

FORMULACIÓN
POMCA
RÍO MIRA

Plan de Ordenación y Manejo
de la Cuenca Hidrográfica



FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE
LA CUENCA DEL RÍO MIRA, DEPARTAMENTO DE NARIÑO

DESARROLLO DE LA FASE DE DIAGNOSTICO

Componente Gestión del Riesgo





Fase de Diagnostico

POMCA Mira

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	10
2	GENERALIDADES DE LA CUENCA DEL RÍO MIRA	11
3	OBJETIVOS	11
	3.1 OBJETIVO GENERAL.....	11
	3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
4	ALCANCES Y LIMITACIONES	12
5	MARCO NORMATIVO.....	14
6	DEFINICIONES BÁSICAS	16
7	CARACTERIZACIÓN HISTÓRICA DE EVENTOS.....	22
8	EVENTO: MOVIMIENTOS EN MASA (MM)	24
	8.1 DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA.....	25
	8.2 SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA	27
	8.3 AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA	29
	8.3.1 ESCENARIO CON DETONANTE LLUVIA	32
	8.3.2 ESCENARIO CON DETONANTE SISMO.....	33
	8.3.3 ESCENARIO CON DOBLE DETONANTE.....	34
9	EVENTO: INUNDACIONES.....	35
	9.1 DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA.....	36
	9.2 SUSCEPTIBILIDAD POR INUNDACIONES	37
	9.3 AMENAZA POR INUNDACIONES	39
10	EVENTO: AVENIDAS TORRENCIALES (AT)	41
	10.1 DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA.....	41
	10.2 SUSCEPTIBILIDAD POR AVENIDAS TORRENCIALES	49
	10.3 AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES	50
	10.3.1 ESCENARIO CON DETONANTE LLUVIA	51
	10.3.2 ESCENARIO CON DETONANTE SISMO.....	52
	10.3.3 ESCENARIO CON DOBLE DETONANTE.....	53



Fase de Diagnostico

POMCA Mira

11	EVENTO: INCENDIOS DE COBERTURA VEGETAL.....	54
11.1	DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA.....	54
11.2	SUSCEPTIBILIDAD POR INCENDIOS DE COBERTURA VEGETAL.....	59
11.3	AMENAZA POR INCENDIOS DE COBERTURA VEGETAL.....	60
12	VULNERABILIDAD.....	62
12.1	ANÁLISIS DE ELEMENTOS EXPUESTOS.....	65
13	RIESGOS	67
13.1	RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA.....	69
13.2	RIESGO POR INUNDACIONES	73
13.3	RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES.....	75
13.4	RIESGO POR INCENDIOS DE COBERTURA DEL VEGETAL.....	79
14	OTROS EVENTOS AMENAZANTES.....	80
14.1	TSUNAMI	80
14.2	EROSIÓN COSTERA Y SEDIMENTACIÓN	85
14.3	OTRAS AMENAZAS.....	86
15	CONSIDERACIONES FINALES	92
16	BIBLIOGRAFÍA	96



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Áreas de mayor cobertura en la cuenca del río Mira.	11
Tabla 2. Tipos de pendiente cuenca hidrográfica río Mira	23
Tabla 3. Variables utilizadas para el modelo de susceptibilidad a movimientos en masa.	25
Tabla 4. Tipos de pendiente cuenca hidrográfica río Mira	28
Tabla 5. Resultados cuantitativos de la susceptibilidad por movimientos en masa de la cuenca hidrográfica del río Mira	28
Tabla 6. Resultados cuantitativos de la amenaza por movimientos en masa con detonante lluvia de la cuenca hidrográfica del río Mira	32
Tabla 7. Resultados cuantitativos de la amenaza por movimientos en masa con detonante sismo de la cuenca hidrográfica del río Mira	34
Tabla 8. Resultados cuantitativos de la amenaza por movimientos en masa con detonante lluvia y sismo de la cuenca hidrográfica del río Mira	35
Tabla 9. Resultados cuantitativos de la susceptibilidad por inundaciones de la cuenca hidrográfica del río Mira	38
Tabla 10. Resultados cuantitativos de la amenaza por inundaciones de la cuenca del río Mira	40
Tabla 11. Clasificación del índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales (IVET)	42
Tabla 12. Relaciones para categorías de índices morfométricos	43
Tabla 13. Categorización según el índice de variabilidad	44
Tabla 14. Resultados cuantitativos del IVH de la cuenca hidrográfica del río Mira	45
Tabla 15. Índice de Variabilidad	46
Tabla 16. Resultados cuantitativos del IVET de la cuenca hidrográfica del río Mira	48
Tabla 17. Resultados cuantitativos de la susceptibilidad por avenidas torrenciales de la cuenca hidrográfica del río Mira	50
Tabla 18. Resultados cuantitativos de la amenaza por avenidas torrenciales con detonante lluvia de la cuenca hidrográfica del río Mira	52



Tabla 19. Resultados cuantitativos de la amenaza por avenidas torrenciales con detonante sismo de la cuenca hidrográfica del río Mira.....	53
Tabla 20. Resultados cuantitativos de la amenaza por avenidas torrenciales con doble detonante (lluvia y sismo) de la cuenca hidrográfica del río Mira.....	54
Tabla 21. Indicador de temperatura para incendios de cobertura vegetal	57
Tabla 22. Indicador de precipitación para incendios de cobertura vegetal	57
Tabla 23. Indicador de pendiente para incendios de cobertura vegetal	58
Tabla 24. Indicador de distancia vías	59
Tabla 25. Resultados cuantitativos de la susceptibilidad por incendios de cobertura vegetal de la cuenca hidrográfica del río Mira.....	60
Tabla 26. Resultados cuantitativos de la amenaza por incendios de cobertura vegetal de la cuenca hidrográfica del río Mira.....	61
Tabla 27. Resultados cuantitativos de la vulnerabilidad encontrada en la cuenca hidrográfica del río Mira.....	64
Tabla 28. Matriz propuesta para la categorización de niveles de riesgo	68
Tabla 29. Resultados cuantitativos del riesgo por movimientos en masa con detonante lluvia de la cuenca hidrográfica del río Mira	70
Tabla 30. Resultados cuantitativos del riesgo por movimientos en masa con detonante sismo de la cuenca hidrográfica del río Mira	71
Tabla 31. Resultados cuantitativos del riesgo por movimientos en masa con doble detonante (sismo y lluvia) de la cuenca hidrográfica del río Mira	72
Tabla 32. Resultados cuantitativos del riesgo por inundación de la cuenca hidrográfica del río Mira.....	74
Tabla 33. Resultados cuantitativos del riesgo por avenidas torrenciales con detonante lluvia de la cuenca hidrográfica del río Mira	76
Tabla 34. Resultados cuantitativos del riesgo por avenidas torrenciales con detonante sismo de la cuenca hidrográfica del río Mira	77
Tabla 35. Resultados cuantitativos del riesgo por avenidas torrenciales con doble detonante (lluvia y sismo) de la cuenca hidrográfica del río Mira	78



Fase de Diagnostico

POMCA Mira

Tabla 36. Resultados cuantitativos del riesgo por incendios de cobertura vegetal de la cuenca hidrográfica del río Mira 80



Fase de Diagnostico
POMCA Mira

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de eventos históricos ocurridos en la cuenca del río Mira.	23
Figura 2. Mapa de pendientes en porcentaje de la cuenca hidrografica del río Mira.	27
Figura 3. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa de la cuenca del río Mira.	28
Figura 4. Precipitaciones máximas para periodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50, 100, 200 y 500 años.	31
Figura 5. Mapa de amenaza por movimientos en masa con detonante lluvia del río Mira.	32
Figura 6. Mapa de amenaza por movimientos en masa con detonante sismo.....	33
Figura 7. Mapa de amenaza por movimientos en masa con detonante lluvia y sismo en el río Mira	34
Figura 8. Variables que determinan la zonificación de la susceptibilidad a la amenaza por inundaciones	36
Figura 9. Mapa de susceptibilidad por inundaciones en la cuenca del río Mira	38
Figura 10. Mapa de amenaza por inundación en la cuenca del río Mira	40
Figura 11. Índices implícitos en el cálculo del IVET.....	44
Figura 12. Mapa del IVH en la cuenca del río Mira	45
Figura 13. Mapa del IVET en la cuenca del río Mira.	48
Figura 14. Mapa de susceptibilidad por avenidas torrenciales en la cuenca del río Mira.	49
Figura 15. Mapa de amenaza por avenidas torrenciales con detonante lluvia del río Mira	51
Figura 17. Mapa de amenaza por avenidas torrenciales con doble detonante (precipitaciones y sismo) en la cuenca del río Mira.....	52
Figura 17. Mapa de amenaza por avenidas torrenciales con doble detonante (precipitaciones y sismo) en la cuenca del río Mira.....	53



