,32
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,0	0,0	34,93	34,93	0,00	0,00	100,00
	Total		0,0	1795,12	4009,42	5804,54	0,00	30,93	69,07
Cumbal	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,0	0,0	163,54	163,54	0,00	0,00	100,00
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,0	0,0	189,06	189,06	0,00	0,00	100,00
	Tierras agrícolas	Pastos	0,0	610,29	1360,72	1971,01	0,00	30,96	69,04
		Áreas agrícolas heterogéneas	0,0	5926,25	5052,36	10978,61	0,00	53,98	46,02
	Bosques y áreas semi naturales	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,0	7747,01	3678,82	11425,83	0,00	67,80	32,20
		Áreas abiertas sin o con poca vegetación	0,0	0,0	318,77	318,77	0,00	0,00	100,00
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,0	0,0	221,57	221,57	0,00	0,00	100,00
	Total		0,0	14283,56	10984,85	25268,41	0,00	56,53	43,47
El peñol	Territorios artificializados	Zonas industriales y redes de comunicación	0,0	0,0	27,78	27,78	0,00	0,00	100,00
	Tierras agrícolas	Pastos	0,0	110,23	4,97	822,07	85,99	13,41	0,61
		Áreas agrícolas heterogéneas	706,87	169,49	2,95	1181,92	85,41	14,34	0,25

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	1009,47	22,02	0,41	314,13	92,86	7,01	0,13
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	291,71	684,47	5,71	2299,12	69,98	29,77	0,25
		Áreas abiertas sin o con poca vegetación	1608,94	0,0	2,95	2,95	0,00	0,00	100,00
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,0	0,0	8,17	8,17	0,00	0,00	100,00
	Total		3616,99	986,21	52,95	4656,15	77,68	21,18	1,14
El tambo	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,0	0,0	69,85	69,85	0,00	0,00	100,00
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,0	0,0	60,55	60,55	0,00	0,00	100,00
	Tierras agrícolas	Pastos	365,50	521,34	4,28	891,12	41,02	58,50	0,48
		Áreas agrícolas heterogéneas	3443,42	2221,43	41,79	5706,64	60,34	38,93	0,73
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	1425,67	1370,01	8,34	2804,02	50,84	48,86	0,30
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	531,70	7,36	0,29	539,36	98,58	1,37	0,05
		Áreas abiertas sin o con poca vegetación	0,02	0,02	7,78	7,82	0,20	0,20	99,60
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,0	0,0	20,84	20,84	0,00	0,00	100,00
	Total		5766,31	4120,16	213,73	10100,19	57,09	40,79	2,12
	Funes	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,0	0,09	64,32	64,42	0,00	0,15

Municipio	Coberturas	Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja		
	Zonas industriales y redes de comunicación	0,0	0,0	32,57	32,57	0,00	0,00	100,00		
	Tierras agrícolas	Pastos	54,86	1307,76	10,48	1373,10	4,00	95,24	0,76	
		Áreas agrícolas heterogéneas	702,19	5417,20	24,30	6143,69	11,43	88,18	0,40	
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	1,33	5237,90	0,71	5239,95	0,03	99,96	0,01	
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	278,05	7105,31	12,34	7395,71	3,76	96,07	0,17	
		Áreas abiertas sin o con poca vegetación	0,0	0,07	9,57	9,64	0,00	0,75	99,25	
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,0	0,0	134,54	134,54	0,00	0,00	100,00	
	Total		1036,43	19068,34	288,85	20393,62	5,08	93,50	1,42	
	Guachucal	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,0	0,0	97,87	97,87	0,00	0,00	100,00
			Zonas industriales y redes de comunicación	0,0	0,0	557,59	557,59	0,00	0,00	100,00
Tierras agrícolas		Pastos	0,0	665,33	623,87	1289,20	0,00	51,61	48,39	
		Áreas agrícolas heterogéneas	0,0	3182,53	7088,59	10271,13	0,00	30,99	69,01	
Bosques y áreas semi naturales		Bosques	0,0	0,02	49,87	49,89	0,00	0,04	99,96	
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,0	2469,33	726,94	3196,28	0,00	77,26	22,74	
Aguas superficiales		Aguas continentales	0,0	0,0	44,71	44,71	0,00	0,00	100,00	

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Total		0,0	6317,22	9189,45	15506,67	0,00	40,74	59,26
Guaitarilla	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,0	0,0	38,36	38,36	0,00	0,00	100,00
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,0	0,0	40,80	40,80	0,00	0,00	100,00
	Tierras agrícolas	Pastos	490,01	1538,15	7,28	2035,44	24,07	75,57	0,36
		Áreas agrícolas heterogéneas	1715,51	7148,22	50,54	8914,27	19,24	80,19	0,57
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	93,33	525,78	1,75	620,86	15,03	84,69	0,28
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	18,66	315,69	0,73	335,08	5,57	94,21	0,22
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,0	0,0	31,98	31,98	0,00	0,00	100,00
	Total		2317,50	9527,84	171,45	12016,80	19,29	79,29	1,43
Gualmatán	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,0	0,0	72,37	72,37	0,00	0,00	100,00
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,0	0,0	25,68	25,68	0,00	0,00	100,00
	Tierras agrícolas	Pastos	0,0	0,0	3,82	3,82	0,00	0,00	100,00
		Áreas agrícolas heterogéneas	0,0	857,32	1304,50	2161,82	0,00	39,66	60,34
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,0	171,03	544,84	715,87	0,00	23,89	76,11
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,0	0,27	30,44	30,71	0,00	0,89	99,11

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Total		0,0	1028,62	1981,64	3010,27	0,00	34,17	65,83
Iles	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,0	0,10	160,74	160,84	0,00	0,06	99,94
	Tierras agrícolas	Pastos	0,0	352,94	366,43	731,61	1,67	48,24	50,09
		Áreas agrícolas heterogéneas	941,00	3749,33	1421,98	6112,31	15,40	61,34	23,26
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	1,64	94,12	595,35	691,11	0,24	13,62	86,14
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	1,84	279,11	62,74	343,69	0,54	81,21	18,25
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,0	0,0	22,74	22,74	0,00	0,00	100,00
	Total		956,72	4475,59	2629,98	8062,29	11,87	55,51	32,62
Imués	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,06	0,01	36,16	36,24	0,18	0,02	99,80
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,0	0,0	9,64	9,64	0,00	0,00	100,00
	Tierras agrícolas	Pastos	81,55	1743,92	15,34	1840,81	4,43	94,74	0,83
		Áreas agrícolas heterogéneas	349,37	4379,30	136,55	4865,22	7,18	90,01	2,81
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	46,76	159,50	12,71	218,97	21,35	72,84	5,81
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	103,96	825,06	12,89	941,92	11,04	87,59	1,37
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,0	0,0	92,29	92,29	0,00	0,00	100,00

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Total		581,71	7107,78	315,59	8005,08	7,27	88,79	3,94
IpiALES	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,0	0,0	1122,58	1122,58	0,00	0,00	100,00
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,0	0,0	145,88	145,88	0,00	0,00	100,00
	Tierras agrícolas	Pastos	56,00	1251,36	541,76	1849,13	3,03	67,67	29,30
		Áreas agrícolas heterogéneas	74,95	8523,52	1997,64	10596,11	0,71	80,44	18,85
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,00	306,44	0,09	306,54	0,00	99,97	0,03
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,0	294,83	296,96	591,78	0,00	49,82	50,18
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,0	0,0	78,77	78,77	0,00	0,00	100,00
	Total		130,96	10376,15	4183,69	14690,80	0,89	70,63	28,48
La florida	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,0	0,0	25,46	25,46	0,00	0,00	100,00
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,0	0,0	49,34	49,34	0,00	0,00	100,00
	Tierras agrícolas	Pastos	31,14	148,16	2,45	181,75	17,13	81,52	1,35
		Áreas agrícolas heterogéneas	1006,63	4281,92	30,36	5318,91	18,93	80,50	0,57
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	1269,41	1392,16	5,63	2667,20	47,59	52,20	0,21
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	83,88	277,92	9,32	371,11	22,60	74,89	2,51

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Total		2391,05	6100,16	122,55	8613,77	27,76	70,82	1,42
La Ilanada	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,0	0,0	20,84	20,84	0,00	0,00	100,00
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,0	0,0	92,15	92,15	0,00	0,00	100,00
	Tierras agrícolas	Pastos	67,01	63,73	0,95	131,70	50,89	48,39	0,72
		Áreas agrícolas heterogéneas	731,45	499,57	10,98	1242,00	58,89	40,22	0,88
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	515,79	750,02	8,43	1274,24	40,48	58,86	0,66
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	744,11	528,19	2,58	1274,87	58,37	41,43	0,20
		Áreas abiertas sin o con poca vegetación	0,00	0,05	5,40	5,46	0,01	1,00	98,99
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,0	0,0	2,62	2,62	0,00	0,00	100,00
	Total		2058,36	1841,56	143,95	4043,88	50,90	45,54	3,56
	Linares	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,0	0,0	49,05	49,05	0,00	0,00
Zonas industriales y redes de comunicación			0,0	0,0	98,83	98,83	0,00	0,00	100,00
Tierras agrícolas		Pastos	213,30	87,39	3,14	303,83	70,20	28,76	1,03
		Áreas agrícolas heterogéneas	2365,79	1007,09	26,14	3399,02	69,60	29,63	0,77
		Bosques	2779,15	1083,50	11,62	3874,27	71,73	27,97	0,30

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Bosques y áreas semi naturales	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	4973,65	487,76	22,74	5484,15	90,69	8,89	0,41
		Áreas abiertas sin o con poca vegetación	0,09	0,00	17,05	17,14	0,53	0,00	99,47
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,0	0,0	117,12	117,12	0,00	0,00	100,00
	Total		10331,98	2665,73	345,69	13343,40	77,43	19,98	2,59
Los andes (sotomayor)	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,0	0,0	40,37	40,37	0,00	0,00	100,00
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,0	0,0	155,31	155,31	0,00	0,00	100,00
	Tierras agrícolas	Cultivos transitorios	24,86	8,94	0,00	33,80	73,54	26,46	0,00
		Pastos	222,53	239,64	3,22	465,40	47,82	51,49	0,69
		Áreas agrícolas heterogéneas	980,01	982,75	18,54	1981,31	49,46	49,60	0,94
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	940,22	1321,37	10,80	2272,39	41,38	58,15	0,48
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	2790,50	876,51	15,69	3682,70	75,77	23,80	0,43
		Áreas abiertas sin o con poca vegetación	0,04	0,0	6,09	6,13	0,66	0,00	99,34
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,0	0,0	75,91	75,91	0,00	0,00	100,00
	Total		4958,17	3429,21	325,94	8713,32	56,90	39,36	3,74
	Ospina	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,0	0,01	65,14	65,15	0,00	0,01

Municipio	Coberturas	Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja	
	Zonas industriales y redes de comunicación	0,0	0,0	11,83	11,83	0,00	0,00	100,00	
	Tierras agrícolas	Cultivos transitorios	0,0	20,74	358,15	378,89	0,00	5,47	94,53
		Pastos	0,0	339,30	101,02	440,33	0,00	77,06	22,94
		Áreas agrícolas heterogéneas	0,0	1753,05	2730,16	4483,21	0,00	39,10	60,90
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,0	109,36	214,14	323,49	0,00	33,80	66,20
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,0	619,47	104,77	724,24	0,00	85,53	14,47
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,0	0,0	81,81	81,81	0,00	0,00	100,00
	Total		0,0	2841,92	3667,03	6508,96	0,00	43,66	56,34
Pasto	Territorios artificializados	Zonas industriales y redes de comunicación	0,0	0,00	85,18	85,18	0,00	0,00	100,00
	Tierras agrícolas	Pastos	0,0	1060,65	4,24	1064,89	0,00	99,60	0,40
		Áreas agrícolas heterogéneas	8,74	8385,78	193,72	8588,24	0,10	97,64	2,26
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,0	6364,95	23,56	6388,51	0,00	99,63	0,37
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,30	2327,18	88,07	2415,55	0,01	96,34	3,65
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,0	0,0	240,15	240,15	0,00	0,00	100,00
		Aguas continentales	0,0	0,0	0,12	0,12	0,00	0,00	100,00

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Total		9,04	18138,56	634,92	18782,52	0,05	96,57	3,38
	Policarpa		0,0	0,0	0,115158	0,115158	0,00	0,00	100,00
Potosí	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,0	0,0	29,85	29,85	0,00	0,00	100,00
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,0	0,0	71,39	71,39	0,00	0,00	100,00
	Tierras agrícolas	Pastos	64,58	367,19	2,44	434,21	14,87	84,56	0,56
		Áreas agrícolas heterogéneas	32,49	6465,12	51,46	6549,07	0,50	98,72	0,79
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,0	4958,73	4,05	4962,78	0,00	99,92	0,08
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,05	853,38	0,44	853,87	0,01	99,94	0,05
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,0	0,0	15,05	15,05	0,00	0,00	100,00
	Total		97,12	12644,43	174,67	12916,23	0,75	97,90	1,35
Providencia	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,0	0,0	15,98	15,98	0,00	0,00	100,00
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,0	0,0	26,82	26,82	0,00	0,00	100,00
	Tierras agrícolas	Pastos	9,30	57,15	0,10	66,55	13,97	85,87	0,15
		Áreas agrícolas heterogéneas	1613,88	1583,50	27,41	3224,79	50,05	49,10	0,85
		Bosques	105,78	841,00	2,53	949,31	11,14	88,59	0,27

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja	
	Bosques y áreas semi naturales	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	7,35	90,32	0,35	98,02	7,49	92,15	0,36	
	Total		1736,30	2571,97	73,19	4381,46	39,63	58,70	1,67	
Puerres	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,0	0,0	103,56	103,56	0,00	0,00	100,00	
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,0	0,0	42,13	42,13	0,00	0,00	100,00	
	Tierras agrícolas	Pastos	112,78	297,81	2,37	412,97	27,31	72,11	0,57	
		Áreas agrícolas heterogéneas	162,96	3618,76	31,69	3813,41	4,27	94,90	0,83	
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,0	2341,47	0,84	2342,31	0,00	99,96	0,04	
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,0	2528,74	0,88	2529,62	0,00	99,97	0,03	
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,0	0,0	44,90	44,90	0,00	0,00	100,00	
	Total		275,75	8786,79	226,37	9288,90	2,97	94,59	2,44	
	Pupiales	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,0	0,0	158,08	158,08	0,00	0,00	100,00
			Zonas industriales y redes de comunicación	0,0	0,0	161,91	161,91	0,00	0,00	100,00
Tierras agrícolas		Pastos	0,0	136,18	373,71	509,89	0,00	26,71	73,29	
		Áreas agrícolas heterogéneas	0,0	3876,57	7196,29	11072,86	0,00	35,01	64,99	

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja	
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,0	134,81	374,53	509,34	0,00	26,47	73,53	
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,0	24,77	526,97	551,74	0,00	4,49	95,51	
	Total		0,0	4172,33	8791,49	12963,82	0,00	32,18	67,82	
Samaniego	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,0	0,0	94,86	94,86	0,00	0,00	100,00	
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,0	0,0	214,70	214,70	0,00	0,00	100,00	
	Tierras agrícolas	Pastos	79,00	774,96	0,81	854,76	9,24	90,66	0,09	
		Áreas agrícolas heterogéneas	2601,27	5503,06	26,87	8131,20	31,99	67,68	0,33	
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	1491,05	3983,86	13,63	5488,54	27,17	72,59	0,25	
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	564,73	887,54	2,46	1454,74	38,82	61,01	0,17	
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,0	0,0	14,89	14,89	0,00	0,00	100,00	
	Total		4736,04	11149,42	368,24	16253,70	29,14	68,60	2,27	
	Sandón	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,0	0,0	145,18	145,18	0,00	0,00	100,00
			Zonas industriales y redes de comunicación	0,03	0,0	66,88	66,90	0,04	0,00	99,96
Tierras agrícolas		Pastos	216,43	187,36	2,74	406,52	53,24	46,09	0,67	
		Áreas agrícolas heterogéneas	3879,59	2817,15	37,80	6734,54	57,61	41,83	0,56	

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	1213,23	1113,51	3,96	2330,70	52,05	47,78	0,17
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	207,21	198,52	0,96	406,69	50,95	48,81	0,24
		Áreas abiertas sin o con poca vegetación	0,05	0,0	6,27	6,32	0,77	0,00	99,23
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,0	0,0	31,84	31,84	0,00	0,00	100,00
	Total		5516,53	4316,54	295,63	10128,70	54,46	42,62	2,92
Santa cruz (guachavés)	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,0	0,0	12,06	12,06	0,00	0,00	100,00
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,0	0,0	114,56	114,56	0,00	0,00	100,00
	Tierras agrícolas	Pastos	52,07	338,72	0,25	391,04	13,32	86,62	0,06
		Áreas agrícolas heterogéneas	3606,43	3383,22	37,71	7027,35	51,32	48,14	0,54
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	45,02	1707,15	0,85	1753,02	2,57	97,38	0,05
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	35,95	1177,21	0,74	1213,89	2,96	96,98	0,06
	Total		3739,47	6606,29	166,16	10511,92	35,57	62,85	1,58
Sapuyes	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,0	0,0	62,37	62,37	0,00	0,00	100,00
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,0	0,0	72,70	72,70	0,00	0,00	100,00
	Tierras agrícolas	Cultivos transitorios	0,0	0,35	16,74	17,09	0,00	2,04	97,96

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
		Pastos	0,0	1311,13	1105,82	2416,95	0,00	54,25	45,75
		Áreas agrícolas heterogéneas	0,0	4243,81	1812,23	6056,04	0,00	70,08	29,92
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,0	37,89	144,06	181,95	0,00	20,82	79,18
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,0	1568,96	261,96	1830,91	0,00	85,69	14,31
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,0	0,0	0,86	0,86	0,00	0,00	100,00
	Total			0,0	7162,14	3476,73	10638,87	0,00	67,32
Tangua	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,0	0,0	35,63	35,63	0,00	0,00	100,00
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,0	0,0	59,42	59,42	0,00	0,00	100,00
	Tierras agrícolas	Pastos	104,61	2097,14	5,86	2207,61	4,74	95,00	0,27
		Áreas agrícolas heterogéneas	584,55	8282,12	42,64	8909,30	6,56	92,96	0,48
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	3,40	3696,68	23,70	3723,78	0,09	99,27	0,64
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	2,92	5292,99	85,36	5381,27	0,05	98,36	1,59
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,0	0,0	91,49	91,49	0,00	0,00	100,00
	Total			695,48	19368,93	344,08	20408,50	3,41	94,91
Túquerres	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,0	0,0	218,13	218,13	0,00	0,00	100,00