Figura 18. Características de la vegetación en función a la susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal. 55

Figura 19. Factor antrópico en función de la amenaza por incendios de la cobertura vegetal. 58

Figura 20. Mapa de susceptibilidad por incendios de cobertura en la cuenca del río Mira 59

Figura 21. Mapa de amenaza por incendios de cobertura vegetal en la cuenca del río Mira 61

Figura 22. Mapa de vulnerabilidad en la cuenca del río Mira 64

Figura 23. Mapa de elementos expuestos en línea de la cuenca del río Mira..... 65

Figura 24. Mapa de elementos expuestos en punto de la cuenca del río Mira..... 66

Figura 25. Mapa de elementos expuestos en polígono de la cuenca del río Mira. 67

Figura 26. Mapa de riesgo por movimientos en masa con detonante lluvia de la cuenca del río Mira 70

Figura 27. Mapa de riesgo por movimientos en masa con detonante sismo de la cuenca del río Mira 71

Figura 28. Mapa de riesgo por movimientos en masa con doble detonante (lluvia y sismo) de la cuenca del río Mira 72

Figura 29. Mapa de riesgo por inundación de la cuenca del río Mira..... 74

Figura 30. Mapa de riesgo por avenidas torrenciales con detonante lluvia en la cuenca del río Mira 76

Figura 31. Mapa de riesgo por avenidas torrenciales con detonante sismo en la cuenca del río Mira 77

Figura 32. Mapa de riesgo por avenidas torrenciales con doble detonante (lluvia y sismo) en la cuenca del río Mira..... 78

Figura 33. Mapa de riesgo por incendios de cobertura vegetal en la cuenca del río Mira 79

Figura 34. Definición zonas de mayor vulnerabilidad física en Tumaco..... 84

Figura 35. Superposición condición de peor amenaza Vs zonas de mayor vulnerabilidad física para Tumaco. 85



Figura 36. Erosión costera en el Pacífico colombiano86



Fase de Diagnostico

POMCA Mira

1 INTRODUCCIÓN

El presente estudio técnico corresponde al componente de gestión del riesgo de la fase de diagnóstico del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Mira en los municipios de Barbacoas y Tumaco en el departamento de Nariño. Lo presentado a continuación se centra en la identificación y evaluación de las amenazas junto con los factores de vulnerabilidad con el propósito de caracterizar las condiciones de riesgo por cada una de las amenazas presentes.

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

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

Este documento contiene la fase de diagnóstico de acuerdo con el anexo técnico del POMCA, estructurado 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 y posteriormente se realiza un acercamiento de la zonificación por susceptibilidad y amenaza de acuerdo con las características de la zona evaluada) y finalmente se hace un análisis de las condiciones de vulnerabilidad relacionadas a los elementos expuestos encontrados en el área de estudio. Lo anterior se realiza con el fin de establecer la inclusión de cada una de las temáticas en el modelo general para determinar la zonificación de las condiciones y escenarios de riesgo, realizando finalmente las recomendaciones e identificación de necesidades de información e investigación.

2 GENERALIDADES DE LA CUENCA DEL RÍO MIRA

La cuenca hidrográfica del río Mira se encuentra ubicada entre los municipios de Barbacoas y Tumaco, al occidente del departamento Nariño; se sitúa espacialmente entre las coordenadas planas 1761308,5 N, 1688989,6 S, 4403626,8 E y 4330516,4 O, con respecto al origen sistema de coordenadas planas de Colombia CTM12 (X=5.000.000; Y=2.000.000). Su área es de aproximadamente de 152189,15 ha, de las cuales el 90,97% pertenece al municipio de Tumaco y 9,03% a Barbacoas. Tiene un perímetro de 450,4 km y una longitud axial de 98,83 km. La cota más alta se encuentra a una altura aproximada de 711 metros sobre el nivel de mar y la mínima en 0.

En la cuenca hidrográfica del río Mira se encuentran, principalmente, las siguientes coberturas:

Tabla 1. Áreas de mayor cobertura en la cuenca del río Mira.

Cobertura	Área (ha)
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	26824,3
Bosque denso	46335,3
Cultivos permanentes arbóreos	12969,2
Bosque fragmentados	10067,8
Ríos	7308,05
Arbustales	6078,24

Fuente: POMCA río Mira, 2021.

Esta cuenca, por sus condiciones geomorfológicas y climáticas, se reconoce como inundable, puesto que sus cuerpos de agua llegan a alcanzar en la parte alta un ancho aproximado de 100 metros y en la parte baja de 550 metros, además de la cantidad de tributarios de que alimentan el caudal de los cauces principales, sobre todo del río Mira.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Identificar las amenazas naturales y socionaturales (movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales e incendios de cobertura vegetal), los elementos vitales expuestos que pueden ser afectados y los escenarios de riesgo en la cuenca a escala 1:25:000, en coherencia con lo establecido en el protocolo para la incorporación de la Gestión del Riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA) 2014.

3.2 Objetivos específicos

- Delimitar, zonificar y analizar a escala 1:25:000 las susceptibilidades por movimientos en masa, avenidas torrenciales, inundaciones e incendios de cobertura vegetal en la cuenca hidrográfica del río Mira.

- Delimitar, zonificar y analizar a escala 1:25:000 las amenazas por movimientos en masa, avenidas torrenciales, inundaciones e incendios de cobertura vegetal en la cuenca hidrográfica del río Mira.
- Determinar la vulnerabilidad en el área de la cuenca a escala 1:25:000, de tal manera que permita tener claridad de aquellas áreas propensas a sufrir afectación por los fenómenos reportados o hallados para la cuenca.
- Delimitar, zonificar y analizar a escala 1:25:000 los riesgos por movimientos en masa, avenidas torrenciales, inundaciones e incendios de cobertura vegetal en la cuenca hidrográfica del río Mira.
- Identificar otras amenazas presentes en la cuenca hidrográfica según la información secundaria disponible.

4 ALCANCES Y LIMITACIONES

- La evaluación de amenazas, vulnerabilidad y riesgos se realiza en el marco de lo establecido en el protocolo para la incorporación de la gestión del Riesgo en los POMCA del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Hacienda y Fondo de Adaptación publicado del año 2014 en donde se elaboró modelos cualitativos y cuantitativos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo.
- La estimación de susceptibilidad a movimientos en masa surge de la evaluación de factores de propensividad como geología, geomorfología, cobertura de suelo, pendiente, insolación, rugosidad, curvatura, presencia de quebradas, vías, fallas geológicas, entre otros, dentro de un análisis multivariante discriminante para la asignación de coeficientes o pesos dentro de una función discriminante ajustada por una variable definida como sitios estables e inestables considerando la metodología planteada por Carrara (1991), Baeza (1996), Nuria (2001), Santacana (2003) y Cardona (2013).
- El cálculo de amenaza por movimientos en masa se acotó a la estimación de posibilidad de deslizamiento traslacional superficial mediante métodos determinísticos en función del comportamiento geomecánico de resistencia al corte de suelos en varios escenarios que combinan condiciones de precipitaciones y sismo.
- El cálculo de susceptibilidad y amenaza por avenidas torrenciales desarrolló el método sugerido por el protocolo para la incorporación de la gestión del Riesgo en los POMCA y considera adicionalmente la condición de amenaza probabilística por movimientos en masa como aportante de materiales sólidos de arrastre para definir la categoría de amenaza en combinación con la caracterización morfométrica.

- La zonificación de susceptibilidad y amenaza por incendios forestales se ejecuta con la metodología del IDEAM sugerida por el protocolo para la incorporación de la gestión del Riesgo en los POMCA, pero se ve limitada en la aplicación del denominado factor histórico al no contar con un insumo suficiente en términos de localización espacial y temporal de eventos, por lo cual se incorporó en escala de municipio.
- La zonificación de susceptibilidad y amenaza de inundación consideró los fenómenos de inundaciones lentas evaluadas a partir de criterios geomorfológicos y recurrencia de eventos históricos e inundaciones rápidas por recurrencia de eventos en las quebradas.
- El fenómeno que se analiza es inundación por desbordamiento de cauces y no por encharcamiento o sobrepaso de la capacidad hidráulica de la red de drenaje urbana, por ello las quebradas que han sido canalizadas en los cascos urbanos se consideran como red de drenaje pluvial urbana y deben aplicar para un análisis de mayor detalle en integralidad con la consolidación urbana. No se emplea información de mayor detalle por no tener cobertura espacial suficiente a lo largo de todo el cauce que permita realizar modelación hidrológica e hidráulica del cauce principal del río Mira.
- La estimación de vulnerabilidad y riesgo logra valorar las condiciones de fragilidad social y económica de la población, fragilidad ecosistémica, capacidad de respuesta institucional falta de resiliencia. La información disponible es cartografiada a escalas de municipios y veredas y no se cuenta con información detallada de valor de la tierra en la escala de cobertura del suelo para estimar con certidumbre costos de reposición, de manera que preferiblemente no se estimaron pérdidas económicas ni afectaciones posibles.
- La referencia de eventos históricos permitió reconocer la recurrencia y afectaciones de los diferentes eventos amenazantes, pero no logra con mucho detalle ser un insumo para análisis espaciales y su incorporación con el rigor necesario en los modelos de cálculo de amenazas, toda vez que su referencia espacial es en su mayoría a escalas municipales. No obstante, es información útil para fortalecer el contexto de cada uno de los fenómenos amenazantes identificados en la cuenca.
- La evaluación de vulnerabilidad se calculó y presentó como se solicita en el protocolo para la incorporación del riesgo en los POMCA con estimación de fragilidad física por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales como variable de diferenciación único de vulnerabilidad para los distintos fenómenos.



Fase de Diagnóstico

POMCA Mira

5 MARCO NORMATIVO

Constituye el marco normativo para la inclusión del riesgo y su gestión en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas – POMCAS, las siguientes leyes y decretos:

➤ Ley 99 de 1993:

En cuanto a las funciones de las Corporaciones Autónomas Regionales,- CARs-, en el numeral 23 del artículo 31 de la Ley 99 de 1993, se establece que debe “Realizar actividades de análisis, seguimiento, prevención y control de desastres, en coordinación con las demás autoridades competentes, y asistirles en los aspectos medioambientales en la prevención y atención de emergencias y desastres; adelantar con las administraciones municipales o distritales programas de adecuación de áreas urbanas en zonas de alto riesgo, tales como control de erosión, manejo de cauces y reforestación”.

➤ Ley 388 de 1997

El artículo 10 de esta ley define que: “En la elaboración y adopción de sus planes de ordenamiento territorial los municipios y distritos deberán tener en cuenta las siguientes determinantes, que constituyen normas de superior jerarquía, en sus propios ámbitos de competencia, de acuerdo con la Constitución y las leyes (...)”. En lo que respecta a los POMCAS se aplica el literal b del numeral 1, que indica: “1. Las relacionadas con la conservación y protección del medio ambiente, los recursos naturales la prevención de amenazas y riesgos naturales, así: (...) (...) b) Las regulaciones sobre conservación, preservación, uso y manejo del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, en las zonas marinas y costeras; las disposiciones producidas por la Corporación Autónoma Regional o la autoridad ambiental de la respectiva jurisdicción, en cuanto a la reserva, alindamiento, administración o sustracción de los distritos de manejo integrado, los distritos de conservación de suelos, las reservas forestales y parques naturales de carácter regional; las normas y directrices para el manejo de las cuencas hidrográficas expedidas por la Corporación Autónoma Regional o la autoridad ambiental de la respectiva jurisdicción; y las directrices y normas expedidas por las autoridades ambientales para la conservación de las áreas de especial importancia ecosistémica (...)”

➤ Ley 1523 de 2012:

En su artículo 2, señala que: “la gestión del riesgo es responsabilidad de todas las autoridades y de los habitantes del territorio colombiano” y que en cumplimiento de esta responsabilidad, las entidades públicas, privadas y comunitarias desarrollarán y ejecutarán los procesos de gestión del riesgo, entendiéndose: conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y manejo de desastres, en el marco de sus competencias, su



Fase de Diagnóstico

POMCA Mira

ámbito de actuación y su jurisdicción, como componentes del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. En su artículo 3, la Ley define unos principios que soportan la política de gestión del riesgo uno de ellos que tiene mucha relación con el ordenamiento ambiental del territorio es el Principio de Sostenibilidad Ambiental el cual plantea que “(...) El riesgo de desastre se deriva de procesos de uso y ocupación insostenible del territorio, por tanto, la explotación racional de los recursos naturales y la protección del medio ambiente constituyen características irreductibles de sostenibilidad ambiental y contribuyen a la gestión del riesgo de desastres (...)”.

En referencia con la institucionalidad en materia ambiental, le compete a las Corporaciones Autónomas, como integrantes del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo “además de las funciones establecidas por la Ley 99 de 1993 y la Ley 388 de 1997 o las leyes que las modifiquen apoyar a las entidades territoriales de su jurisdicción ambiental en todos los estudios necesarios para el conocimiento y la reducción del riesgo y los integrarán a los planes de ordenamiento de cuencas, de gestión ambiental, de ordenamiento territorial y de desarrollo. (Artículo 31. Ley 1523 de 2012); y en los POMCA deberán integrar... “el análisis del riesgo en el diagnóstico biofísico, económico y socioambiental y, considerar, el riesgo de desastres, como un condicionante para el uso y la ocupación del territorio, procurando de esta forma evitar la configuración de nuevas condiciones de riesgo (Artículo 39 de la Ley 1523 de 2012).

➤ Decreto 1640 de 2012:

Define dentro de las directrices para la ordenación de cuencas (artículo 19): “(...) la prevención y control de la degradación de los recursos hídricos y demás recursos naturales de la cuenca (...)” y “(...) el riesgo que pueda afectar las condiciones fisicobióticas y socioeconómicas en la cuenca, incluyendo condiciones de variabilidad climática y eventos hidrometeorológicos extremos (...)” Por otro lado, el artículo 23 de esta Ley define que: “(...) El Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica se constituye en norma de superior jerarquía y determinante ambiental para la elaboración y adopción de los planes de ordenamiento territorial, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 10 de la Ley 388 de 1997 (...)”; así mismo, establece que se convierte en “determinante ambiental 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”.

En línea con lo anterior, el párrafo 2 establece que: “para la determinación del riesgo, las zonas identificadas como de alta y muy alta amenaza y/o vulnerabilidad en el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca, serán detalladas por los entes territoriales de conformidad con sus competencias”, y en el párrafo 3 concluye que: “los estudios específicos del riesgo que se elaboren en el marco del Plan de



Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica, serán tenidos en cuenta por los entes territoriales en los procesos de formulación, revisión y/o adopción de los Planes de Ordenamiento Territorial”

Por último, y en relación con el componente de gestión del riesgo, el artículo 36 indica que: “las autoridades ambientales competentes en la fase de formulación deberán incorporar la gestión del riesgo, para lo cual, priorizarán y programarán acciones para el conocimiento y reducción del riesgo y recuperación ambiental de territorios afectados”.

6 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 siguiendo la terminología sobre gestión de riesgo de desastres y fenómenos amenazantes del comité nacional para el conocimiento del riesgo del SNGRD:

- A. Adaptación: comprende el ajuste de los sistemas naturales o humanos a los estímulos climáticos actuales o esperados o a sus efectos, con el fin de moderar perjuicios o explotar oportunidades beneficiosas. En el caso de los eventos hidrometeorológicos la adaptación al cambio climático corresponde a la gestión del riesgo de desastres en la medida en que está encaminada a la reducción de la vulnerabilidad o al mejoramiento de la resiliencia en respuesta a los cambios observados o esperados del clima y su variabilidad.
- B. Amenaza: peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales.
- C. Análisis discriminante: técnica estadística que permite identificar las características que diferencian (discriminan) a dos o más grupos y de esta manera crear una función capaz de distinguir con la mayor precisión posible a los miembros de uno u otro grupo.