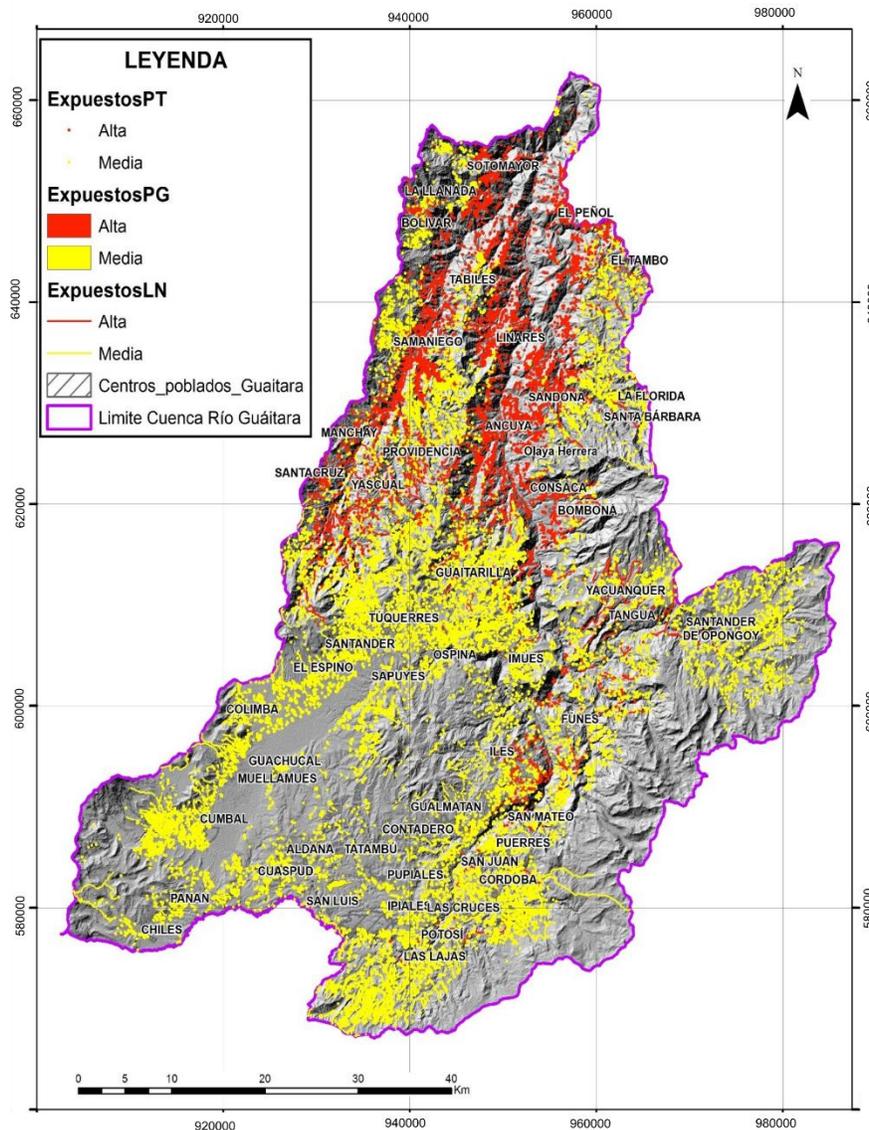
Municipio	Coberturas	Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja		
	Zonas industriales y redes de comunicación	0,0	0,0	285,14	285,14	0,00	0,00	100,00		
	Tierras agrícolas	Cultivos transitorios	0,0	40,27	60,48	100,76	0,00	39,97	60,03	
		Pastos	41,22	995,64	4,99	1041,85	3,96	95,56	0,48	
		Áreas agrícolas heterogéneas	2032,88	11712,61	1329,95	15075,44	13,48	77,69	8,82	
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	191,78	1387,08	22,88	1601,74	11,97	86,60	1,43	
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	51,02	3064,06	30,89	3145,97	1,62	97,40	0,98	
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,0	0,0	17,53	17,53	0,00	0,00	100,00	
	Total		2316,89	17199,66	1969,99	21486,55	10,78	80,05	9,17	
	Yacuanquer	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,04	0,11	70,84	70,99	0,05	0,16	99,79
			Zonas industriales y redes de comunicación	0,0	0,0	71,62	71,62	0,00	0,00	100,00
Zonas de extracción minera			0,0	0,0	5,58	5,58	0,00	0,00	100,00	
Tierras agrícolas		Pastos	444,75	1994,98	6,01	2445,74	18,18	81,57	0,25	
		Áreas agrícolas heterogéneas	654,09	3694,34	15,86	4364,28	14,99	84,65	0,36	
Bosques y áreas semi naturales		Bosques	27,08	1095,76	0,34	1123,18	2,41	97,56	0,03	
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	364,30	1735,38	19,38	2119,05	17,19	81,89	0,91	

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,0	0,0	33,17	33,17	0,00	0,00	100,00
	Total		1490,25	8520,57	222,79	10233,61	14,56	83,26	2,18
Total general			63580,93	240535,24	60986,66	365102,83	17,41	65,88	16,70

Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

Los elementos expuestos a la amenaza amenaza alta y media por incendios de la cobertura vegetal corresponden a infraestructura vial (vías tipo 4, 5, y 6) y otras construcciones.

Figura 98 Elementos expuestos en zonas de amenaza por Incendios De la cobertura vegetal.

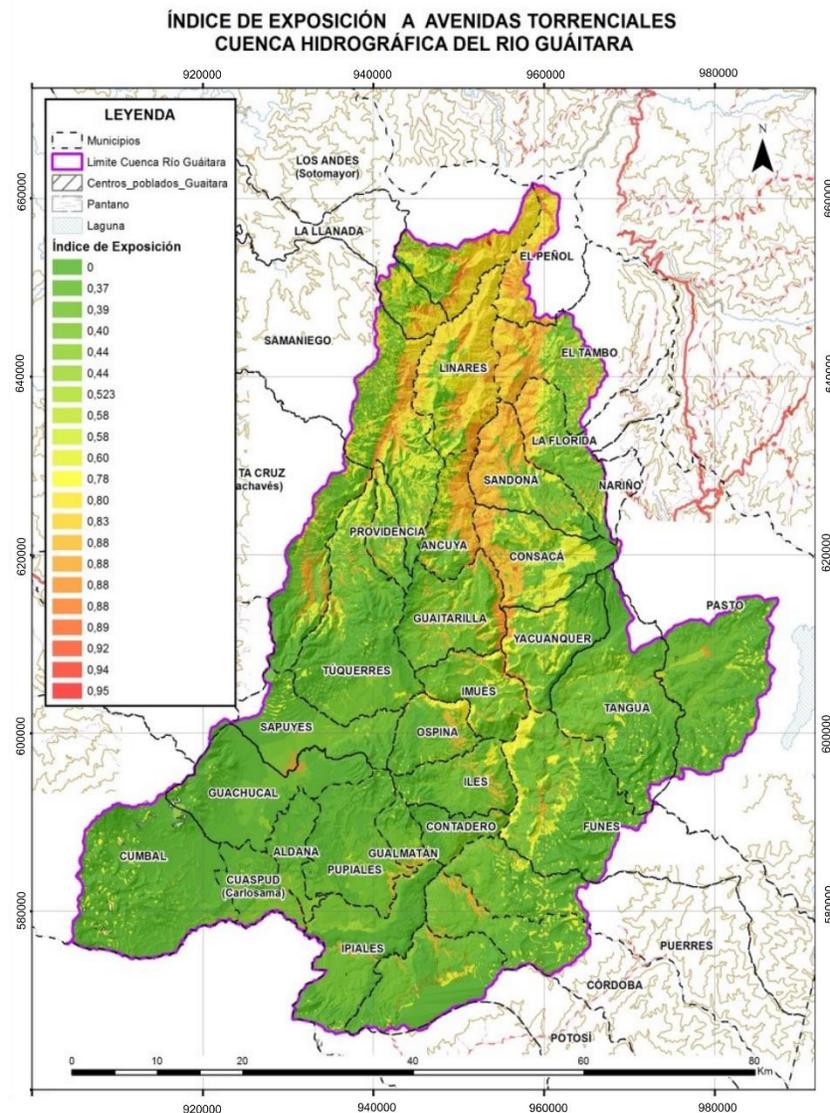


Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

1.13.1.1.5 Índice de exposición a avenidas torrenciales:

Por avenidas torrenciales la cuenca hidrográfica del Río Guaitara presenta los mayores índices de exposición en la región norte (Figura 99), en el área aledaña a los ríos Pascual y Guaitara, presentando un grado mayor de pérdida en los municipios de Los Andes (Sotomayor), Linares, El Peñol; junto con la parte oriental de La Llanada, Ancuya, Guaitarilla, Imues, Pupiales; la región occidental de los municipios de Yacuanquer, Consacá, Sandoná, La Florida y El tambo y la parte central del municipio de Samaniego.

Figura 99 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 50:

Tabla 50. Distribución de porcentual de pérdida por avenidas torrenciales para la cuenca hidrográfica del Río Guátara

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
Aldana	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,00	59,42	0,00	59,42	0,00	100,00	0,00
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,13	170,85	209,60	380,58	0,03	44,89	55,07
	Tierras agrícolas	Pastos	20,15	511,43	572,40	1103,98	1,83	46,33	51,85
		Áreas agrícolas heterogéneas	0,01	931,87	2.097,53	3029,40	0,00	30,76	69,24
	Bosques y áreas seminaturales	Bosques	0,00	2,58	106,97	109,55	0,00	2,35	97,65
	Aguas superficiales	Aguas continentales	1,74	9,68	0,00	11,42	15,25	84,75	0,00
	Total		22,03	1685,83	2.986,50	4694,36	0,47	35,91	63,62
Ancuya	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	20,65	2,58	0,00	23,22	88,90	11,10	0,00
		Zonas industriales y redes de comunicación	10,31	33,43	0,10	43,84	23,52	76,25	0,22
	Tierras agrícolas	Pastos	163,88	136,97	0,00	300,85	54,47	45,53	0,00
		Áreas agrícolas heterogéneas	2.296,83	2807,03	28,85	5132,71	44,75	54,69	0,56
	Bosques y áreas seminaturales	Bosques	176,60	310,89	0,00	487,48	36,23	63,77	0,00
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	211,23	713,99	0,00	925,22	22,83	77,17	0,00

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Aguas superficiales	Aguas continentales	38,42	10,81	0,00	49,23	78,04	21,96	0,00
	Total		2.917,92	4015,69	28,95	6962,56	41,91	57,68	0,42
Consacá	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	59,02	27,39	0,00	86,41	68,30	31,70	0,00
		Zonas industriales y redes de comunicación	47,14	19,33	0,00	66,47	70,92	29,08	0,00
	Tierras agrícolas	Pastos	331,73	613,38	0,00	945,10	35,10	64,90	0,00
		Áreas agrícolas heterogéneas	1.564,41	2785,23	0,00	4349,64	35,97	64,03	0,00
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	538,78	3270,10	1.125,60	4934,47	10,92	66,27	22,81
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	249,64	777,53	450,83	1478,00	16,89	52,61	30,50
	Aguas superficiales	Aguas continentales	12,48	7,99	0,00	20,47	60,99	39,01	0,00
	Total		2.803,20	7500,94	1.576,43	11880,57	23,59	63,14	13,27
Contadero	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,00	27,57	16,77	44,33	0,00	62,18	37,82
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,19	1,23	14,10	15,52	1,22	7,94	90,84
	Tierras agrícolas	Pastos	8,01	873,12	338,90	1220,03	0,66	71,57	27,78
		Áreas agrícolas heterogéneas	92,35	1578,97	1.104,77	2776,10	3,33	56,88	39,80

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja	
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,00	37,60	229,36	266,96	0,00	14,08	85,92	
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,00	8,07	0,00	8,07	0,00	100,00	0,00	
	Aguas superficiales	Aguas continentales	2,75	20,81	0,00	23,56	11,67	88,33	0,00	
	Total		103,30	2547,37	1.703,90	4354,58	2,37	58,50	39,13	
Córdoba	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,00	54,14	0,00	54,14	0,00	100,00	0,00	
		Zonas industriales y redes de comunicación	1,25	33,25	1,29	35,79	3,51	92,90	3,60	
	Tierras agrícolas	Pastos	5,60	144,34	0,93	150,87	3,71	95,67	0,62	
		Áreas agrícolas heterogéneas	629,16	3755,02	180,36	4564,54	13,78	82,26	3,95	
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,03	211,40	1.593,51	1804,93	0,00	11,71	88,29	
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	27,52	572,73	2.864,91	3465,16	0,79	16,53	82,68	
	Aguas superficiales	Aguas continentales	13,76	26,27	1,36	41,38	33,24	63,47	3,29	
	Total		677,32	4797,14	4.642,36	10116,82	6,70	47,42	45,89	
	Cuaspud (Carlosama)	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,01	56,89	0,00	56,91	0,03	99,97	0,00
			Zonas industriales y redes de comunicación	0,62	38,58	47,44	86,64	0,72	44,53	54,75

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja	
	Tierras agrícolas	Cultivos permanentes	0,00	113,13	159,34	272,47	0,00	41,52	58,48	
		Pastos	135,52	887,24	700,86	1723,62	7,86	51,48	40,66	
		Áreas agrícolas heterogéneas	0,34	1795,64	1.830,12	3626,10	0,01	49,52	50,47	
	Aguas superficiales	Aguas continentales	4,99	28,40	1,54	34,93	14,28	81,31	4,41	
	Total		141,49	2919,88	2.739,30	5800,67	2,44	50,34	47,22	
Cumbal	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,00	10,94	152,60	163,54	0,00	6,69	93,31	
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,78	30,45	157,84	189,06	0,41	16,10	83,48	
	Tierras agrícolas	Pastos	61,25	317,93	1.591,83	1971,01	3,11	16,13	80,76	
		Áreas agrícolas heterogéneas	0,07	1581,58	9.396,96	10978,60	0,00	14,41	85,59	
	Bosques y áreas semi naturales	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,27	925,19	10.500,37	11425,83	0,00	8,10	91,90	
		Áreas abiertas sin o con poca vegetación	0,00	2,19	316,58	318,77	0,00	0,69	99,31	
	Aguas superficiales	Aguas continentales	128,13	19,29	74,15	221,57	57,83	8,71	33,46	
	Total		190,50	2887,58	22.190,32	25268,40	0,75	11,43	87,82	
	El peñol	Territorios artificializados	Zonas industriales y redes de comunicación	25,51	2,27	0,00	27,78	91,84	8,16	0,00

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Tierras agrícolas	Pastos	783,55	38,52	0,00	822,07	95,31	4,69	0,00
		Áreas agrícolas heterogéneas	1.086,46	95,46	0,00	1181,92	91,92	8,08	0,00
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	262,43	51,71	0,00	314,13	83,54	16,46	0,00
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	2.185,91	113,21	0,00	2299,12	95,08	4,92	0,00
		Áreas abiertas sin o con poca vegetación	2,95	0,00	0,00	2,95	100,00	0,00	0,00
	Aguas superficiales	Aguas continentales	4,64	3,53	0,00	8,17	56,77	43,23	0,00
	Total		4.351,45	304,70	0,00	4656,15	93,46	6,54	0,00
El Tambo	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	3,28	66,57	0,00	69,85	4,70	95,30	0,00
		Zonas industriales y redes de comunicación	21,63	38,92	0,00	60,55	35,72	64,28	0,00
	Tierras agrícolas	Pastos	302,14	588,98	0,00	891,12	33,91	66,09	0,00
		Áreas agrícolas heterogéneas	2.459,58	3247,06	0,00	5706,64	43,10	56,90	0,00
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	1.373,42	1430,60	0,00	2804,02	48,98	51,02	0,00
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	519,69	19,66	0,00	539,36	96,35	3,65	0,00
		Áreas abiertas sin o con poca vegetación	5,33	2,49	0,00	7,82	68,15	31,85	0,00

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Aguas superficiales	Aguas continentales	20,07	0,77	0,00	20,84	96,29	3,71	0,00
	Total		4.705,14	5395,06	0,00	10100,19	46,58	53,42	0,00
Funes	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,00	64,42	0,00	64,42	0,00	100,00	0,00
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,00	32,57	0,00	32,57	0,00	100,00	0,00
	Tierras agrícolas	Pastos	5,90	1365,36	1,84	1373,10	0,43	99,44	0,13
		Áreas agrícolas heterogéneas	436,78	5663,03	43,88	6143,69	7,11	92,18	0,71
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	56,48	1373,27	3.810,20	5239,95	1,08	26,21	72,71
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	69,69	2060,34	5.265,68	7395,71	0,94	27,86	71,20
		Áreas abiertas sin o con poca vegetación	0,03	9,61	0,00	9,64	0,30	99,70	0,00
	Aguas superficiales	Aguas continentales	13,39	115,40	5,75	134,54	9,95	85,78	4,27
	Total		582,27	10684,01	9.127,34	20393,62	2,86	52,39	44,76
	Guachucal	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	1,81	10,44	85,63	97,87	1,85	10,66
Zonas industriales y redes de comunicación			0,00	217,33	340,26	557,59	0,00	38,98	61,02
Tierras agrícolas		Pastos	84,50	156,93	1.047,76	1289,20	6,55	12,17	81,27

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja	
		Áreas agrícolas heterogéneas	0,65	2603,77	7.666,71	10271,13	0,01	25,35	74,64	
	Bosques y áreas seminaturales	Bosques	0,00	0,00	49,89	49,89	0,00	0,00	100,00	
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,25	81,39	3.114,64	3196,28	0,01	2,55	97,45	
	Aguas superficiales	Aguas continentales	41,58	0,00	3,13	44,71	93,01	0,00	6,99	
	Total		128,80	3069,86	12.308,01	15506,67	0,83	19,80	79,37	
Guaitarilla	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,23	38,13	0,00	38,36	0,60	99,40	0,00	
		Zonas industriales y redes de comunicación	3,14	32,95	4,71	40,80	7,69	80,75	11,55	
	Tierras agrícolas	Pastos	328,74	1585,60	121,11	2035,44	16,15	77,90	5,95	
		Áreas agrícolas heterogéneas	1.361,53	6775,65	777,09	8914,27	15,27	76,01	8,72	
	Bosques y áreas seminaturales	Bosques	118,46	483,89	18,51	620,86	19,08	77,94	2,98	
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	27,28	275,85	31,96	335,08	8,14	82,32	9,54	
	Aguas superficiales	Aguas continentales	23,26	8,71	0,00	31,98	72,75	27,25	0,00	
	Total		1.862,64	9200,77	953,38	12016,80	15,50	76,57	7,93	
	Gualmatá		Zonas urbanizadas	0,00	72,37	0,00	72,37	0,00	100,00	0,00

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Territorios artificializados	Zonas industriales y redes de comunicación	0,00	22,09	3,59	25,68	0,00	86,01	13,99
	Tierras agrícolas	Pastos	0,00	3,82	0,00	3,82	0,00	100,00	0,00
		Áreas agrícolas heterogéneas	158,40	1468,63	534,79	2161,82	7,33	67,93	24,74
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,79	210,10	504,97	715,87	0,11	29,35	70,54
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,00	3,37	27,34	30,71	0,00	10,98	89,02
Total			159,19	1780,38	1.070,70	3010,27	5,29	59,14	35,57
Illes	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,04	160,80	0,00	160,84	0,02	99,98	0,00
	Tierras agrícolas	Pastos	0,33	283,38	447,90	731,61	0,05	38,73	61,22
		Áreas agrícolas heterogéneas	484,23	4879,69	748,39	6112,31	7,92	79,83	12,24
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	1,86	163,71	525,53	691,11	0,27	23,69	76,04
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	1,77	282,63	59,29	343,69	0,52	82,23	17,25
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,16	22,58	0,00	22,74	0,69	99,31	0,00
Total			488,40	5792,79	1.781,11	8062,29	6,06	71,85	22,09
Imúes		Zonas urbanizadas	0,00	36,23	0,00	36,24	0,00	100,00	0,00

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Territorios artificializados	Zonas industriales y redes de comunicación	0,00	9,64	0,00	9,64	0,00	100,00	0,00
	Tierras agrícolas	Pastos	106,44	1718,14	16,23	1840,81	5,78	93,34	0,88
		Áreas agrícolas heterogéneas	378,93	4448,83	37,45	4865,22	7,79	91,44	0,77
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	58,09	160,88	0,00	218,97	26,53	73,47	0,00
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	84,25	854,63	3,04	941,92	8,94	90,73	0,32
	Aguas superficiales	Aguas continentales	18,82	73,47	0,00	92,29	20,39	79,61	0,00
	Total			646,53	7301,83	56,72	8005,08	8,08	91,21
Ipiiales	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,06	362,96	759,56	1122,58	0,01	32,33	67,66
		Zonas industriales y redes de comunicación	1,22	88,09	56,57	145,88	0,84	60,39	38,78
	Tierras agrícolas	Pastos	32,80	755,71	1.060,62	1849,13	1,77	40,87	57,36
		Áreas agrícolas heterogéneas	216,41	5861,86	4.516,37	10594,64	2,04	55,33	42,63
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,13	125,31	181,10	306,54	0,04	40,88	59,08
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	7,07	22,53	562,18	591,78	1,20	3,81	95,00

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Aguas superficiales	Aguas continentales	16,95	17,47	44,35	78,77	21,52	22,18	56,30
	Total		274,64	7233,93	7.180,76	14689,33	1,87	49,25	48,88
La florida	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,00	25,46	0,00	25,46	0,02	99,98	0,00
		Zonas industriales y redes de comunicación	1,06	48,28	0,00	49,34	2,15	97,85	0,00
	Tierras agrícolas	Pastos	30,49	151,26	0,00	181,75	16,78	83,22	0,00
		Áreas agrícolas heterogéneas	826,87	4468,75	23,29	5318,91	15,55	84,02	0,44
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	1.036,09	1393,60	237,50	2667,20	38,85	52,25	8,90
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	62,38	132,54	176,19	371,11	16,81	35,72	47,48
	Total		1.956,90	6219,89	436,98	8613,77	22,72	72,21	5,07
La llanada	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,00	20,84	0,00	20,84	0,00	100,00	0,00
		Zonas industriales y redes de comunicación	9,87	82,28	0,00	92,15	10,71	89,29	0,00
	Tierras agrícolas	Pastos	47,96	83,74	0,00	131,70	36,41	63,59	0,00
		Áreas agrícolas heterogéneas	257,28	984,72	0,00	1242,00	20,71	79,29	0,00
		Bosques	347,41	868,47	58,36	1274,24	27,26	68,16	4,58

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Bosques y áreas semi naturales	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	698,56	495,54	80,77	1274,87	54,79	38,87	6,34
		Áreas abiertas sin o con poca vegetación	0,00	5,46	0,00	5,46	0,00	100,00	0,00
	Aguas superficiales	Aguas continentales	1,85	0,77	0,00	2,62	70,58	29,42	0,00
	Total		1.362,92	2541,83	139,13	4043,88	33,70	62,86	3,44
Linaires	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	29,18	19,86	0,00	49,05	59,50	40,50	0,00
		Zonas industriales y redes de comunicación	33,13	65,70	0,00	98,83	33,52	66,48	0,00
	Tierras agrícolas	Pastos	180,42	123,41	0,00	303,83	59,38	40,62	0,00
		Áreas agrícolas heterogéneas	1.731,95	1667,06	0,00	3399,02	50,95	49,05	0,00
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	2.420,09	1454,17	0,00	3874,27	62,47	37,53	0,00
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	4.729,33	754,82	0,00	5484,15	86,24	13,76	0,00
		Áreas abiertas sin o con poca vegetación	17,14	0,00	0,00	17,14	100,00	0,00	0,00
	Aguas superficiales	Aguas continentales	106,49	10,63	0,00	117,12	90,92	9,08	0,00
	Total		9.247,73	4095,67	0,00	1334,340	69,31	30,69	0,00
	Los Andes		Zonas urbanizadas	35,08	5,29	0,00	40,37	86,90	13,10

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Territorios artificializados	Zonas industriales y redes de comunicación	87,74	67,56	0,00	155,31	56,50	43,50	0,00
	Tierras agrícolas	Cultivos transitorios	24,83	8,97	0,00	33,80	73,45	26,55	0,00
		Pastos	153,38	312,02	0,00	465,40	32,96	67,04	0,00
		Áreas agrícolas heterogéneas	631,76	1348,05	1,50	1981,31	31,89	68,04	0,08
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	985,72	1191,70	94,98	2272,39	43,38	52,44	4,18
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.228,67	359,30	94,73	3682,70	87,67	9,76	2,57
		Áreas abiertas sin o con poca vegetación	6,02	0,11	0,00	6,13	98,13	1,87	0,00
	Aguas superficiales	Aguas continentales	35,32	40,59	0,00	75,91	46,53	53,47	0,00
	Total		5.188,52	3333,59	191,21	8713,32	59,55	38,26	2,19
	Ospina	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,00	41,18	23,97	65,15	0,00	63,21
Zonas industriales y redes de comunicación			0,00	9,53	2,30	11,83	0,00	80,54	19,46
Tierras agrícolas		Cultivos transitorios	0,12	218,74	160,03	378,89	0,03	57,73	42,24
		Pastos	5,74	327,74	106,85	440,33	1,30	74,43	24,27
		Áreas agrícolas heterogéneas	429,03	2583,26	1.470,92	4483,21	9,57	57,62	32,81

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	6,06	144,58	172,85	323,49	1,87	44,69	53,43
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	49,77	615,26	59,21	724,24	6,87	84,95	8,18
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,25	81,56	0,00	81,81	0,31	99,69	0,00
	Total		490,97	4021,86	1.996,12	6508,96	7,54	61,79	30,67
Pasto	Territorios artificializados	Zonas industriales y redes de comunicación	0,35	62,17	22,66	85,18	0,42	72,98	26,60
	Tierras agrícolas	Pastos	72,31	535,00	457,58	1064,89	6,79	50,24	42,97
		Áreas agrícolas heterogéneas	2,51	5161,05	3.424,68	8588,24	0,03	60,09	39,88
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,04	858,20	5.530,27	6388,51	0,00	13,43	86,57
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	7,38	287,47	2.120,69	2415,55	0,31	11,90	87,79
	Aguas superficiales	Aguas continentales	203,70	36,45	0,00	240,15	84,82	15,18	0,00
	Total		286,30	6940,34	11.555,88	18782,52	1,52	36,95	61,52
Policarpa	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,12	0,00	0,00	0,12	100,00	0,00	0,00
Potosí	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,12	26,22	3,51	29,85	0,39	87,83	11,78
		Zonas industriales y redes de comunicación	2,82	50,21	18,36	71,39	3,94	70,33	25,72

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Tierras agrícolas	Pastos	13,42	366,82	53,97	434,21	3,09	84,48	12,43
		Áreas agrícolas heterogéneas	280,84	4118,06	2.150,17	6549,07	4,29	62,88	32,83
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,00	514,46	4.448,32	4962,78	0,00	10,37	89,63
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,31	34,57	818,99	853,87	0,04	4,05	95,92
	Aguas superficiales	Aguas continentales	1,29	5,85	7,91	15,05	8,58	38,86	52,56
	Total			298,80	5116,18	7.501,25	1291,623	2,31	39,61
Providencia	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	1,79	14,19	0,00	15,98	11,20	88,80	0,00
		Zonas industriales y redes de comunicación	1,75	15,52	9,54	26,82	6,54	57,88	35,58
	Tierras agrícolas	Pastos	0,02	66,53	0,00	66,55	0,03	99,97	0,00
		Áreas agrícolas heterogéneas	249,31	2570,72	404,76	3224,79	7,73	79,72	12,55
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	77,89	863,25	8,17	949,31	8,21	90,93	0,86
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva		96,66	1,35	98,02	0,00	98,62	1,38
	Total			330,77	3626,87	423,82	4381,46	7,55	82,78
Puerres	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,11	103,45	0,00	103,56	0,11	99,89	0,00

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,94	28,69	12,49	42,13	2,23	68,11	29,65
	Tierras agrícolas	Pastos	2,26	410,71	0,00	412,97	0,55	99,45	0,00
		Áreas agrícolas heterogéneas	173,75	3460,22	179,44	3813,41	4,56	90,74	4,71
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,05	514,52	1.827,73	2342,31	0,00	21,97	78,03
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	37,22	430,87	2.061,53	2529,62	1,47	17,03	81,50
	Aguas superficiales	Aguas continentales	5,23	38,67	1,00	44,90	11,65	86,11	2,24
	Total			219,56	4987,13	4.082,21	9288,90	2,36	53,69
Pupiales	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,00	71,93	86,15	158,08	0,00	45,50	54,50
		Zonas industriales y redes de comunicación	1,56	83,79	76,56	161,91	0,96	51,75	47,28
	Tierras agrícolas	Pastos	1,06	67,01	441,83	509,89	0,21	13,14	86,65
		Áreas agrícolas heterogéneas	247,45	5508,62	5.316,79	11072,86	2,23	49,75	48,02
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,52	220,97	287,85	509,34	0,10	43,38	56,52
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,00	32,58	519,16	551,74	0,00	5,90	94,10

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja	
	Total		250,59	5984,89	6.728,34	12963,82	1,93	46,17	51,90	
Samaniego	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	79,64	15,22	0,00	94,86	83,96	16,04	0,00	
		Zonas industriales y redes de comunicación	71,00	141,76	1,94	214,70	33,07	66,03	0,90	
	Tierras agrícolas	Pastos	32,14	822,41	0,21	854,76	3,76	96,22	0,02	
		Áreas agrícolas heterogéneas	1.463,45	6611,58	56,17	8131,20	18,00	81,31	0,69	
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	1.117,51	4371,03	0,00	5488,54	20,36	79,64	0,00	
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	535,87	917,71	1,16	1454,74	36,84	63,08	0,08	
	Aguas superficiales	Aguas continentales	10,61	4,28	0,00	14,89	71,26	28,74	0,00	
	Total		3.310,22	12884,00	59,48	16253,70	20,37	79,27	0,37	
	Sandón	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	11,53	133,65	0,00	145,18	7,94	92,06	0,00
			Zonas industriales y redes de comunicación	17,37	49,53	0,00	66,90	25,96	74,04	0,00
Tierras agrícolas		Pastos	176,09	203,61	26,82	406,52	43,32	50,09	6,60	
		Áreas agrícolas heterogéneas	3.354,36	3291,96	88,22	6734,54	49,81	48,88	1,31	
		Bosques	1.073,93	920,88	335,88	2330,70	46,08	39,51	14,41	

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Bosques y áreas semi naturales	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	195,88	128,25	82,55	406,69	48,17	31,54	20,30
		Áreas abiertas sin o con poca vegetación	6,32	0,00	0,00	6,32	100,00	0,00	0,00
	Aguas superficiales	Aguas continentales	25,09	6,75	0,00	31,84	78,79	21,21	0,00
	Total		4.860,58	4734,64	533,47	10128,70	47,99	46,74	5,27
Santa cruz (guachavés)	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,08	11,98	0,00	12,06	0,65	99,35	0,00
		Zonas industriales y redes de comunicación	22,64	88,89	3,02	114,56	19,76	77,60	2,64
	Tierras agrícolas	Pastos	30,36	230,67	130,01	391,04	7,76	58,99	33,25
		Áreas agrícolas heterogéneas	1.180,83	4857,07	989,46	7027,35	16,80	69,12	14,08
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	53,57	766,49	932,97	1753,02	3,06	43,72	53,22
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	5,02	269,97	938,90	1213,89	0,41	22,24	77,35
	Total		1.292,49	6225,06	2.994,37	10511,92	12,30	59,22	28,49
Sapuyes	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,00	36,78	25,59	62,37	0,00	58,97	41,03
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,17	50,74	21,79	72,70	0,24	69,79	29,98
		Cultivos transitorios	0,00	14,32	2,77	17,09	0,00	83,78	16,22

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja	
	Tierras agrícolas	Pastos	169,24	1245,99	1.001,73	2416,95	7,00	51,55	41,45	
		Áreas agrícolas heterogéneas	5,95	3484,02	2.566,07	6056,04	0,10	57,53	42,37	
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	0,00	46,63	135,32	181,95	0,00	25,63	74,37	
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	10,79	253,29	1.566,84	1830,91	0,59	13,83	85,58	
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,11	0,75	0,00	0,86	12,49	87,51	0,00	
	Total			186,26	5132,51	5.320,11	10638,87	1,75	48,24	50,01
Tangua	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,00	35,63	0,00	35,63	0,00	100,00	0,00	
		Zonas industriales y redes de comunicación	0,20	36,74	22,48	59,42	0,34	61,83	37,83	
	Tierras agrícolas	Pastos	10,96	1987,26	209,39	2207,61	0,50	90,02	9,48	
		Áreas agrícolas heterogéneas	167,09	5940,95	2.801,26	8909,30	1,88	66,68	31,44	
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	4,82	556,26	3.162,71	3723,78	0,13	14,94	84,93	
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	14,37	822,61	4.544,30	5381,27	0,27	15,29	84,45	
	Aguas superficiales	Aguas continentales	7,46	42,91	41,12	91,49	8,15	46,90	44,95	
	Total			204,90	9422,34	10.781,25	20408,50	1,00	46,17	52,83

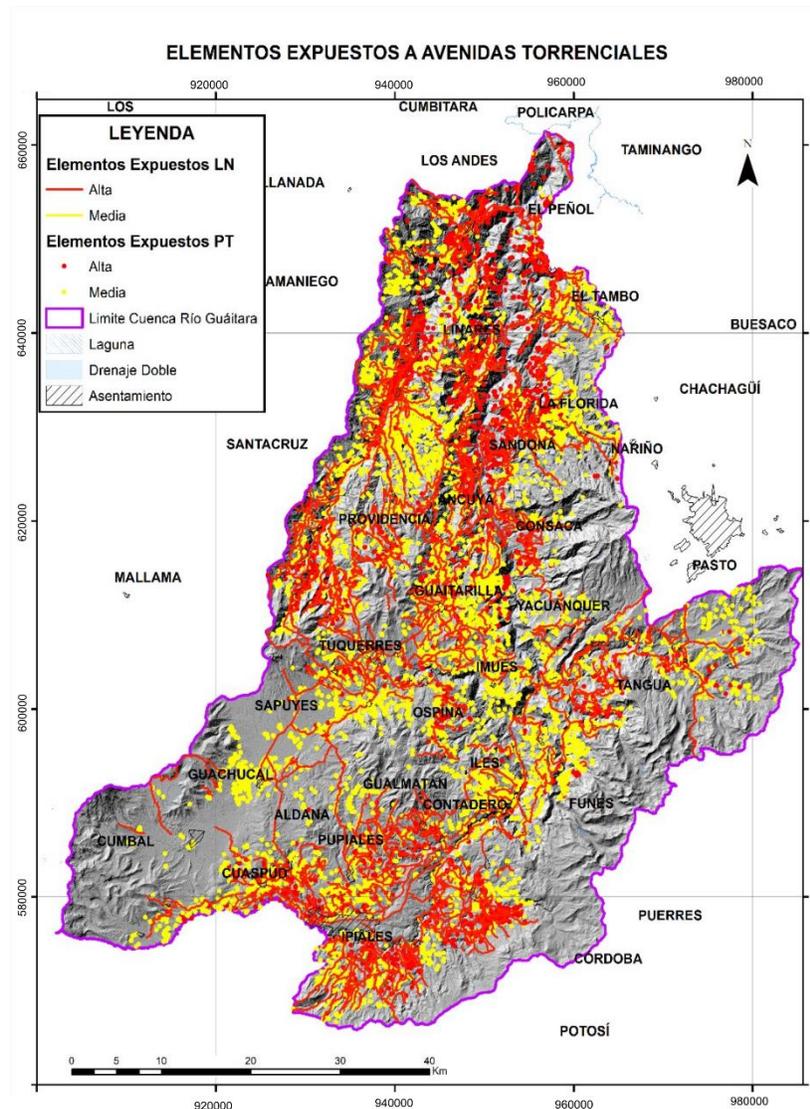
Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja	
Túquerres	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,04	160,49	57,61	218,13	0,02	73,57	26,41	
		Zonas industriales y redes de comunicación	11,00	178,00	96,14	285,14	3,86	62,43	33,72	
	Tierras agrícolas	Cultivos transitorios	0,01	91,00	9,75	100,76	0,01	90,32	9,67	
		Pastos	36,92	273,24	731,70	1041,85	3,54	26,23	70,23	
		Áreas agrícolas heterogéneas	370,72	8862,88	5.841,85	15075,44	2,46	58,79	38,75	
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	78,52	1152,82	370,40	1601,74	4,90	71,97	23,12	
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	40,12	805,93	2.299,92	3145,97	1,28	25,62	73,11	
	Aguas superficiales	Aguas continentales	0,27	16,43	0,82	17,53	1,57	93,73	4,70	
	Total			537,59	11540,78	9.408,18	21486,55	2,50	53,71	43,79
	Yacuanquer	Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	0,03	50,32	20,63	70,99	0,05	70,88	29,07
Zonas industriales y redes de comunicación			1,30	57,24	13,08	71,62	1,81	79,92	18,27	
Zonas de extracción minera			0,00	5,58	0,00	5,58	0,00	100,00	0,00	
Tierras agrícolas		Pastos	238,21	1799,72	407,80	2445,74	9,74	73,59	16,67	
		Áreas agrícolas heterogéneas	164,17	3232,34	967,78	4364,28	3,76	74,06	22,17	

Municipio	Coberturas		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Total general	% Amenaza Alta	% Amenaza Media	% Amenaza Baja
	Bosques y áreas semi naturales	Bosques	55,39	424,17	643,62	1123,18	4,93	37,77	57,30
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	222,02	1291,40	605,64	2119,05	10,48	60,94	28,58
	Aguas superficiales	Aguas continentales	25,18	7,99	0,00	33,17	75,91	24,09	0,00
	Total		706,30	6868,75	2.658,56	10233,61	6,90	67,12	25,98
Total general			50786,45	180898,26	133412,76	365097,48	13,91	49,55	36,54

Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

La Figura 90 muestra los elementos expuestos a avenidas torrenciales en la Cuenca Hidrográfica del Río Guaitara, los cuales se encuentran distribuidos principalmente en la parte norte y centro, dentro de estos elementos se encuentran vías de tipo 1 a tipo 6, en los municipios de Aldana, Ancuya, Consacá, Contadero, Córdoba, Cuaspúd, El Peñol, El Tambo, Funes, Guachucal, Guaitarilla, Gualmatán, Iles, Linares, Los Andes, Pasto, Potosí, Providencia, Puerres, Pupiales, Samaniego, Sandoná, Santacruz, Sapueyes y Tangua; el acueducto de San Isidro en el municipio de Ospina; la Alcaldía Municipal de Funes; antenas de comunicaciones en los municipios de Ipiales, Pupiales, Túquerres, Santacruz e Imués; capillas en los municipios de Consacá, Samaniego, Cumbal, Guachucal, Sandoná, Potosí, Sapueyes y Los Andes; cementerios en los municipios de Tangua, Túquerres, Potosí, Cuapúd, Cumbal, Contadero, Iles, Sapueyes, Imués, Guaitarilla, Linares y Sandoná; centros educativos como el Colegio Académico Municipal San Isidro en el municipio de Ospina, colegio Agrícola San Francisco en el municipio de Linares, Colegio Agropecuario La Sabana en el municipio de Túquerres entre otros.