- D. Avenida torrencial: creciente súbita que por las condiciones geomorfológicas de la cuenca está compuesta por un flujo de agua con alto contenido de materiales de arrastre, con un gran potencial destructivo debido a su alta velocidad. Son uno de los tipos más comunes de amenazas y son extremadamente peligrosas debido a su naturaleza rápida. Sus características son: corta duración, pequeña extensión de área de influencia, alto caudal pico y flujo rápido generalmente causantes de daños importantes a la propiedad. Ocurren a causa de tormentas de alta intensidad, en áreas de altas pendientes en las cuencas y cobertura vegetal pobre y se ven afectadas de manera importante cuando el índice de infiltración se reduce por tormentas previas. Se pueden subdividir de acuerdo con el material de arrastre de la corriente (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).
- E. Evento: Cualquier acontecimiento que probablemente pueda ocurrir en una posición y momento determinados, que lo definen como un punto en el espacio-tiempo y que representa a la fuente en términos de las respectivas características, dimensiones y localización geográfica (Portilla M., 2001).
- F. Exposición (elementos expuestos): se refiere a la presencia de personas, medios de subsistencia, servicios ambientales y recursos económicos y sociales, bienes culturales e infraestructura que por su localización pueden ser afectados por la manifestación de una amenaza.
- G. Factores condicionantes: Cualquier acontecimiento, circunstancia, suceso o situación previa que predispone o prepara las condiciones de la fuente ante la materialización de un evento. La caracterización de estos factores, así como la identificación de sus interacciones, permite la incorporación en la zonificación de la susceptibilidad y de esta manera en la evaluación de la respectiva amenaza para un área determinada (Glade & Crozier, 2005).
- H. Factores detonantes: También llamados desencadenantes y corresponden a cualquier acontecimiento, circunstancia, suceso o caso posible que genere una perturbación de la fuente y conlleve a la materialización de un evento (Portilla M. 2012).
- I. Fuente: Lugar o sitio donde se puede generar un evento.
- J. Gestión del riesgo: De acuerdo con el 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 de este, 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, entendiéndose: rehabilitación y reconstrucción. Estas acciones

tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible”.

- K. Inundaciones: Las inundaciones son fenómenos hidrológicos resultado de la dinámica de una corriente. Se producen por lluvias persistentes y generalizadas ocasionando un aumento progresivo del nivel de las aguas que sobrepasa la capacidad de retención del suelo y supera la altura de las orillas naturales o artificiales, ocasionando un desbordamiento y dispersión de las aguas sobre las llanuras de inundación y zonas aledañas a los cursos de agua normalmente no sumergidas.
- Inundaciones lentas: son las que ocurren en las zonas planas de los ríos y con valles aluviales extensos, los incrementos de nivel diario son de apenas del orden de centímetros, reportando afectaciones de grandes extensiones, pero usualmente pocas pérdidas de vidas humanas, el tiempo de afectación puede fácilmente llegar a ser del orden de meses (Modificado de (IDEAM, 2016)).
 - Inundaciones rápidas: son las que ocurren en las zonas confinadas de los cuerpos de agua tras la ocurrencia de crecientes súbitas de caudal generándose desbordamiento de los cauces, el cual ocurre y desaparece rápidamente.
- L. 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 de este. En consecuencia, un inventario incompleto o poco confiable puede dar como resultado una evaluación errónea de la susceptibilidad, la amenaza o el riesgo.
- M. Movimiento en masa: equivale a definiciones como procesos de remoción en masa, fenómenos de remoción en masa, deslizamientos o fallas de taludes y laderas. La terminología y clasificación de movimientos en masa para este documento es conforme a la Guía para la evaluación de amenazas por movimientos en masa propuesta por el Proyecto Multinacional Andino (PMA), adoptada por Colombia (PMA: GCA, 2007), en la que movimientos en masa incluye todos aquellos

movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad (Ávila et al, 2015).

- **Caídas:** la caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable (PMA, 2007). Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). Una característica importante de las caídas es que el movimiento no es masivo ni del tipo flujo (PMA, 2007).
- **Vuelcos:** se denomina así a un tipo de movimiento en masa en el cual hay una rotación generalmente hacia adelante de uno o varios bloques de roca o suelo, alrededor de un punto o pivote de giro en su parte inferior. Este movimiento ocurre por acción de la gravedad, por empujes de las unidades adyacentes o por la presión de fluidos en grietas (Varnes, 1978).
- **Deslizamientos:** son un movimiento ladero abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una o más superficies de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante (modificado de PMA, 2007). Los deslizamientos pueden ser rotacionales, traslacionales (planares o en cuña) o compuestos según la forma del movimiento y la cantidad de superficies de falla.
- **Propagaciones laterales:** la propagación de un suelo cohesivo o masa de roca combinado con un hundimiento general de la masa de material fracturado sobre un material subyacente cohesivo más blando (Cruden & Varnes, 1996). La propagación o expansión lateral es un tipo de movimiento en masa cuyo desplazamiento ocurre predominantemente por deformación interna (expansión) del material (PMA, 2007).
- **Flujos:** es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco (PMA, 2007). En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978). Los flujos son movimientos espacialmente continuos en los que las superficies de cizalla se encuentran muy próximas y generalmente no se conservan, la distribución de velocidades en la masa desplazada se parece a la que se presenta en un fluido viscoso. Por este motivo, la masa movida no conserva la forma en su movimiento descendente, adoptando a menudo, formas lobuladas cuando interesan a materiales cohesivos y desparramándose por la ladera o formando conos de deyección cuando

afectan a materiales granulares (Corominas, 2004). Según el tipo de material involucrado, contenido de humedad, velocidad de movimiento y otros factores, se pueden clasificar en flujos de roca, flujos de suelo, flujos secos, flujos de detritos, flujos de lodos, flujos de tierra, crecientes de detritos, avalanchas de detritos, avalanchas de rocas, reptamiento, soliflucción, entre otros.

- N. Susceptibilidad: es el grado de predisposición que tiene una fuente a que en él se genere un evento (Escobar, 2007). La susceptibilidad en los estudios de análisis y evaluación de amenazas constituye la base inicial y el primer paso para el análisis y zonificación de amenazas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).
- O. Incendios forestales: fenómeno que se presenta cuando el fuego consume de forma incontrolada la cobertura vegetal (siendo esta el material combustible dentro del proceso de propagación y duración del fuego), cuya quema no estaba prevista (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales).
- P. Intervención correctiva: proceso cuyo objetivo es reducir el nivel de riesgo existente en la sociedad a través de acciones de mitigación, en el sentido de disminuir o reducir las condiciones de amenaza, cuando sea posible, y la vulnerabilidad de los elementos expuestos.
- Q. Intervención prospectiva: proceso cuyo objetivo es garantizar que no surjan nuevas situaciones de riesgo a través de acciones de prevención, impidiendo que los elementos expuestos sean vulnerables o que lleguen a estar expuestos ante posibles eventos peligrosos. Su objetivo último es evitar nuevos riesgos y la necesidad de intervenciones correctivas en el futuro. La intervención prospectiva se realiza primordialmente a través de la planificación ambiental sostenible, el ordenamiento territorial, la planificación sectorial, la regulación y las especificaciones técnicas, los estudios de prefactibilidad y diseño adecuados, el control y seguimiento y en general todos aquellos mecanismos que contribuyan de manera anticipada a la localización, construcción y funcionamiento seguro de la infraestructura, los bienes y la población.
- R. Mitigación del riesgo: medidas de intervención prescriptiva o correctiva dirigidas a reducir o disminuir los daños y pérdidas que se puedan presentar a través de reglamentos de seguridad y proyectos de inversión pública o privada cuyo objetivo es reducir las condiciones de amenaza, cuando sea posible, y la vulnerabilidad existente (Ley 1523 de 2012).
- S. Ordenamiento territorial: el ordenamiento del territorio municipal y distrital comprende un conjunto de acciones político-administrativas y de planificación física

concertadas, emprendidas por los municipios o distritos y áreas metropolitanas, en ejercicio de la función pública que les compete, dentro de los límites fijados por la Constitución y las leyes, en orden a disponer de instrumentos eficientes para orientar el desarrollo del territorio bajo su jurisdicción y regular la utilización, transformación y ocupación del espacio, de acuerdo con las estrategias de desarrollo socioeconómico y en armonía con el medio ambiente y las tradiciones históricas y culturales (Ley 388 de 1997).