Figura 100 Elementos expuestos en zonas de amenaza por Avenidas Torrenciales

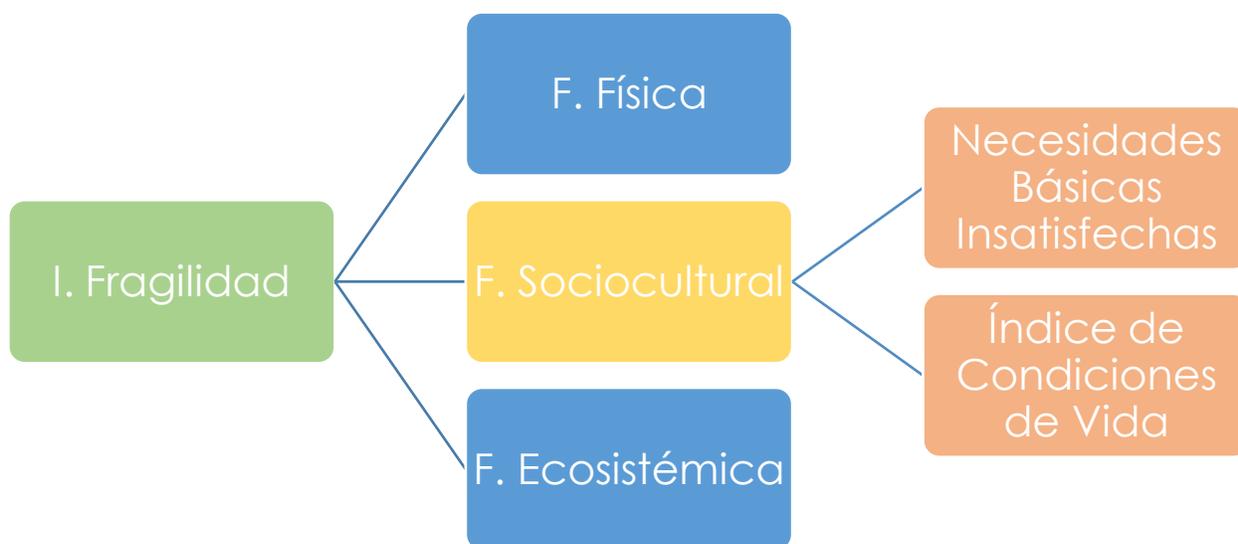


Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

1.13.2 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 101:

Figura 101 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 51.

Tabla 51. 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.

1.13.2.1 FRAGILIDAD FÍSICA (FF):

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

1.13.2.2 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:

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

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.

1.13.2.2.1 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 Tabla 52 presenta los índices de calidad de vida para cada uno de los municipios que conforman la Cuenca.

Tabla 52. Valores índices de condiciones de vida por municipio

ID	Municipio	Departamento	ICV
1	POTOSÍ	NARIÑO	60,66
2	CÓRDOBA	NARIÑO	52,36
3	IPIALES	NARIÑO	74,9
4	CUASPUD	NARIÑO	53,91
5	PUERRES	NARIÑO	61,49
6	CONTADERO	NARIÑO	55,37
7	GUALMATÁN	NARIÑO	65,61
8	ALDANA	NARIÑO	63,12
9	PUPIALES	NARIÑO	61,63
10	ILES	NARIÑO	55,83

ID	Municipio	Departamento	ICV
11	GUACHUCAL	NARIÑO	61,77
12	FUNES	NARIÑO	54,31
13	OSPINA	NARIÑO	57,53
14	CUMBAL	NARIÑO	61,26
15	SAPUYES	NARIÑO	65,07
16	IMUÉS	NARIÑO	59,67
17	YACUANQUER	NARIÑO	56,7
18	TANGUA	NARIÑO	56,18
19	GUAITARILLA	NARIÑO	57,97
20	CONSACÁ	NARIÑO	58,02
21	TÚQUERRES	NARIÑO	65,56
22	PROVIDENCIA	NARIÑO	50,07
23	ANCUYA	NARIÑO	60,64
24	PASTO	NARIÑO	83,52
25	SANDONÁ	NARIÑO	67,2
26	LA FLORIDA	NARIÑO	59,91
27	SANTA CRUZ (Guachavés)	NARIÑO	45,58
28	LINARES	NARIÑO	57,02
29	EL TAMBO	NARIÑO	59,81
30	SAMANIEGO	NARIÑO	54,74
31	EL PEÑOL	NARIÑO	53,46
32	LA LLANADA	NARIÑO	67,65
33	LOS ANDES (Sotomayor)	NARIÑO	55,88

Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

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.

1.13.2.2.2 Necesidades Basicas Insatisfechas (NBI):

Se utilizan indicadores como el NBI (necesidades básicas insatisfechas) como referencia para la fragilidad física, 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).

- 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 53. Valores índices de necesidades básicas insatisfechas por municipio

ID	Municipio	DEPARTAMEN	NBI
1	POTOSÍ	NARIÑO	42,6
2	CÓRDOBA	NARIÑO	71,94
3	IPIALES	NARIÑO	30,66
4	CUASPUD	NARIÑO	56,59
5	PUERRES	NARIÑO	46,15
6	CONTADERO	NARIÑO	65,45
7	GUALMATÁN	NARIÑO	47,44
8	ALDANA	NARIÑO	36,81
9	PUPIALES	NARIÑO	40,94
10	ILES	NARIÑO	60,19
11	GUACHUCAL	NARIÑO	39,89
12	FUNES	NARIÑO	64,73
13	OSPINA	NARIÑO	59,19

ID	Municipio	DEPARTAMEN	NBI
14	CUMBAL	NARIÑO	40,34
15	SAPUYES	NARIÑO	36,22
16	IMUÉS	NARIÑO	55,43
17	YACUANQUER	NARIÑO	63,39
18	TANGUA	NARIÑO	54,38
19	GUAITARILLA	NARIÑO	54,29
20	CONSACÁ	NARIÑO	57,64
21	TÚQUERRES	NARIÑO	41,32
22	PROVIDENCIA	NARIÑO	64,53
23	ANCUYA	NARIÑO	46,14
24	PASTO	NARIÑO	16,2
25	SANDONÁ	NARIÑO	42,32
26	LA FLORIDA	NARIÑO	46,21
27	SANTA CRUZ (Guachavés)	NARIÑO	67,98
28	LINARES	NARIÑO	53,94
29	EL TAMBO	NARIÑO	45,34
30	SAMANIEGO	NARIÑO	58,03
31	EL PEÑOL	NARIÑO	54,37
32	LA LLANADA	NARIÑO	37,12
33	LOS ANDES (Sotomayor)	NARIÑO	68,49

Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

En la Tabla 53 se observa que los municipios con un mayor índice de necesidades básicas insatisfechas son los municipios de Córdoba, Los Andes, Santa Cruz y Contadero con un índice mayor a 65. Por otro lado, los municipios con un menor índice son: Pasto, Ipiales, Sapuyes y Aldana.

1.13.2.3 FRAGILIDAD ECOSISTÉMICA (FE):

Hace referencia a la posible afectación que pudiesen sufrir especies de flora y fauna representativas de la cuenca hidrográfica del Guáitara. 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 de la cobertura vegetal 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.

Tabla 54. Categorías de fragilidad de los ecosistemas estratégicos

ID	Tipo Ecosistema	Importancia
1	Áreas SINAP	0,75
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 55. 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

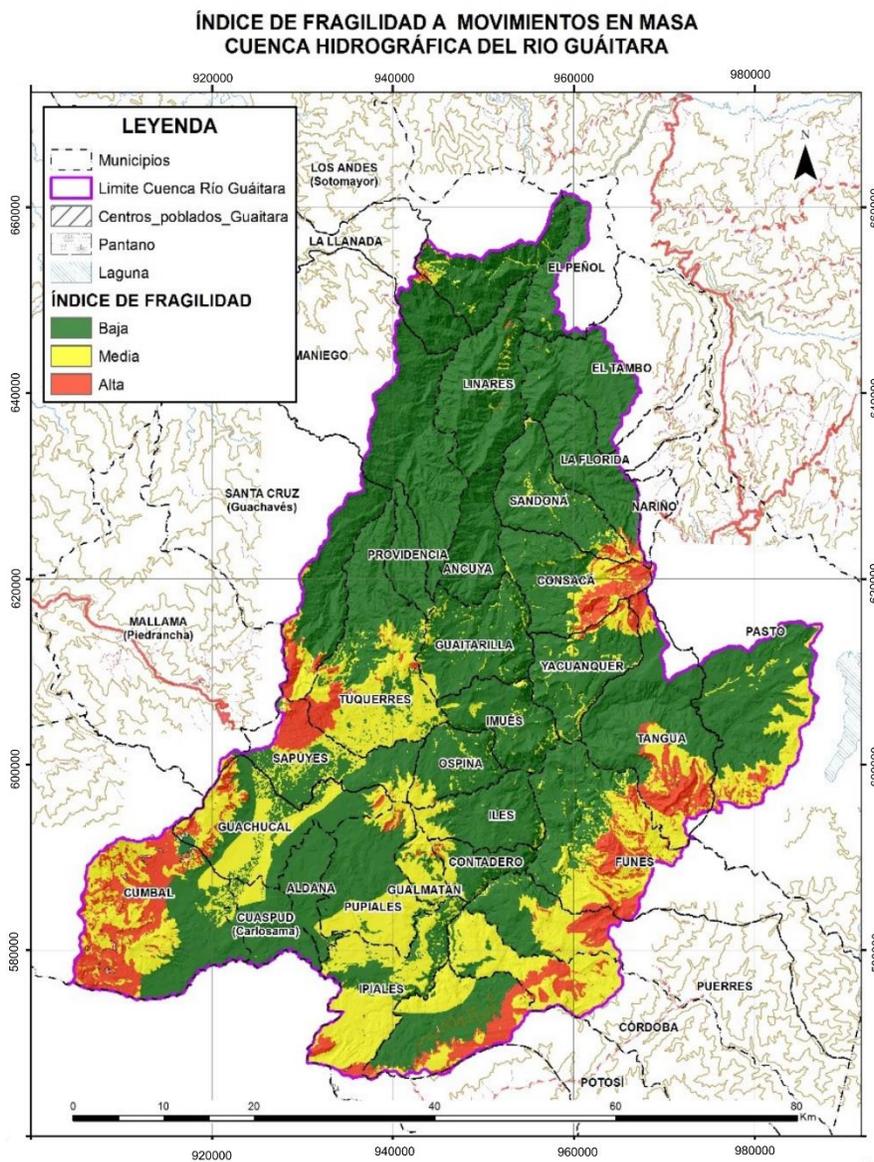
Finalmente, al realizar relaciones de importancia y pertinencia de variables por procesos analíticos jerárquicos se obtiene el índice de fragilidad (Figura 102), en donde los municipios de Cumbal,

Guachucal, Cuaspud, Pupiales, Ipiales, Potosí, Córdoba, Puerres, Gualmatán, Contadero, Funes, Iles, Imués, Ospina, Sapuyes, Túquerres y Guaitarilla en la zona sur, los municipios de Sotomayor, El Peñol, El Tambo, Linares en los alrededores del Río Guáitara, en la parte norte de la cuenca y los municipios de Consacá, Sandoná, Yacuanquer, Pasto, Santander y La Florida en el sector oriental del territorio Presentan áreas con los mayores índices de fragilidad ecosistémica, índices de fragilidad media.

1.13.2.4 INDICE DE FRAGILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA:

Los mayores índices de fragilidad a movimientos en masa para la cuenca hidrográfica del Río Guáitara están presentes hacia el área sur (principalmente en la zona suroriental y suroccidental), en la parte oriental de los municipios de Guachucal, Cumbal, Consacá, Sandoná; la región sur de los municipios de Tuquerres, Tangua, Pupiales, Ipiales y Santa Cruz, y la parte occidental de los municipios de Sapuyes, Pasto, Funes, Puerres, Córdoba, Potosí, Iles y Contadero, como se ilustra en la Figura 102.

Figura 102 Índice fragilidad a movimientos en masa

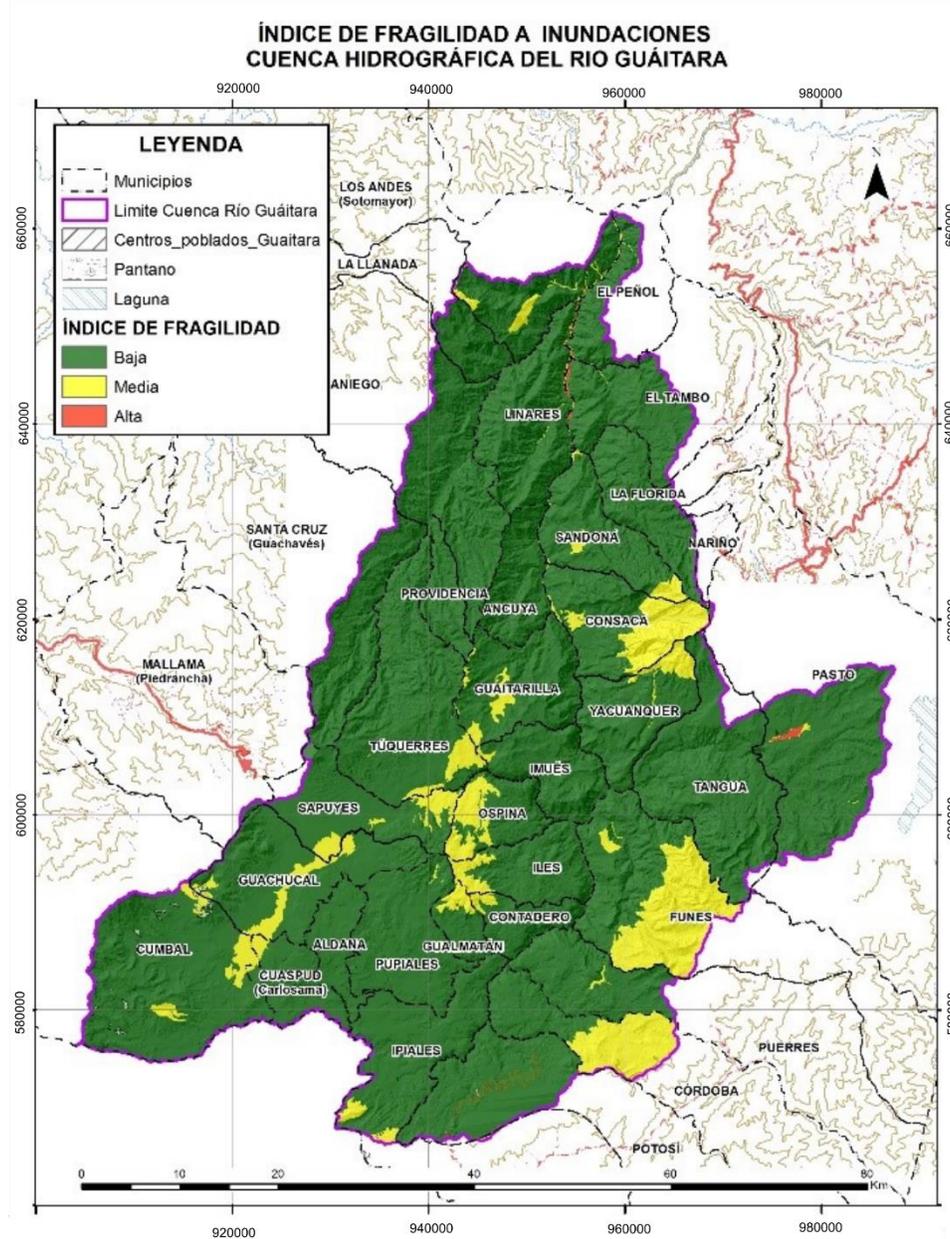


Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

1.13.2.5 ÍNDICE DE FRAGILIDAD A INUNDACIONES:

Se tiene un alto índice de fragilidad a inundaciones en el cauce del Río Guaitara (al norte de la Cuenca) y en una pequeña región al costado occidental del municipio de Pasto (Figura 103). Se presentan valores medios en la zona sur de los municipios de Túquerres, Sapuyes, Sandoná y Consacá; en la parte occidental de los municipios de Funes, Iles, Ospina y Córdoba; en la parte central de Guaitarilla y Guachucal y en la región norte de Yacuanquer.

Figura 103 Índice de fragilidad a inundaciones



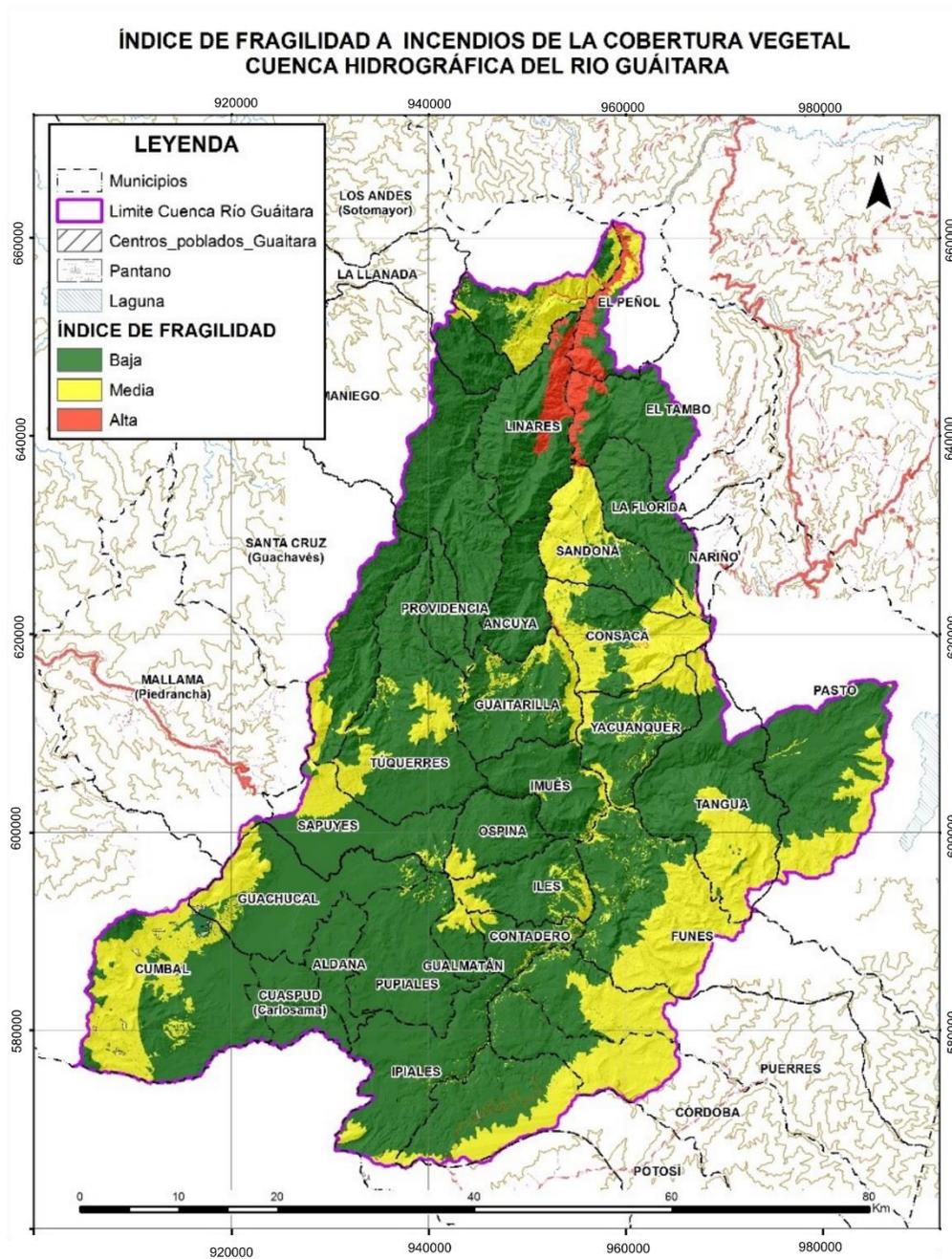
Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

1.13.2.6 ÍNDICE DE FRAGILIDAD A INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL:

El índice de fragilidad a incendios de la cobertura vegetal es alto al norte de la subzona hidrográfica (Figura 104) al oriente del municipio de Linares y el occidente de los municipios de El Tambo y El Peñol. Además, hacia el suroriente y suroccidente de la cuenca se presenta principalmente un índice de fragilidad medio restringido al oriente de los municipios de Cumbal y Guachucal; al occidente de

Consacá, Sandoná, yancuanquer, Túquerres, Funes, Puerres, Córdoba, Potosí, Iles, Ospina y Contadero, y al sur de Tangua, Pasto y Santa Cruz.

Figura 104 Índice de fragilidad a incendios de la cobertura vegetal

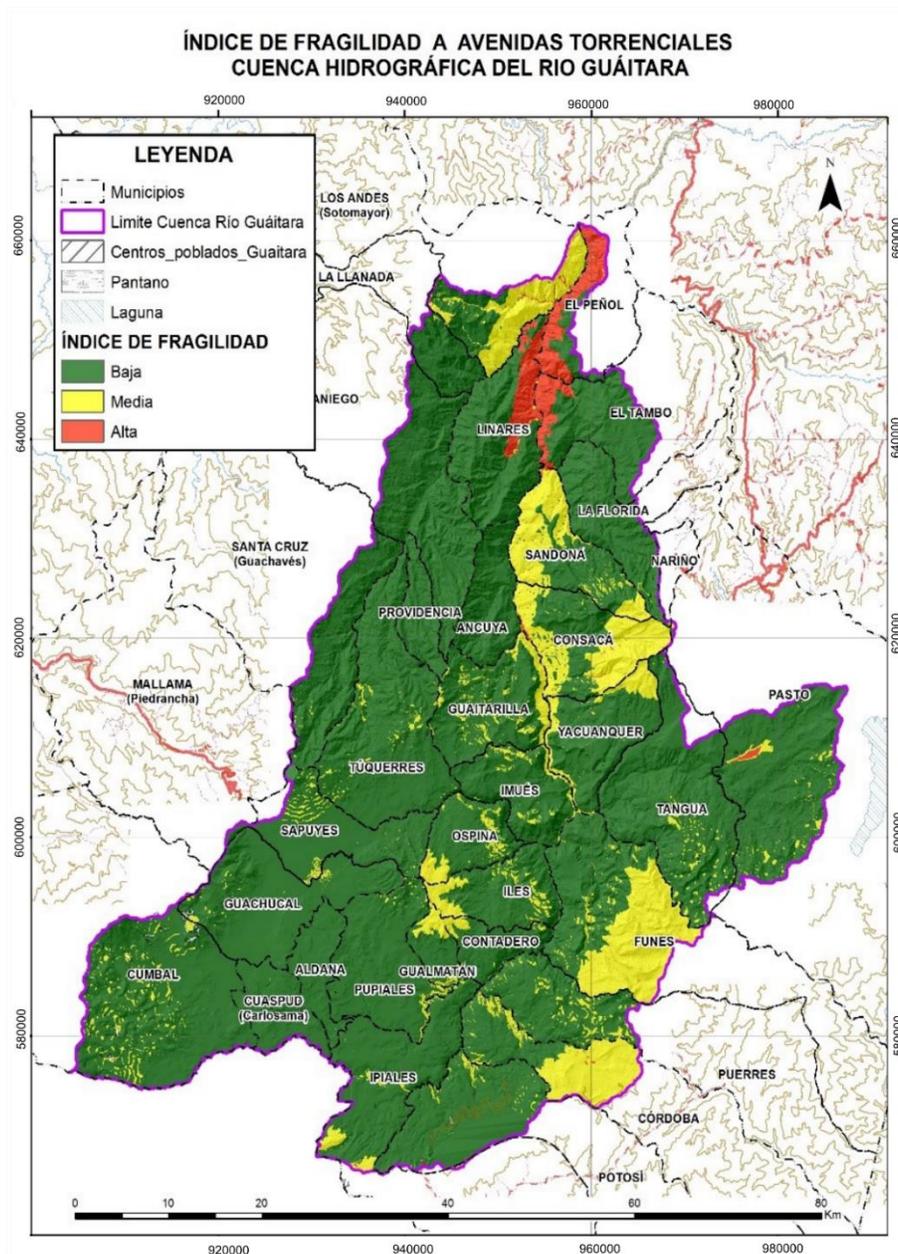


Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

1.13.2.7 ÍNDICE DE FRAGILIDAD A AVENIDAS TORRENCIALES:

El índice de fragilidad alto se concentra en una pequeña porción del municipio de Pasto y al norte de la subzona hidrográfica (entre el costado occidental de los municipios de El Peñol y El Tambo y el oriental de Linares). Los índices medios se presentan principalmente en los municipios de Córdoba, Puerres, Consacá, Yacuanquer, Imues, Sandoná y Los Andes, como se ilustra en la Figura 105.

Figura 105 Índice de fragilidad a avenidas torrenciales



Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

1.13.3 Falta de resiliencia

Figura 106 Variables para la falta de resiliencia



Fuente: Consorcio POMCA 2015 053

Hace referencia a la falta de capacidad que tiene un sistema para recuperar su estado inicial cuando ha cesado la perturbación a la que había estado sometido (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.

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 56) 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 56. Encuesta realizada para el cálculo de la 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 previsor a 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			
		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			
Capacidad de respuesta ante un desastre	Conocimiento acerca de que hacer antes, durante y después de un evento amenazante.	4. ¿Ha recibido información o tiene conocimiento de que hacer antes, durante y después de ocurrir un desastre?	Alta: No ha recibido información			
			Media: Ha recibido alguna información			
			Baja: Ha recibido información			
		5. ¿Conoce los sitios más seguros de su barrio para	Alta: No ha recibido información			
			Media: Ha recibido alguna información			

		resguardarse en caso de ocurrir un evento?	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			
Capacidad de recuperación post-evento	Organismos de socorro e institucionalidad	8. ¿Sabe a qué organismos de socorro debe acudir en caso de ser afectado por un desastre?	Alta: No identifica ningún organismo			
			Media: Identifica algunos organismos			
			Baja: Identifica todos los organismos			
	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 e 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			

Modificado: Consorcio POMCA, 2015 053

Una vez obtenido el cuestionario, la cuantificación se realizó según la Tabla 57.

Tabla 57. 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.

1.13.3.1 OPERACIONES (O):

Corresponde a la evaluación en cuanto 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 de la siguiente manera:

Tabla 58. Evaluación en cuanto a la capacidad institucional

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:

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

Centros de salud: referente a las instituciones de salud para la atención de necesidades médicas o quirúrgicas, se clasifican por niveles de acuerdo con su dotación y capacidad para atender a sus pacientes, todos los hospitales se dividen en tres niveles diferentes.

- Formato: Vector tipo polígono.
- Fuente: Planes de ordenamiento territorial.

Tabla 59. 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 60. Centros de salud y calificación de nivel para la cuenca del Río Guáitara.

Centros de Salud			
ID	NOMBRE_GEO	Calificación	Nivel
1	Centro de Salud	0,8	Nivel 1
2	Puesto de Salud de Chapal	0,8	Nivel 1
3	Puesto de Salud	0,8	Nivel 1
4	Puesto de Salud	0,8	Nivel 1
5	Sala de Partos	0,8	Nivel 1
6	Empresa Solidaria de Salud	0,8	Nivel 1
7	Centro Medico Odontológico	0,8	Nivel 1
8	Centro Ambulatorio de Salud	0,8	Nivel 1
9	Centro Hospital Cumbal	0,8	Nivel 1
10	Centro de Salud	0,8	Nivel 1
11	Hospital	0,8	Nivel 1

Centros de Salud			
ID	NOMBRE_GEO	Calificación	Nivel
12	Puesto de Salud Panan	0,8	Nivel 1
13	Centro de Salud	0,8	Nivel 1
14	Satelite No. 2 (Hospital)	0,8	Nivel 1
15	Centro Medico (IMI)	0,8	Nivel 1
16	Puesto de Salud de Colimba	0,8	Nivel 1
17	Puesto de Salud	0,8	Nivel 1
18	Puesto de Salud El Manzano	0,8	Nivel 1
19	Hospital Clarita Santos	0,8	Nivel 1
20	Puesto De Salud	0,8	Nivel 1
21	Puesto de Salud Ancuy	0,8	Nivel 1
22	Puesto de Salud	0,8	Nivel 1
23	Alpán Hospital	0,8	Nivel 1
24	El Hospital	0,8	Nivel 1
25	Puesto de Salud	0,8	Nivel 1
26	Puesto de Salud	0,8	Nivel 1
27	Puesto de Salud	0,8	Nivel 1
28	Santa de Jesús	0,8	Nivel 1
29	Puesto de Salud La Loma	0,8	Nivel 1
30	Puesto de Salud	0,8	Nivel 1
31	Puesto de Salud El Tablon	0,8	Nivel 1
32	Casa Comunal - Puesto de Salud El Tambillo de Bravos	0,8	Nivel 1
33	Centro Hospital Linares	0,8	Nivel 1
34	Puesto de Salud Tabiles	0,8	Nivel 1
35	Transval	0,8	Nivel 1

Centros de Salud			
ID	NOMBRE_GEO	Calificación	Nivel
36	Centro de Salud Santa Rosa	0,8	Nivel 1
37	Puesto de Salud Manchag	0,8	Nivel 1
38	Puesto de Salud Yascual	0,8	Nivel 1
39	Puesto de Salud	0,8	Nivel 1
40	Centro de Salud Guachaves	0,8	Nivel 1
41	Puesto de Salud Guasí	0,8	Nivel 1
42	Puesto de Salud Hugo Buendía	0,8	Nivel 1
43	Puesto de Salud	0,8	Nivel 1
44	Centro de Salud Catambuco	0,8	Nivel 1
45	Puesto de Salud	0,8	Nivel 1
46	Centro de Salud de Gualmatán	0,8	Nivel 1
47	Centro de Salud La Rosa	0,8	Nivel 1
48	Centro Hospital La Rosa	0,8	Nivel 1
49	Centro de Salud Puesto Obonuco	0,8	Nivel 1
50	Centro Medico El Pilar	0,8	Nivel 1
51	Pasto Salud	1	Inexistente
52	Centro de Salud El Progreso	0,8	Nivel 1
53	Centro de Salud Lorenzo de Aldana	0,8	Nivel 1
54	Centro de Salud Tamasagra	0,8	Nivel 1
55	Centro Salud Mis Kikes	0,8	Nivel 1
56	Centro Médico San José	0,8	Nivel 1
57	Hospital Universitario Departamental de Nariño Ese.	0	Nivel 3
58	Hospital Departamental	0	Nivel 3
59	IPS. Kinesis Fisioterapia Acuaterapia	0,8	Nivel 1

Centros de Salud			
ID	NOMBRE_GEO	Calificación	Nivel
60	Saludcoop. EPS.	0,8	Nivel 1
61	Asilo El Perpetuo Socorro	1	Inexistente
62	Centro de Salud San Vicente	0,8	Nivel 1
63	IPS. Profesalud	0,8	Nivel 1
64	EPS. Indigena Mallamas	0,4	Nivel 2
65	Clínica Fátima	0,4	Nivel 2
66	Centro Medico Valle de Atriz	0,4	Nivel 2
67	Los Ángeles IPS.	0,8	Nivel 1
68	Saludcoop EPS	0,8	Nivel 1
69	Hospital Civil Alberto Montezuma	0	Nivel 3
70	Clinica Proinsalud	0,4	Nivel 2
71	EPS. Comfamiliar Nariño	0,4	Nivel 2
72	Salud Condor EPS.	0,8	Nivel 1
73	Hospital Local Civil	0	Nivel 3
74	Centro de Salud Primero de Mayo	0,8	Nivel 1
75	Centro de Salud El Rosario	0,8	Nivel 1
76	IPS. Mega Salud Nariño	1	Inexistente
77	Consultorio Médico	0,8	Nivel 1
78	Nueva EPS	0,8	Nivel 1
79	Centro de Salud Mapachico	0,8	Nivel 1
80	Hospital Mental Nuestra Señora del Perpetuo Socorro	0	Nivel 3
81	Asmet. Salud EPS.	1	Inexistente
82	Caprecom	0,8	Nivel 1
83	Emmsanar IPS.	0,4	Nivel 2

Centros de Salud			
ID	NOMBRE_GEO	Calificación	Nivel
84	Cooameva EPS. Medicoop	0,4	Nivel 2
85	Unidad Médica Nariño	1	Inexistente
86	Hospital San Rafael	0	Nivel 3
87	Provisalud	0,8	Nivel 1
88	Hospital Infantil Los Ángeles	0	Nivel 3
89	Fundación Unisalud	0,8	Nivel 1
90	EPS. Saludcoop	0,4	Nivel 2
91	Palermo Imagen	1	Inexistente
92	Unidad Médica El Bosque	1	Inexistente
93	EPS Salud Cóndor	0,4	Nivel 2
94	Fundación Hospital San Pedro	0	Nivel 3
95	Cooameva EPS.	0,4	Nivel 2
96	Nueva EPS. IPS. Sur Salud	0,8	Nivel 1
97	Clínica Palermo	0,4	Nivel 2
98	Medicoop Coomeva. EPS.	0,8	Nivel 1
99	Saludcoop Clínica Los Andes	0	Nivel 3
100	Centro Hospital San Juan Bosco	0,8	Nivel 1
101	Punto de Salud	0,8	Nivel 1
102	Hospital Civil de Ipiales E.S.E	0	Nivel 3
103	Puesto de Salud	0,8	Nivel 1

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.

Tabla 61. Evaluación en cuanto a bomberos

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)

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.

- Formato: Vector tipo polígono.
- Fuente: Planes de ordenamiento territorial.

Tabla 62. Evaluación en cuanto a personal de búsqueda, rescate y orden publico

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)

Tabla 63. Estaciones de policía.

ID	NOMBRE_GEO
1	Puesto De Policía
2	Estación de Policia
3	Carcel Circuito Judicial INPEC
4	Carcel Circuito Judicial INPEC

ID	NOMBRE_GEO
5	Policia Militar Aduanera (Ecuador)
6	Casas Fiscales
7	DAS
8	Cuerpo de Bomberos Municipal
9	Puesto de Policía
10	Estación de Policía Linares
11	Defensa Civil Yascual
12	Inspección de Policía
13	Estación de Policía Catambuco
14	CAI. La Rosa
15	CAI. Miraflores I.
16	CAI Potrerillo
17	Tercera Brigada
18	CAI. Zona Sur Popular
19	Comando de Atención Inmediata Policía Nacional Obrero
20	Fiscalía General de La Nación Unidad Justicia y Paz
21	CAI. Simón Bolívar
22	Comando de Policía de Pasto
23	CAI. Morasurco
24	Base Militar Chapalito Tercera Brigada
25	CAI. Chambú
26	CAI. Plaza del Carnaval
27	CAI. Cementerio
28	Cárcel Judicial de Pasto
29	CAI. Corazón de Jesús
30	CAI. El Dorado
31	Policía Nacional Gaula

ID	NOMBRE_GEO
32	Estación de Policía Zona Norte

Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

Tabla 64. Estandarización y calificación de la falta de resiliencia medida en disponibilidad de una institución de rescate

Instituciones de Rescate	
ID	NOMBRE_GEO
1	Defensa Civil Colombiana
2	Cruz Roja Colombiana
3	Defensa Civil Cumbal

Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

1.13.3.2 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.

Tabla 65. Evaluación en cuanto a nivel de desarrollo

Valor	Nivel de desarrollo
1	Bajo
0,5	Medio
0	Alto

Fuente: Planes de ordenamiento territorial

Tabla 66. Estandarización y calificación de la falta de resiliencia medida en disponibilidad de nivel de desarrollo.