- T. Paleoinundaciones: método que identifica zonas de amenaza por inundaciones mediante la disposición y tipología de las formas del terreno y los depósitos generados durante o tras un evento de inundación las cuales no disponen de información histórica registrada o datada. Con ello se pueden delimitar áreas geomorfológicamente activas dentro del cauce fluvial y sus márgenes, por tanto, susceptibles a ser inundadas en el marco de la dinámica natural de la corriente fluvial, frecuencia cualitativa de inundación, e incluso inferir ordenes de magnitud de parámetros como la profundidad, velocidad de la corriente o carga solidada transportada.
- U. Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica (POMCA): instrumento a través el cual se realiza la planeación del uso coordinado del suelo, de las aguas, de la flora y la fauna y el manejo de la cuenca entendido como la ejecución de obras y tratamientos, en la perspectiva de mantener el equilibrio entre el aprovechamiento social y económico de tales recursos y la conservación de la estructura físico biótica de la cuenca y particularmente del recurso hídrico (Decreto 1640 de 2012, Art. 18).
- V. Plan de gestión del riesgo de desastres: es el instrumento que define los objetivos, programas, acciones, responsables y presupuestos, mediante las cuales se ejecutan los procesos de conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y de manejo de desastres, en el marco de la planificación del desarrollo.
- W. Proceso analítico jerárquico: es el proceso que permite establecer la importancia que tiene cada uno de los factores tenidos en cuenta para la toma de una decisión, cuantificando esta jerarquía de una manera decreciente según la relevancia descrita. Por lo tanto, la definición de los factores es el punto de partida que permite una visión global de las relaciones entre los mismos con la situación a evaluar, indiferente a el tipo de caracterización que represente cada una, lo que permite integrar diferentes temáticas.
- X. Reducción del riesgo: es el proceso de la gestión del riesgo, está compuesto por la intervención dirigida a modificar o disminuir las condiciones de riesgo existentes, entiéndase: mitigación del riesgo y a evitar nuevos riesgos en el territorio, entiéndase: prevención del riesgo. Son medidas de mitigación y prevención que se

adoptan con antelación para reducir la amenaza, la exposición y disminuir la vulnerabilidad de las personas, los medios de subsistencia, los bienes, la infraestructura y los recursos ambientales, para evitar o minimizar los daños y pérdidas en caso de producirse los eventos físicos peligrosos. La reducción del riesgo la componen la intervención correctiva del riesgo existente, la intervención prospectiva de nuevo riesgo y la protección financiera.

- Y. Resiliencia: la capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, lo que incluye la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas.
- Z. Riesgo de desastres: corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socionatural, tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente, el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad.
- AA. Vulnerabilidad: susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos.

7 CARACTERIZACIÓN HISTÓRICA DE EVENTOS

La recopilación de información se abordó de dos maneras: Información de campo e información secundaria (eventos históricos e información especializada emitida por diversas fuentes nacionales, territoriales y locales).

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 Mira es afectada principalmente por inundaciones y movimientos en masa. 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.

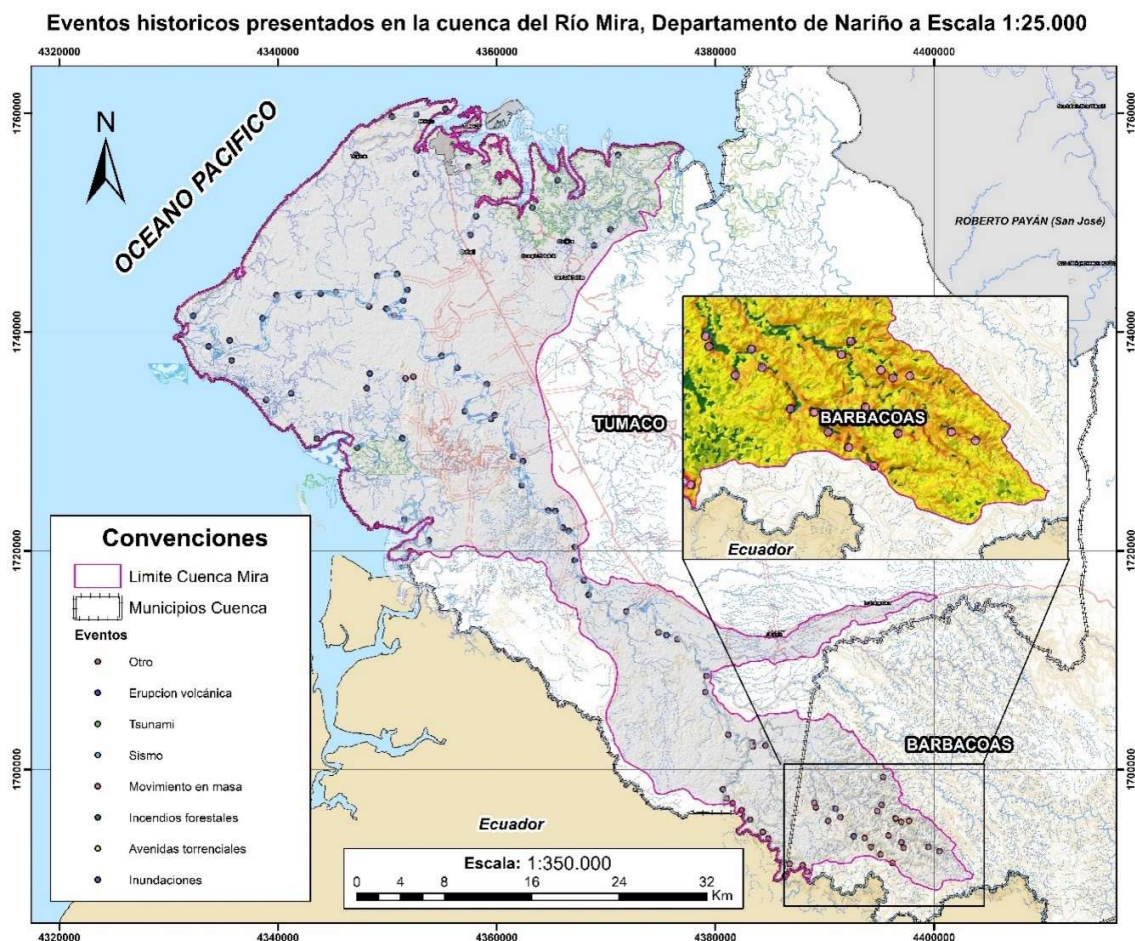


Figura 1. Mapa de eventos históricos ocurridos en la cuenca del río Mira.
 Fuente: Este estudio.

Tabla 2. Tipos de pendiente cuenca hidrográfica río Mira

Tipo Evento	Cantidad	Predominancia
Movimientos en masa	45	Municipio de Barbacoas
Inundaciones	63	Municipio de Tumaco

Fuente: Corponariño, DAGRD, DesInventar, SGC y este estudio.

Es importante mencionar que, debido a dificultades sociales e institucionales, no se encontró bases significativas en donde se consolide un registro de eventos históricos en la cuenca del río Mira. Sin embargo, se logró recopilar algunos eventos de bases secundarias

y como complemento, se desarrolló un proceso mediante herramientas cartográficas que permitieron identificar zonas donde se presentaron movimientos en masa e inundaciones.

8 EVENTO: MOVIMIENTOS EN MASA (MM)

El análisis de movimientos en masa para la cuenca hidrográfica del río Mira se realizó con base en información secundaria 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. 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. 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 consolidó el catálogo histórico de la cuenca obtenido mediante información 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).