ID	Municipio	DEPARTAMEN	Valor	Nivel de Desarrollo
1	POTOSÍ	NARIÑO	0,5	intermedio
2	CÓRDOBA	NARIÑO	0	temprano
3	IPIALES	NARIÑO	0,5	intermedio
4	CUASPUD	NARIÑO	0	temprano
5	PUERRES	NARIÑO	0,5	intermedio
6	CONTADERO	NARIÑO	0	temprano
7	GUALMATÁN	NARIÑO	0,5	intermedio
8	ALDANA	NARIÑO	0	temprano
9	PUPIALES	NARIÑO	0	temprano
10	ILES	NARIÑO	0,5	intermedio
11	GUACHUCAL	NARIÑO	0,5	intermedio
12	FUNES	NARIÑO	0,5	intermedio
13	OSPINA	NARIÑO	0,5	intermedio
14	CUMBAL	NARIÑO	0,5	intermedio
15	SAPUYES	NARIÑO	0,5	intermedio
16	IMUÉS	NARIÑO	0,5	intermedio
17	YACUANQUER	NARIÑO	0,5	intermedio
18	TANGUA	NARIÑO	0,5	intermedio
19	GUAITARILLA	NARIÑO	0	temprano
20	CONSACÁ	NARIÑO	0,5	intermedio
21	TÚQUERRES	NARIÑO	0,5	intermedio
22	PROVIDENCIA	NARIÑO	0	temprano
23	ANCUYA	NARIÑO	0	temprano
24	PASTO	NARIÑO	1	robusto

ID	Municipio	DEPARTAMEN	Valor	Nivel de Desarrollo
25	SANDONÁ	NARIÑO	0,5	intermedio
26	LA FLORIDA	NARIÑO	0,5	intermedio
27	SANTA CRUZ (Guachavés)	NARIÑO	0	temprano
28	LINARES	NARIÑO	0	temprano
29	EL TAMBO	NARIÑO	0	temprano
30	SAMANIEGO	NARIÑO	0,5	intermedio
31	EL PEÑOL	NARIÑO	0,5	intermedio
32	LA LLANADA	NARIÑO	0,5	intermedio
33	LOS ANDES (Sotomayor)	NARIÑO	0	temprano

Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

PIB (producto interno bruto): Corresponde a la representación de la economía de una región, por medio de la medición de la actividad productiva, y por lo tanto puede determinar la posible disposición económica para la recuperación ante un evento por parte de la población afectada. Esta variable establece de acuerdo con la disposición de la información, y teniendo en cuenta que su relación con respecto a la vulnerabilidad es inversa, este se estandariza:

1-(PIB)

- Formato: Vector tipo polígono.
- Fuente: DANE.

Tabla 67. Estandarización y calificación de la falta de resiliencia medida del aporte al PIB de cada municipio al departamento

ID	Municipio	Departamento	Valor PIB
1	POTOSÍ	NARIÑO	0,7
2	CÓRDOBA	NARIÑO	0,8
3	IPIALES	NARIÑO	9,1
4	CUASPUD	NARIÑO	0,5
5	PUERRES	NARIÑO	0,5
6	CONTADERO	NARIÑO	0,4

ID	Municipio	Departamento	Valor PIB
7	GUALMATÁN	NARIÑO	0,4
8	ALDANA	NARIÑO	0,4
9	PUPIALES	NARIÑO	1,2
10	ILES	NARIÑO	0,6
11	GUACHUCAL	NARIÑO	1,1
12	FUNES	NARIÑO	0,3
13	OSPINA	NARIÑO	0,5
14	CUMBAL	NARIÑO	1,1
15	SAPUYES	NARIÑO	0,5
16	IMUÉS	NARIÑO	0,6
17	YACUANQUER	NARIÑO	0,6
18	TANGUA	NARIÑO	0,9
19	GUAITARILLA	NARIÑO	0,7
20	CONSACÁ	NARIÑO	0,5
21	TÚQUERRES	NARIÑO	3,3
22	PROVIDENCIA	NARIÑO	0,3
23	ANCUYA	NARIÑO	0,4
24	PASTO	NARIÑO	39
25	SANDONÁ	NARIÑO	1,1
26	LA FLORIDA	NARIÑO	0,6
27	SANTA CRUZ (Guachavés)	NARIÑO	0,5
28	LINARES	NARIÑO	0,6
29	EL TAMBO	NARIÑO	0,9
30	SAMANIEGO	NARIÑO	1,4
31	EL PEÑOL	NARIÑO	0,3

ID	Municipio	Departamento	Valor PIB
32	LA LLANADA	NARIÑO	0,2
33	LOS ANDES (Sotomayor)	NARIÑO	9,1

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.

Tabla 68. Estandarización y calificación de la falta de resiliencia medida del nivel educativo de cada municipio al departamento

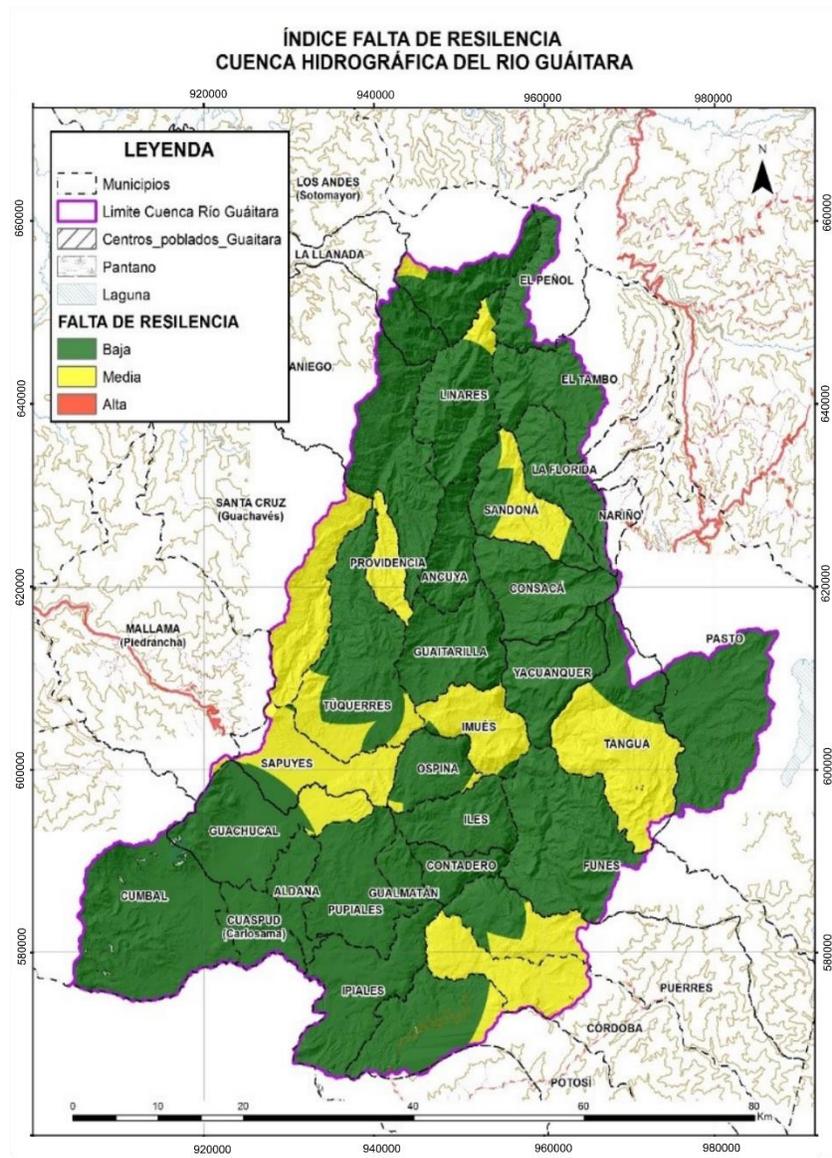
Municipio	Departamento	Valor
POTOSÍ	NARIÑO	6
CÓRDOBA	NARIÑO	9,8
IPIALES	NARIÑO	6,4
CUASPUD	NARIÑO	10,1
PUERRES	NARIÑO	8
CONTADERO	NARIÑO	5,7
GUALMATÁN	NARIÑO	4,9
ALDANA	NARIÑO	3,5
PUPIALES	NARIÑO	3,7
ILES	NARIÑO	7,3
GUACHUCAL	NARIÑO	13,3
FUNES	NARIÑO	17
OSPINA	NARIÑO	5,5
CUMBAL	NARIÑO	11,9

Municipio	Departamento	Valor
SAPUYES	NARIÑO	7,1
IMUÉS	NARIÑO	8,2
YACUANQUER	NARIÑO	12,3
TANGUA	NARIÑO	10,5
GUAITARILLA	NARIÑO	7,1
CONSACÁ	NARIÑO	18,5
TÚQUERRES	NARIÑO	8,9
PROVIDENCIA	NARIÑO	13
ANCUYA	NARIÑO	11,9
PASTO	NARIÑO	4
SANDONÁ	NARIÑO	13
LA FLORIDA	NARIÑO	10,4
SANTA CRUZ (Guachavés)	NARIÑO	14,6
LINARES	NARIÑO	12,1
EL TAMBO	NARIÑO	10,7
SAMANIEGO	NARIÑO	9,5
EL PEÑOL	NARIÑO	11,6
LA LLANADA	NARIÑO	7,4
LOS ANDES (Sotomayor)	NARIÑO	11,9

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 107). En este mapa se observa que toda la cuenca, con excepción de un área en el municipio de pasto en el borde oriental de la cuenca, otra zona en el Municipio de Samaniego al norte de la cuenca y otra área al sur de la cuenca en el Municipio de Aldana, en cercanías a Ipiales, presentan un índice de falta de resiliencia media.

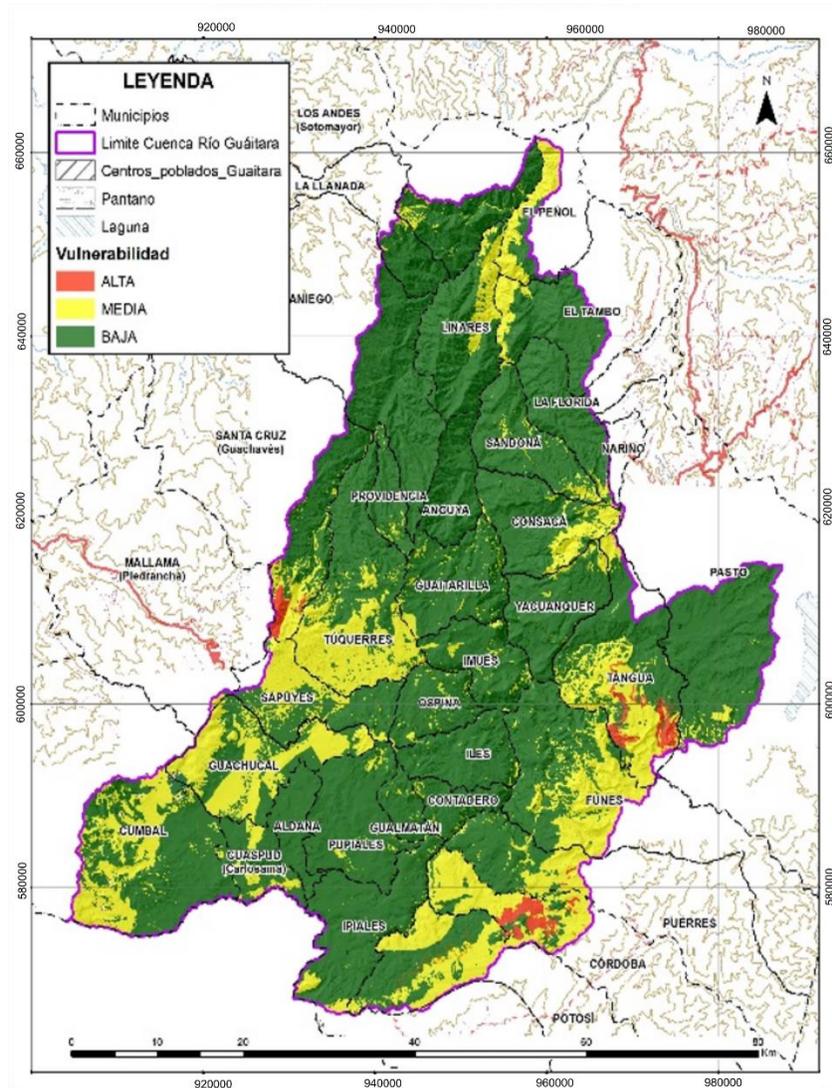
Figura 107 Falta de Resiliencia



Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

1.13.4 Índice de Vulnerabilidad ambiental a movimientos en masa

Figura 108 Mapa de índices de vulnerabilidad ambiental para las zonas críticas de movimientos en masa



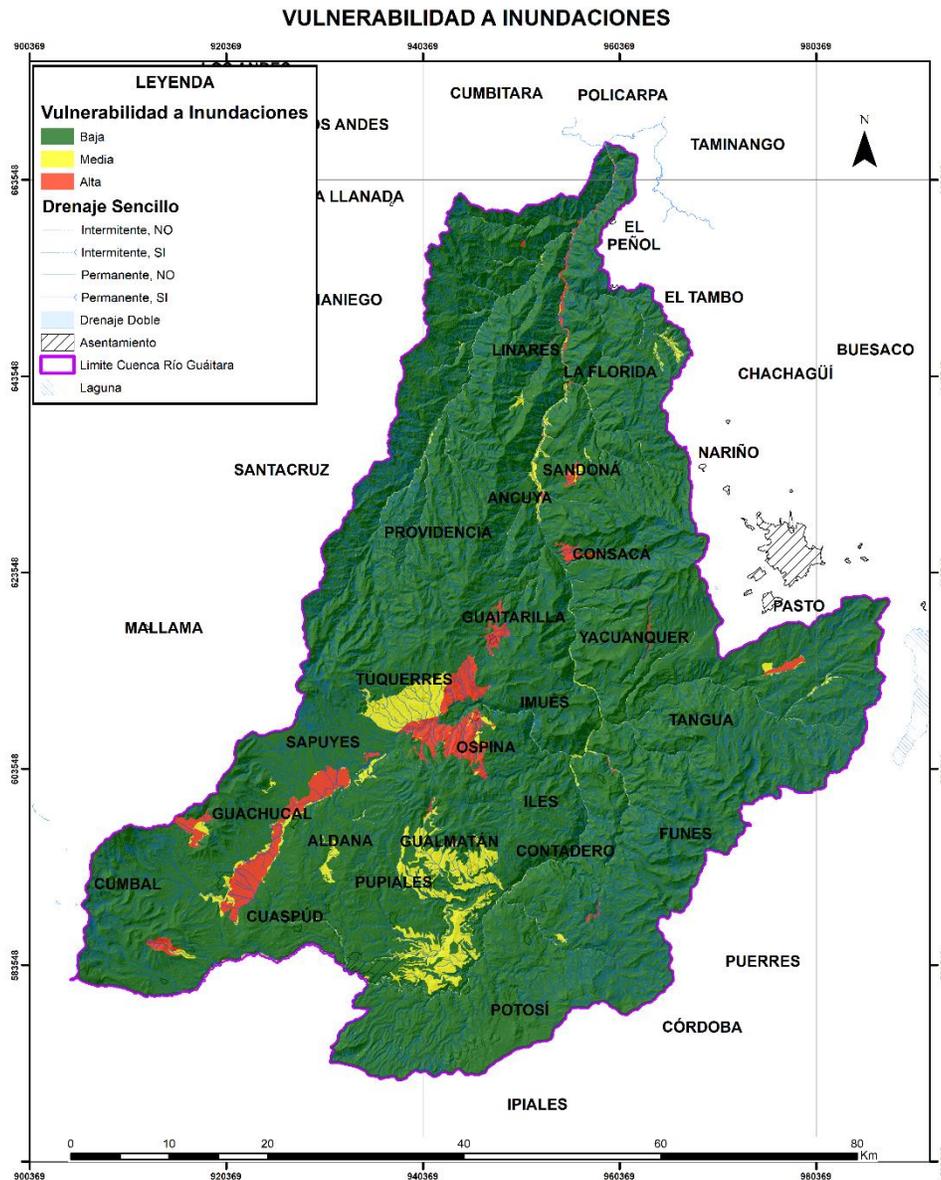
Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

El Mapa de índices de vulnerabilidad ambiental para las zonas críticas de movimientos en masa, tiene sus valores más altos en las regiones periféricas de la cuenca en los sectores correspondientes a los municipios de Córdoba, Puerres y Tuquerres; sin embargo, en el área de estudio predomina la vulnerabilidad baja.

Los municipios de Cumbal, Tuquerres Ipiales, Potosí y Consaca, se caracterizan por tener valores medios de vulnerabilidad.

1.13.5 Indicadores de Vulnerabilidad a inundaciones

Figura 109 Indicadores de Vulnerabilidad a inundaciones

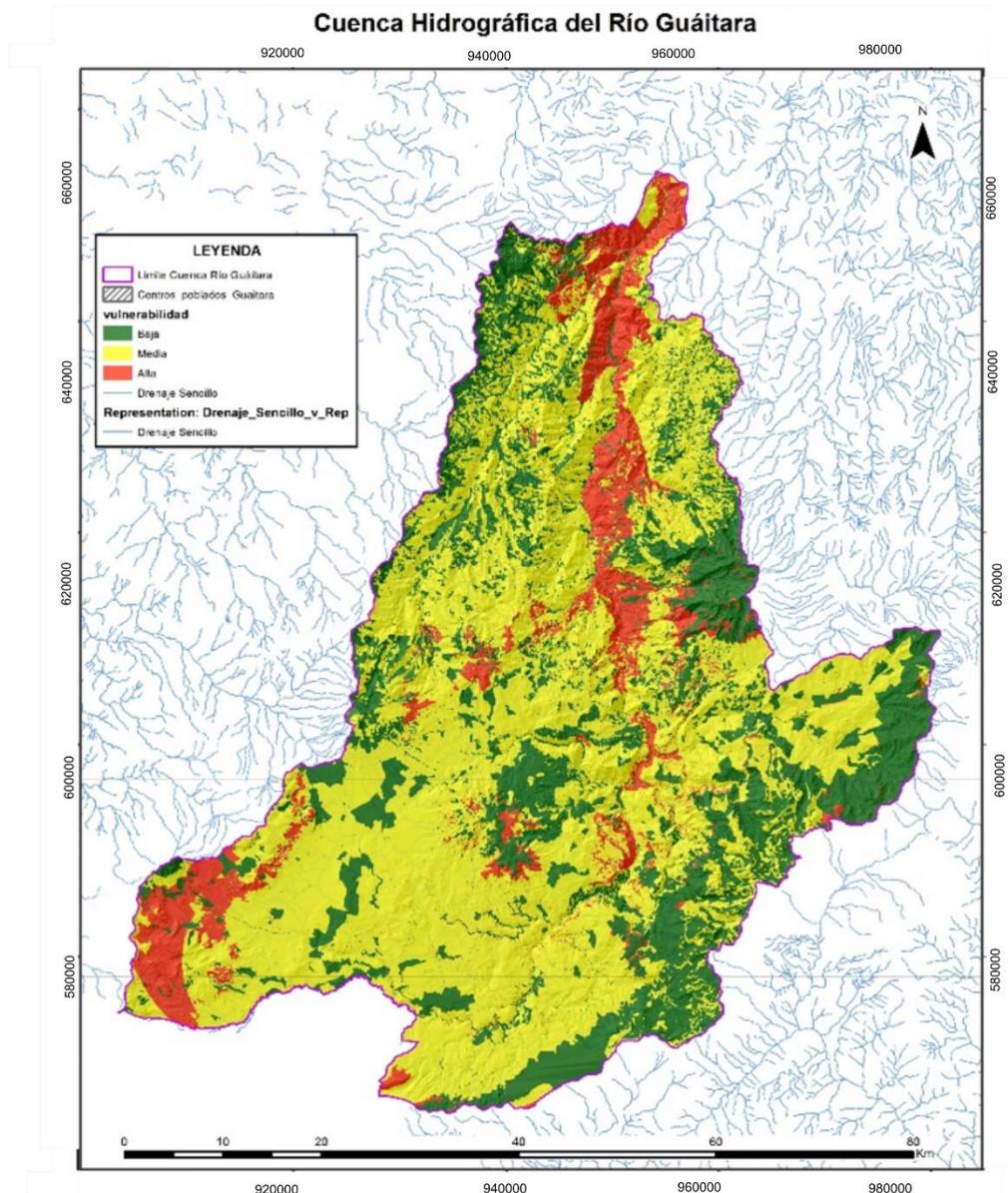


Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

La vulnerabilidad frente a las inundaciones lentas, presenta una zonificación alta en los sectores medios de la cuenca, en los límites de Tuquerres, Ospina y Guachucal. En las demás zonas estudiadas, predomina la vulnerabilidad baja frente a este fenómeno natural.

1.13.6 Indicadores de Vulnerabilidad a incendios de la cobertura vegetal

Figura 110 Indicadores de Vulnerabilidad a incendios de la cobertura vegetal

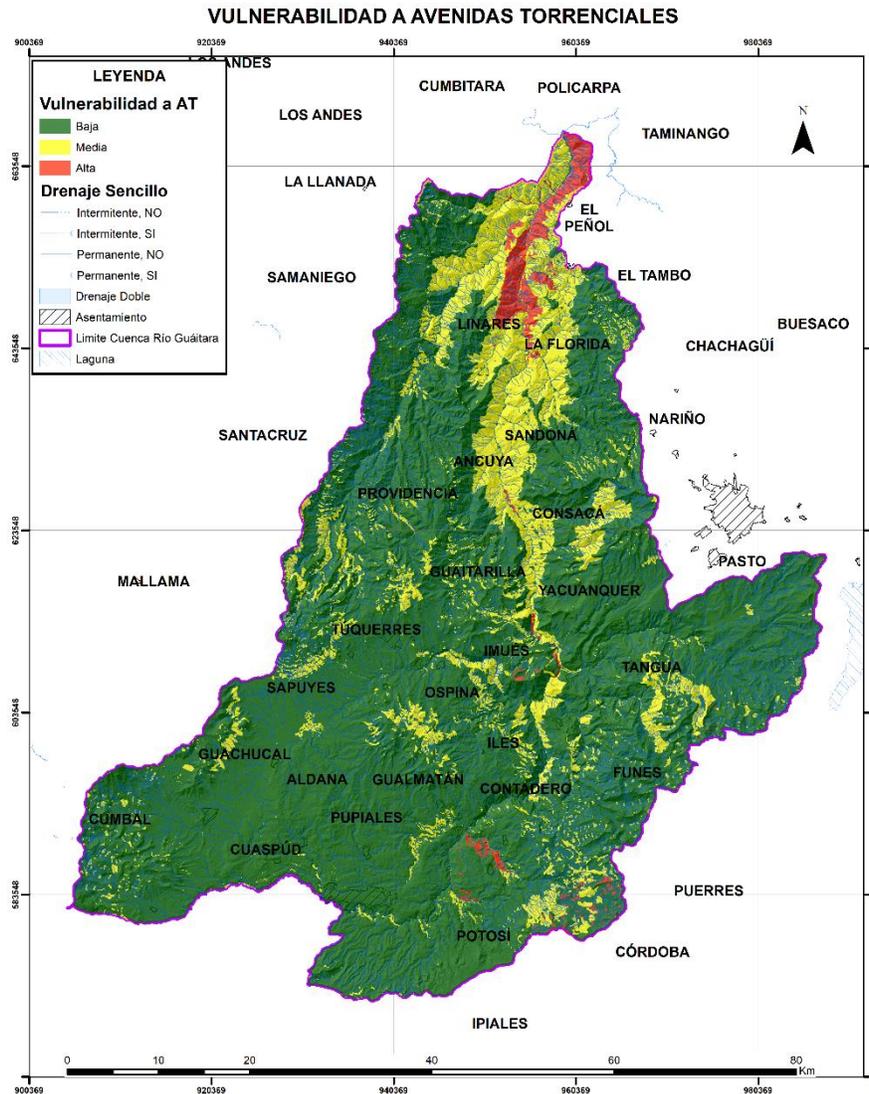


Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

La cuenca hidrográfica de Río Guáitara, se caracteriza por presentar valores medios de vulnerabilidad a incendios de la cobertura vegetal, sin embargo, existen valores altos en la zona norte del área de estudio, en las partes más bajas del cañón de Río Guáitara y en los límites municipales entre Yacuanquer e Imues.

1.13.7 Indicadores de Vulnerabilidad a avenidas torrenciales

Figura 111 Indicadores de Vulnerabilidad a avenidas torrenciales



Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

La vulnerabilidad frente a avenidas torrenciales en la cuenca, es predominantemente baja, a excepción de algunos sectores en la parte más baja del área de estudio, ubicada al norte de la misma; del mismo modo existen zonas clasificadas con amenaza alta, en algunos cauces del área sur del bloque estudiado.

1.14 ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE RIESGOS

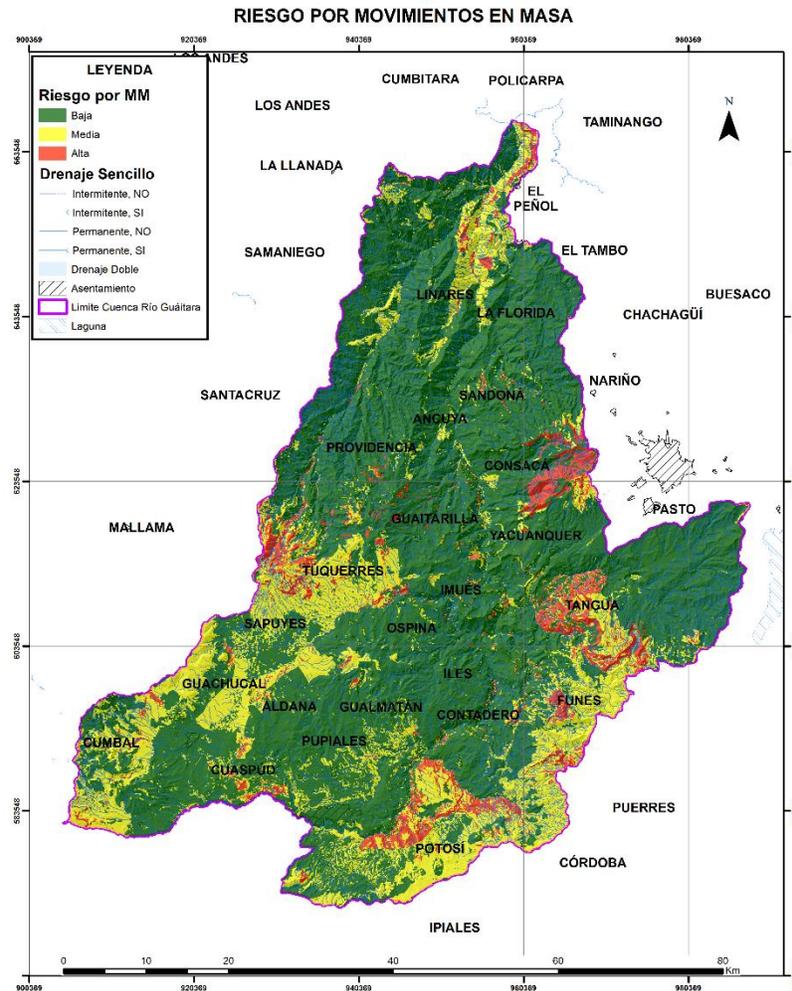
Para generar la información de riesgos para cada una de las amenazas evaluadas se realiza el cruce (ver Figura 112) entre la zonificación determinística de Amenaza por Inundación, Avenidas Torrenciales, Incendios De la cobertura vegetal y Movimientos en Masa respectivamente y la capa de Vulnerabilidad; sobre la capa generada se evalúan los atributos de Amenaza vs Vulnerabilidad.

Figura 112 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	ALTO	ALTA	MEDIA
MEDIA	ALTO	MEDIA	BAJA
BAJA	MEDIA	MEDIA	BAJA

Fuente: Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en POMCAS, 2015

Figura 113 Escenario de riesgo priorizado de riesgo por movimientos en masa



Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

En la Figura 113 se muestran las áreas catalogadas en alto, medio o bajo riesgo por movimientos en masa, de acuerdo a los indicadores de riesgo calculados para la cuenca. Se observa de manera general las zonas con riesgo alto en la zona norte con algunas áreas aisladas en las zonas periféricas del oriente y el suroccidente de la cuenca; mientras que las zonas de bajo riesgo se ubican a lo largo del cauce principal del Río Guáitara e incrementan su tamaño a medida que se acercan a la desembocadura del río. Las áreas con un riesgo medio se ubican entre las zonas occidentales, surorientales y norte en el municipio de El Peñol.

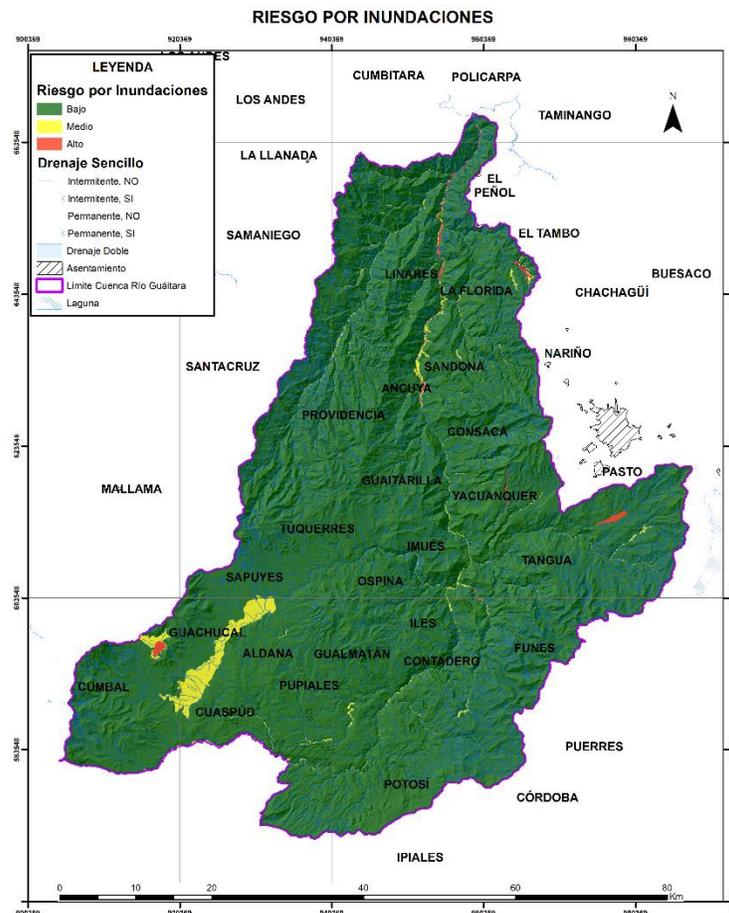
El riesgo alto por movimientos en masa se encuentra fuertemente determinado por las áreas que presentaron una alta amenaza por movimientos en masa, estando controlados por las fuertes

pendientes, la precipitación, litologías poco competentes y una alta densidad de drenaje. Estas áreas se encuentran afectando los municipios de El Peñol, Consaca, Tangua, Ipiiales, Linares y Tuquerres y en menor proporción los municipios Funes, Cuaspud, Córdoba y Pasto. Estas áreas abarcan un total de 21575,4 ha, que representan el 6% del total de la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara.

El área catalogada con un riesgo medio por movimientos en masa ocupa 84163,04 ha (23%) de la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara, distribuyéndose en la parte norte en el municipio de El Peñol, en el sector occidental, en los municipios de Sapuyes, Tuquerres, Guayucal, Tangua y Cumbal, y en los bordes sur, este y suroeste del territorio, en los municipios de Potosí, Ipiiales, Puerres, Córdoba, Funes, Pasto.

Por ultimo las áreas con un riesgo bajo por movimientos en masa se concentran en la parte norte y media del territorio, acorde con las menores alturas registradas. Estas áreas abarcan 257906,5 ha, representando el 71% del área total de la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara.

Figura 114 Escenario de riesgo priorizado por inundaciones.



Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

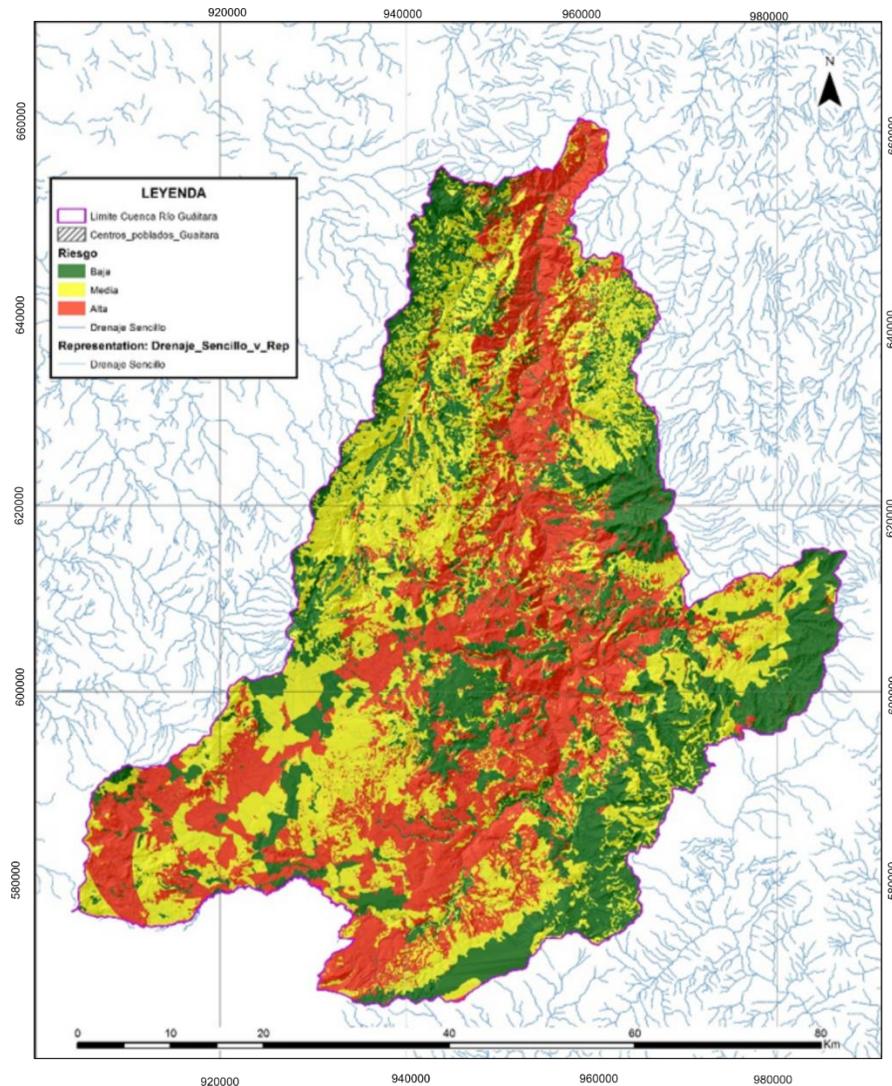
La Figura 114 muestra que predominan las áreas con un riesgo bajo a inundaciones, seguidas de las áreas con riesgo medio, principalmente ubicadas en las proximidades de algunos cuerpos de agua, y en menor medida las zonas con un alto riesgo a inundaciones. La zonificación por riesgo a inundaciones se encuentra controlada principalmente por las áreas de amenaza por inundaciones descritas anteriormente.

Las zonas de riesgo bajo por inundaciones se encuentran distribuidas en el centro, suroeste, este y en el norte en los sectores más alejados del Río Guáitara. Estas áreas se encuentran en jurisdicción de los municipios de Túquerres, Sandoná, Guaitarilla, Providencia, El Espino, Sapuyes, Córdoba, Cuaspud, Gualmatán, Pupiales, Ipiales, Puerres, Pasto, Imués, Cumbal y Guachucal, ocupando el 97.34% (353988,499811 Ha) de la Cuenca Hidrográfica del Río Guáitara.

En riesgo medio por inundaciones se encuentra un total de 8390,95667 Ha (2,30% del territorio), las cuales se distribuyen aleatoriamente en los municipios de Guachucal, Ancuya, El Tambo, El Peñol, Los Andes, Linares, Pasto, Yacuanquer, Funes, Sandoná, Cumbal y Guachucal y Sapuyes.

Las zonas con un alto riesgo a inundaciones representan el 0.34% del territorio y se localizan principalmente en los municipios de Guachucal, Ancuya, El Tambo, El Peñol, Los Andes, Linares, Pasto, Yacuanquer, Cumbal y Guachucal, también en las áreas circundantes al cauce Del Río Guáitara en la parte norte de la cuenca y aisladamente en cercanías a cuerpos de agua como embalses y lagunas.

Figura 115 Escenario de riesgo priorizado por Incendios De la cobertura vegetal



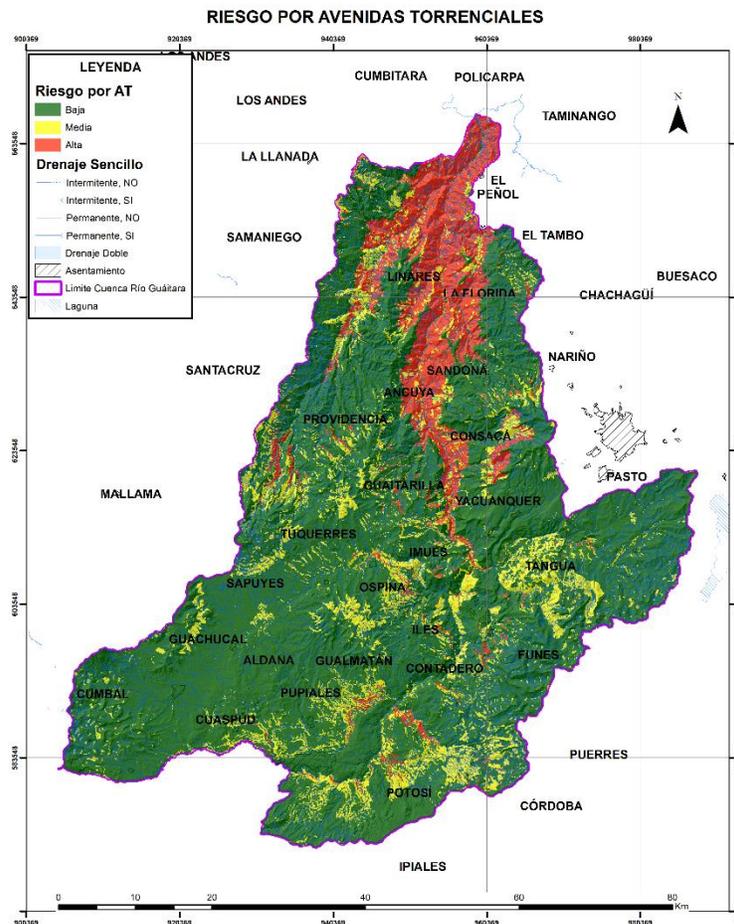
Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

Las áreas que predominan en la cuenca son las categorizadas con un riesgo bajo a incendios de la cobertura vegetal, seguidas de las zonas con un riesgo alto y por ultimo las áreas con un medio riesgo a incendios de la cobertura vegetal.