El alcance planteado incluye la identificación, evaluación y zonificación de la susceptibilidad a 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 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50, 100, 200 y 500 años y sismo.

En el caso de la susceptibilidad, se implementó un método heurístico y de carácter geomorfológico, dada la gran cantidad de variables que son involucradas en el modelamiento. Por otro lado, en el modelamiento de la amenaza por movimientos en masa se realiza mediante el cálculo determinístico bajo aspectos geomorfológicos y geológicos que conforman la cuenca del río Mira.

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.

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.

8.1 Descripción metodológica

El primer paso consistió en identificar variables condicionantes como pendiente de ladera, pendiente senoidal de la ladera, rugosidad, curvatura, curvatura longitudinal, curvatura transversal, orientación de la ladera, insolación, distancia a drenajes, distancia a vías, distancia a fallas y lineamientos, distancia a canteras, acumulación de cuenca, longitud de cuenca acumulada, pendiente media de cuenca vertiente, geomorfología, UGS (Unidades Geológicas Superficiales) y cobertura de la tierra.

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

Tabla 3. Variables utilizadas para el modelo de susceptibilidad a movimientos en masa.

Variables Primarias

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

La susceptibilidad por movimientos en masa se obtuvo mediante herramientas SIG, que permitió ajustarse al método seleccionado (heurístico y de análisis geomorfológico). Para ello, se le dio valores según la experiencia técnica a los diferentes ráster resultantes de los estudios técnicos; esta información se encuentra guardada en cada píxel (en este caso, de 12,5 metros por 12,5 metros) que contiene cada ráster según su contenido. Una vez compilados y validados los ráster, se hace una superposición de valores con el fin de calcular y unificar, en este caso, la susceptibilidad por movimientos en masa.

La amenaza por movimientos en masa se obtiene a través de un método similar al usado para obtener la susceptibilidad. Sin embargo, para conocer la dinámica es importante incorporar el detonante. En este caso, se incorporó los detonantes lluvia con un periodo de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50, 100, 200 y 500 años, sismo y la combinación de los dos.

8.2 Susceptibilidad por movimientos en masa

Pendiente: como uno de los desencadenantes más relevantes a la hora de analizar los movimientos en masa, la pendiente es tal vez el elemento más importante para tener en cuenta, es así como su análisis, categorización, distribución y calificación es fundamental a la hora de elaborar un estudio integral de susceptibilidad.

Para establecer el grado de susceptibilidad a movimientos en masa, se procedió a realizar la clasificación por rangos de acuerdo con la guía presentada por el MAVD (2014), y de acuerdo con ella se estableció los rangos de calificación para cada unidad de pendiente, de lo cual se obtuvieron los siguientes resultados.

Es importante mencionar que las variables de estudio que se usaron para realizar el análisis multicriterio en este estudio no se adjuntan en este documento, dado que en el marco del diagnóstico del POMCA cada componente tiene un capítulo específico donde se encuentran los objetivos, metodologías, resultados y discusiones por cada una las variables usadas.

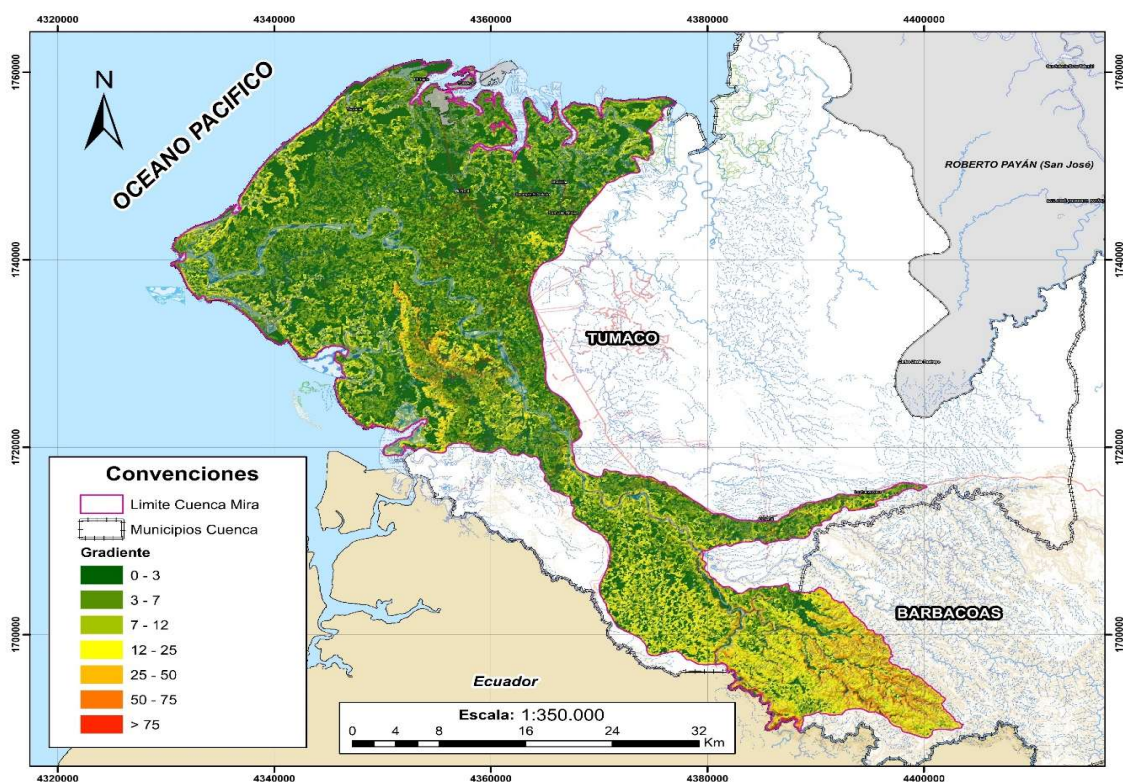


Figura 2. Mapa de pendientes en porcentaje de la cuenca hidrográfica del río Mira.
 Fuente: Este estudio.

Tabla 4. Tipos de pendiente cuenca hidrografica río Mira

Tipos de pendiente de la cuenca		Ha	%
0 - 3 %	Plano o casi plano	56433,2	37,08
3 - 7 %	Ligeramente Inclinado	34489	22,66
7 - 12 %	Moderadamente Inclinado	26710,5	17,55
12 - 25 %	Fuertemente Inclinado	26763,4	17,59
25 - 50 %	Ligeramente Escarpado	6850,41	4,50
50 - 75 %	Moderadamente Escarpado	602,43	0,40
> 75 %	Fuertemente Escarpado	340,258	0,22
TOTAL		152189,19	100

Fuente: Este estudio.

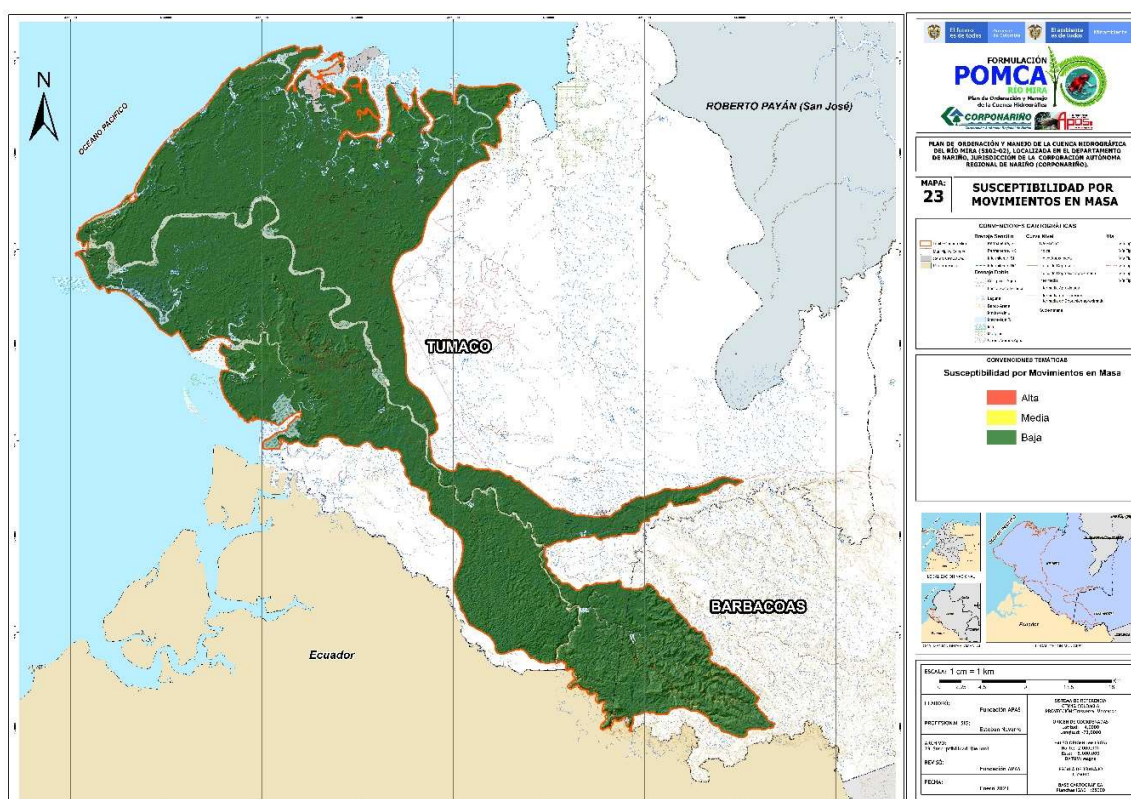


Figura 3. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa de la cuenca del río Mira.

Fuente: Este estudio

Tabla 5. Resultados cuantitativos de la susceptibilidad por movimientos en masa de la cuenca hidrográfica del río Mira

Categoría	Área (ha)	Porcentaje (%)
Alta	190,01	0,12
Media	99,83	0,07

Baja	151899,3	99,81
-------------	----------	-------

Fuente: Este estudio.

El mapa de susceptibilidad por movimientos en masa en la cuenca hidrográfica del río Mira indica una susceptibilidad alta de 190,01 hectáreas, correspondiente al 0.12% de la extensión de la cuenca. Así mismo, una susceptibilidad media de 99,83 hectáreas (0.07%) y baja con 151899,3 hectáreas (99,81%). Esto indica que las características de la cuenca no son propicias para que se desarrollen posibles avenidas torrenciales, esto debido principalmente a las pendientes planas y casi planas que se encuentran en su gran mayoría en ella.

8.3 Amenaza por movimientos en masa

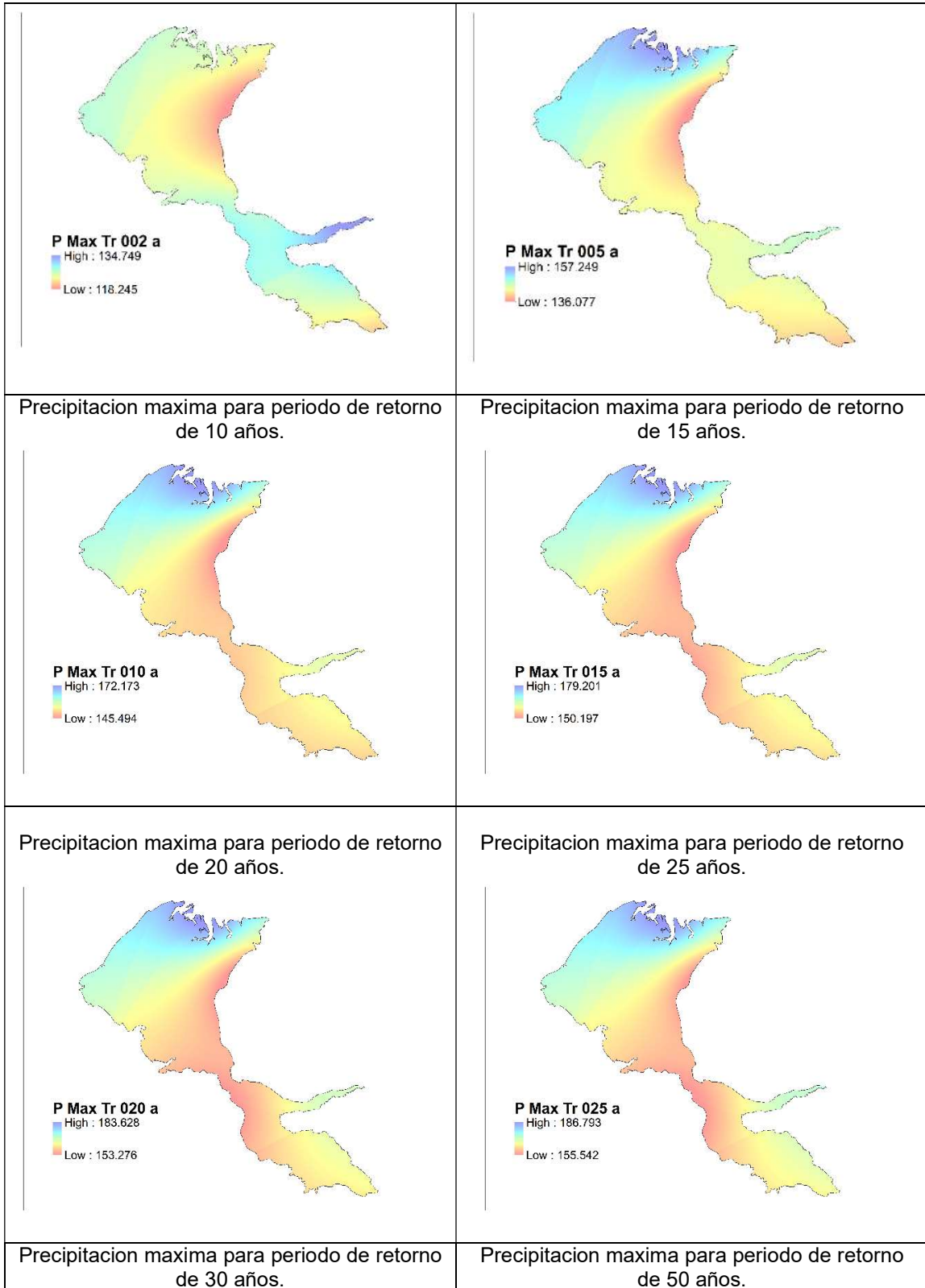
Las características sociales, geográficas y de insuficiencia de información de la cuenca hidrográfica del río Mira conllevó desarrollar un reto metodológico complejo; es importante tener en cuenta que cerca del 77,29% del área total de la cuenca se encuentra identificado como moderadamente inclinado, ligeramente inclinado y plano o casi plano dentro de la clasificación de pendientes en porcentaje y grados. Por esta razón, muchas de las metodologías usualmente usadas no se podían aplicar al modelo de esta cuenca porque sus variables resultaban ser cero o nulas.

En consecuencia, se adoptó una metodología basada en el análisis multicriterio que sirve como herramienta de apoyo en la toma de decisiones durante el proceso desarrollado que permitió en la cuenca del río Mira integrar diferentes criterios de acuerdo con la opinión del equipo técnico en un solo marco de análisis para dar una visión integral.

Para ello se incorporó los resultados de la susceptibilidad por movimientos en masa más los detonantes, que, en este caso fueron las precipitaciones máximas en diferentes tiempos de retorno y sismo.

Cabe resaltar que los resultados obtenidos se encuentran en la lógica y dinámica de la región. Sin embargo, por la insuficiencia de información y generalización de esta, los resultados de los modelos finales están expuestos a ajustes y cambios; para ello se requiere información base más detallada.