Las zonas con un alto riesgo, se encuentran ubicadas de sur a norte por la parte central de la cuenca, representando el 33.92 % del área total. Estas áreas se encuentran principalmente en cercanías al cauce principal del Río Guaitara en los municipios de Contadero, Iles, Imues, Yacuanquer, Guaitarilla, Acuný, Sandoná, Linares, El Tambo, El Peñol, Sotomayor, Providencia y Túquerres.

El riesgo medio ocupa el 36.78% del territorio, distribuyéndose en la parte suroriental de la cuenca, en el borde suroriental. Las áreas con un riesgo bajo a incendios de la cobertura vegetal ocupan 29.30 % del área total de la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara, en los municipios de Cuaspud, Ipiiales, Pupiales, Ospina, Imues, entre otros.

Figura 116 Escenario de riesgo priorizado por Avenidas Torrenciales



Fuente: Consorcio POMCA, 2015 053

Para la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara se observa en la Figura 116 la distribución del riesgo por avenidas torrenciales, donde el 11,3% (41.089 ha) se categoriza con un riesgo alto y se encuentra distribuido de sur a norte, en las proximidades del cauce del Río Guátara, en los municipios de Los Andes, El Peñol, Linaires, La Florida, Ancuya, Consacá, Sandona, Guaitarilla, y Santacruz, y presentándose zonas aisladas en menor proporción en los municipios de Pupiales, Gualmatán y Córdoba. El 74.9% se clasifica como zonas de riesgo bajo por avenidas torrenciales, ubicadas en el centro, sureste, suroeste y en la parte central de la zona baja de la cuenca. Por ultimo las áreas con un medio riesgo ocupan el 13.8% del área total de la Cuenca Hidrográfica del Río Guátara en los

municipios de Samaniego, Linares, Consacá, Ospina, Tangua, Santacruz, Iles, Ospina, Guachucal y Gualmatán.

1.15 RECOMENDACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES DE INFORMACIÓN E INVESTIGACIÓN

a) Necesidades de información (estudios detallados):

- Considerando la importancia que tiene el área de la Cuenca Hidrográfica Del Río Guáitara, 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.
- Es importante considerar la limitación que tienen los estudios adelantados, de acuerdo a la disponibilidad de insumos que permitan acercar el modelo a la realidad. En las fases de recopilación y validación de los insumos secundarios, se registraron falencias en la calidad y cantidad de información disponible, dentro de los cuales se resalta la falencia en aspectos como reporte de eventos, espacialización y localización de eventos registrados en la cuenca.
- Es necesario realizar estudios de mayor detalle en las áreas con alta probabilidad de presentar movimientos en masa, en los sectores noroccidental y suroriental de la cuenca, donde las pendientes son más pronunciadas y cuentan con la mayor cantidad de factores condicionantes que propician la susceptibilidad a presentar movimientos en masa.
- Se recomienda evaluar para toda la zona de la Cuenca Hidrográfica Del Río Guáitara un modelo de elevación del terreno con mejor resolución y evaluación topográfica, ya que esto modificará sustancialmente los resultados de zonificación de los eventos amenazantes.

b) Espacios sociales efectivos:

- Teniendo en cuenta las condiciones de la zona, es imperante desarrollar este tipo de espacios en conjunto con las alcaldías municipales y entes territoriales en 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.
- Desde las entidades municipales, existen falencias en cuanto a la coordinación entre los diferentes actores involucrados en la gestión del riesgo de desastres. Es importante aumentar la capacidad operativa de los organismos de socorro, ya que son los primeros respondientes dentro de los desastres, y de este modo se tendría un reporte de primera mano de lo ocurrido para poder generar una base de datos eficiente.
- Con el fin de reducir el riesgo en la cuenca de amenazas por incendios de la cobertura vegetal, se deben tomar medidas de divulgación, orientación y capacitación a la prevención de actividades como las quemas indiscriminadas de cultivos y demás actividades que pueden generar focos de ignición de la cobertura vegetal, así como educación sobre cómo actuar frente a un desastre. Promover la conservación de los

- ecosistemas estratégicos de la cuenca, los cuales una vez afectados nunca puede llegar a recuperarse.
- Al constituirse este sector como una cuenca con una alta densidad de drenajes, y algunos sectores con una alta susceptibilidad de presentar movimientos en masa, es necesario buscar espacios 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 desencadenar movimientos en masa.

c) Recomendaciones de mitigabilidad del riesgo

- Las medidas a tener en cuenta para la mitigabilidad de cada uno de los fenómenos amenazantes, serán formuladas en la siguiente fase del POMCA, donde se integran otros factores socioeconómicos de la cuenca, adaptados en función de cada una de las amenazas evaluadas. Del mismo modo se detallarán los criterios técnicos de los proyectos a realizarse para la disminución del riesgo

Bibliografía

Aguirre Briones, F. (2001). *Manual de Formación de Incendios Forestales para Cuadrillas*. Gobierno de Aragón, Aragón.

Alcaldía Mayor de Cartagena de Indias. (2004). *Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito Turístico y Cultural de Cartagena de Indias*. Cartagena de Indias.

Alcaldía Municipal Chachagui. (2013). *Plan Municipal Para La Gestión del Riesgo de Desastres*. Chachagui.

Alcaldía Municipal de la Florida. (2012). *Plan Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres*. La Florida - Nariño: Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres.

Alcaldía Municipal de San Lorenzo. (2013). *Plan Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres*. San Lorenzo - Nariño: Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres.

Alcaldía Municipal de San Pedro de Cartago. (2014). *Plan Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres*. San Pedro de Cartago - Nariño: Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres.

Alcaldía Municipal de Taminango. (2012). *Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres*. Taminango.

Alcaldía municipal del Peñol. (2012). *Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres*. El Peñol.

Alcaldía municipal del Tablón de Gómez. (2012). *Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres*. Tablón de Gómez: Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres.

Alexander, D. (2002). *Principles of emergency planning and management*. Oxford University Press on Demand.

Alfaro, E., & Holz, M. (2014). Review of the chronostratigraphic charts in the Sinú-San Jacinto basin based on new seismic stratigraphic interpretations. *Journal of South American Earth Sciences*, 139-169.

Ávila, G. E., Cubillos, C. E., Granados, A. E., Medina, E., Rodríguez, E. A., Rodríguez, 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 General Canonical Correlation Distribution. *Ann. Math. Statist.*, 18(1), 1-17.

Bonham Carter, G. F. (1994). *Geographic Information Systems for Geoscientists Modelling with GIS*. Ottawa: Elsevier.

Boulandier, J. J., Esparza, F., Garayoa, J., Orta, C., & Anitua, P. (2001). *Manual Extinción de Incendios*. Bomberos de Navarra Nafarroako Suhiltzaileak. Pamplona: Bomberos de Navarra.

Butler, B., Anderson, W., & Catchpo, E. (2007). *Influence of Slope on Fire Spread Rate*. US: Forest Service Proceedings.

Cardona, O. D., & Londoño, J. P. (2013). *Piloto de asistencia técnica para incorporar la gestión integral de riesgos hidrológicos en el ordenamiento territorial municipal*.

Carrara, A., & et al. (Agosto de 1991). GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard.

Carreño, M., Cardona, O., & Barbat, A. (2005). Sistema de indicadores para la evaluación de riesgo. Barcelona, España.

Centro Control Contaminación del Pacífico. (2002). *COMPILACIÓN OCEANOGRÁFICA DE LA CUENCA PACÍFICA COLOMBIANA*. Colombia: Imágenes de la Naturaleza.

Chi, K. H., Park, N. W., & Chung, C. J. (2002). Fuzzy Logic integration for landslide hazard mapping using spatial data from Boeun, Korea. *Proceedings Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications*.

Choi, J., Lee, Y. K., Lee, M. J., Kim, K., Park, Y., Kim, S., . . . Won, J. S. (2011). Landslide susceptibility mapping by using an adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS). *Proceedings Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 1989-1992*.

Chow, V. (1994). *Hidrología aplicada*. McGraw Hill.

Chung, C.-J. F., & Fabbri, A. G. (1999). Probabilistic Prediction Models for Landslide Hazard Mapping. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*.

Codazzi, I. G. (1 de Abril de 2016). *Formatos y Escalas de Mapas*. Obtenido de http://www.igac.gov.co/wps/portal/igac/raiz/iniciohome/AreasEstrategicas/!ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hHT3d_JydDRwN3f0BXA0_vUKMwf28PlwMzE_2CbEdFAPsOM0s!/WCM_PORTLET=PC_7_AIGOB1A08FQE0IKHRGNJ320A0_WCM&WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/Web+-+A

Contraloría Departamental de Nariño. (2014). *Informe sobre el estado de los recursos naturales y el medio ambiente*. San Juan de Pasto.

Corponariño. (s.f.). *Calidad ambiental*. Recuperado el 27 de Agosto de 2015, de Corponariño:

<http://www.corponarino.gov.co/expedientes/descontaminacion/lineabasejuanambu.pdf>

CORPORINOQUIA. (2012). *Plan de acción 2012 – 2015*. Yopal.

CORPORINOQUIA. (2013). *Plan de gestión ambiental regional 2013 – 2025*. Yopal.

CORPORINOQUIA. (Yopal). *Concurso de méritos abierto CMA-012-2014*. . 2014.

Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0. (1 de Abril de 2016). *Documentación de QGIS2.2*.

Obtenido de Complemento análisis de terreno:

http://docs.qgis.org/2.2/es/docs/user_manual/plugins/plugins_raster_terrain.html

Croizer, M. (1984). Field assessment of slope stability. *En: D. Brunsten and D.B. Prior (Editors)*, 103 - 142.

Cruden, D., & Varnes, D. (1996). Landslide types and processes. *Transportation Research board, National Academy of Sciences*, 36 - 75.

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

DECRETO 1420. (Julio de 24 de 1998).

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>

- Duque Caro, H. (1979). Major structural elements and evolution of northwestern Colombia. *Geological and geophysical investigations of continental margins*, 329-351.
- Escobar, G. (2007). *Amenazas naturales en los andes de Colombia*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- ESRI. (2016). *ArcGIS for Desktop*. Obtenido de <http://desktop.arcgis.com/>
- Fabbri, A. G., & Chung, C.-J. F. (1999). Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1389-1399.
- Felícimo, A. (1992). *Aplicaciones de los modelos digitales del terreno en las ciencias ambientales*. Tesis Doctoral, Departamento de Biología de Organismos y Sistemas, Universidad de Oviedo, Oviedo.
- Fellenius, W. (1927). *Erdstatische Berechnungen mit Reibung und Kohäsion (Adhäsion) und unter Annahme*. Berlin.
- Fernandez R, J. (1995). *Las heladas, su definición y control*. Bogotá.
- Flinch, J. F. (2003). Structural Evolution of the Sinu-Lower Magdalena Area (Northern Colombia). *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean*; 776-796.
- 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.
- Gemitzi, A., Falalakis, G., Eskioglou, P., & Petalas, C. (2011). Evaluating landslide susceptibility using Environmental Factors, Fuzzy Membership Functions and GIS. *Global NEST Journal*, 28-40.
- Glade, T., & Crozier, M. (2005). *A review of scale dependency in landslide*. Chichester: Wiley.

- Gray, D., & Sortir, R. (1996). *Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: a practical guide for erosion control*. John Wiley & Sons.
- 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. (2001). *Vulnerabilidad y adaptación de la zona costera colombiana al ascenso acelerado del nivel de mar*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá.
- IDEAM. (2010). *Leyenda nacional de coberturas de la tierra metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia*. Bogotá.
- 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. (2012). *ACTUALIZACION NOTA TECNICA HELADAS 2012*. Bogotá.
- IDEAM. (2013). *Lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del agua*. Bogotá D.C.
- IDEAM. (2016 йил 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 .

IGAC; IDEAM; MAVDT. (2010). *Protocolo de Degradación de Suelos y Tierras por Desertificación.*

Colombia.

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>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (s.f.). *IDEAM*. Retrieved 2016 from

<http://www.ideam.gov.co/web/agua/ia>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (1986). *Estudio general de suelos de la Intendencia de*

Arauca. Bogotá.

Jerez Heredia, E. K. (2009). *Amenaza Volcánica en Colombia: Antecedentes y Perspectivas.*

Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

Lee, K. H. (2004). *First Course On Fuzzy Theory And Applications.* SpringerVerlag.

Lee, S. (2007). Application and verification of fuzzy algebraic operators to landslide susceptibility mapping. *Environmental Geology*, 615-623.

- Leiva, O. Y., Moya Berbeo, H. G., Trejo Gonzalez, G. A., & Carvajal, J. H. (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.
- Lopez Cadenas de Llano, F. (1994). Restauracion Hidrológico - forestal de cuencas y Control de erosión. Madrid: Ministerio de Medioambiente, Tragsa y Tragsatec.
- MAVDT. (2010). *Los Incendios Forestales en Colombia*.
- 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.
- MINAMBIENTE. (2014). *Guía Técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas*. Bogotá.
- Minambiente, M. d. (s.f.). *Dirección de gestión Integral del Recurso Hídrico, Escuadron H2O*. Obtenido de <http://www.aguamiderechomideber.org/buscadordecuencas/home.html>
- MININTERIOR. (2007 йил 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). *Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación de manejo de cuencas hidrográficas POMCAS*. Bogotá.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Guía técnica para la formulación de planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas POMCAS*. Bogotá.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014 йил Noviembre). *Protocolo para La Incorporación de la Gestión del Riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas*.

Modesto E, P. G. (2014). *Reconstrucción y análisis de ocurrencias regionales de múltiples eventos de movimientos en masa generados por lluvias históricas en los pirineos*. Barcelona. España: Universidad Politecnica de Cataluña.

Montero, J., González, A., & Ángel, G. (1982). Caracterización del material rocoso. *I Congreso Suramericano de Mecánica de Rocas*.

Morcillo, C. (2012). *Lógica Difusa Una introducción práctica*. Obtenido de Escuela superior de informatica: www.esi.uclm.es/www/cglez/downloads/docencia/2011.../LogicaDifusa.pdf

Moreno Rodriguez, J. M., Rodriguez-Urbietta, I., Zabala Espiñeira, G., & Martín, M. (2015). *Impactos del Cambio Climático en Castilla - La Mancha*. Toledo, Toledo: Fundación General de Medio Ambiente.

Municipio de Arauquita. (2009). *Revisión y ajuste plan básico de ordenamiento territorial municipio de Arauquita*. Arauquita.

MUNICIPIO DE FORTUL. (2010). *Revisión y ajuste del esquema de ordenamiento territorial municipio de Fortul*. Fortul.

Narvaez Mora, N. O., & Viteri Palacios, M. A. (2009). *PLAN DEPARTAMENTAL DE GESTION DEL RIESGO NARIÑO 2008 2018*. San Juan de Pasto: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES.

Nuria, Quintas, Corominas, J., & Dulcet. (2001). Análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de SIG – Aplicación a la cuenca alta del río Llobrega. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña.

Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*. Creative Commons Atribución .

Osorno, J., & Rangel , A. (2015). Geochemical assessment and petroleum systems in the Sinú-San Jacinto. *Marine and Petroleum Geology*, 217-231 .

Página10.com. (9 de Julio de 2015). *Corponariño aprobó 14 proyectos para descontaminación hídrica*. Recuperado el 31 de Agosto de 2015, de Página10.com: <http://pagina10.com/index.php/narino-actual/item/9041-corponarino-aprobo-14-proyectos-para-descontaminacion-hidrica#.VeS0kpdhI0w>

Parra Lara, A. (2011). *Incendios de la cobertura vegetal en Colombia*. Cali: Universidad Autónoma de Occidente.

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. En 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.

Posada, B. O., & Henao, W. (2008). Diagnóstico de la erosión costera en el Caribe colombiano. *Serie Publicaciones Especiales*(13), 200.

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.

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*, 301-320.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2011). *Nariño Informe del estado de avance de los objetivos de desarrollo del milenio. Estado de Avance 2011*. Bogotá: PNUD.

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.

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

Servicio Geológico Colombiano. (2014). Mapa de Amenaza Volcánica del Volcán Cerro Negro. Escala 1:50.000. Colombia.

Servicio Geológico Colombiano SGC. (2014). Mapa de Amenaza Volcánica del Volcán Chiles. Escala 1:50.000. Colombia.

Servicio Geológico Colombiano SGC. (2015). *Actualización del Mapa de Amenaza Volcánica del Volcán Galeras*.

Servicio Geológico Colombiano SGC. (s.f.). *Generalidades Complejo Volcánico Chiles-Cerro Negro*. Recuperado el 05 de Abril de 2017, de <http://www2.sgc.gov.co/Pasto/Volcanes/Volcanes-Chiles---Cerro-Negro/Generalidades.aspx>

Servicio Geológico Colombiano SGC. (s.f.). *Servicio Geológico Colombiano SGC*. Recuperado el 05 de Abril de 2017, de <http://www2.sgc.gov.co/Pasto/Volcanes/Cumbal/Generalidades.aspx>

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 Geologico Colombiano. (2015). *Guia Metodologica Para Estudios De Amenaza Vulnerabilidad y Riesgo Por Movimientos En Masa*. Bogotá: SGC.

Skempton, A. (1964). Long term stability of clay slope. *Geotechnique*, 75 -105.

Suárez, J. (2001). *Control de Erosión en Zonas Tropicales*. Bucaramanga: División Editorial y de Publicaciones Universidad Industrial de Santander.

Tien Bui, D., Pradhan, B., Lofman, O., Revhaug, I., & Dick, O. B. (2012). Spatial prediction of landslide hazards in Hoa Binh province (Vietnam): a comparative assessment of the efficacy of evidential belief functions and fuzzy logic models. *Catena*, 28-40.

Tien Bui, D., Pradhan, B., Lofman, O., Revhaug, I., & Dick, O. B. (2012). Tien Bui, D., Pradhan, B., Landslide susceptibility mapping at Hoa Binh province (Vietnam) using an adaptive neuro-fuzzy inference system and GIS. *Computers & Geosciences*, 199-211.

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: -.

Velez Muñoz, R. (1980). *Manual de formación para la lucha contra incendios*. ICONA, Madrid.

Villamil, T. (1999). Campanian-Miocene tectonostratigraphy, depocenter evolution and basin development of Colombia and wester Venezuela. *ELSEVIER*, 239-275.

W Rouse, C. y. (1976). Threshold slope in south Wales. *Q. Jour. Eng. Geol.*, 327 -338.

Werro, N. (2008). Fuzzy Classification of Online Customers. *IEEE International Conference on e-Business Engineering*.

Wilford, D. J., Sakals, M. E., Innes, J. L., Sidle, R. C., & Bergerud, W. A. (2004). Recognition of debris flow, debris flood and flood hazard through watershed morphometrics. *Landslides*.

Wilks, S. S. (1932). Certain Generalizations In The Analysis Of Variance. *Biometrika*.

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.

Zinck, J. A. (1988). Physiography and soils.

Zinck, J. A. (2012). *Geopedología. Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales*. ITC. Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation of the University of Twente, The Netherlands.