Precipitación máxima para periodo de retorno de 2 años.	Precipitación máxima para periodo de retorno de 5 años.
---	---



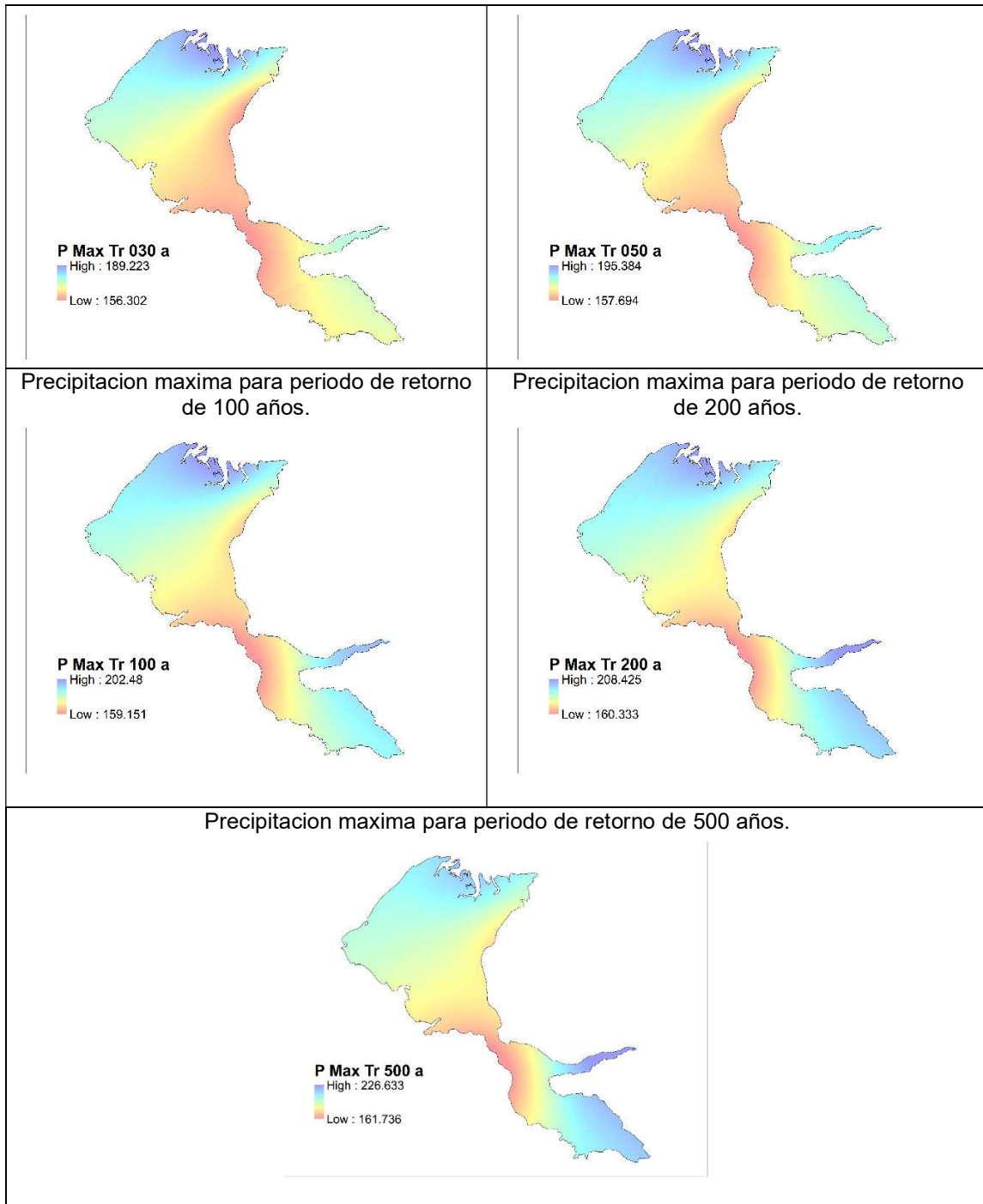


Figura 4. Precipitaciones máximas para periodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50, 100, 200 y 500 años.

Fuente: POMCA río Mira, 2021.

8.3.1 Escenario con detonante lluvia

Para la obtención de estos resultados, se elaboró, mediante un análisis multicriterio donde se compiló las diferentes variables y herramientas SIG, un modelo que permitió conocer cuál es la dinámica y posible escenario por amenaza de movimientos en masa con detonante lluvia o precipitación. En este caso, para el desarrollo del modelo se usó precipitaciones máximas con un periodo de retorno a 10 años, con el fin de ajustarse a la vigencia de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas. Es importante resaltar que el equipo técnico no contó con información base detallada en diferentes variables usadas para el desarrollo del modelo, sin embargo, se considera que los resultados obtenidos se ajustan a la realidad y dinámica del territorio estudiado.

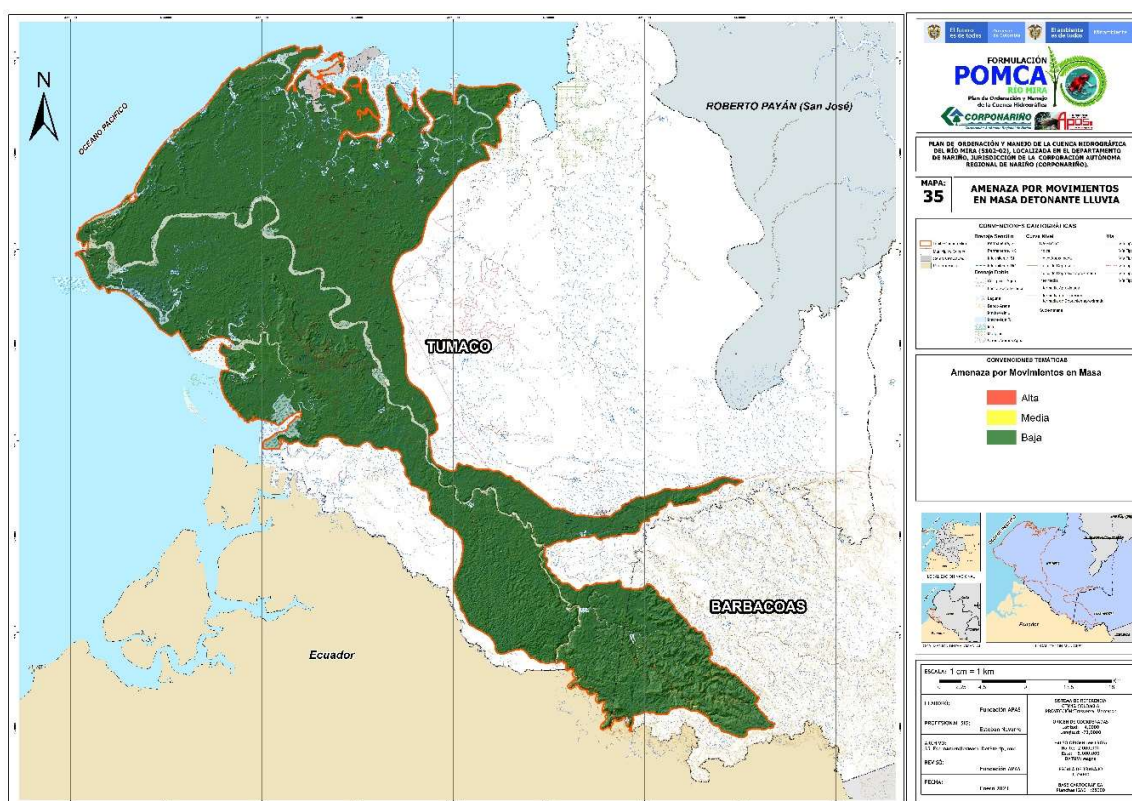


Figura 5. Mapa de amenaza por movimientos en masa con detonante lluvia del río Mira.
 Fuente: Este estudio.

Tabla 6. Resultados cuantitativos de la amenaza por movimientos en masa con detonante lluvia de la cuenca hidrográfica del río Mira

Categoría	Área (ha)	Porcentaje (%)
-----------	-----------	----------------

Alta	179,7	0,12
Media	92,9	0,06
Baja	151916,4	99,82

Fuente: Este estudio.

En los resultados obtenidos de amenaza por movimientos en masa con detonante lluvia se evidenció un alto porcentaje en la categoría de amenaza baja por movimientos en masa, correspondiente al 99,82% del área total de la cuenca.

Estos resultados indican que la cuenca hidrográfica del río Mira es poco o casi nula con respecto a áreas que entran en zonas de categoría alta y media por la presencia de movimientos en masa. Aunque en esta cuenca las precipitaciones máximas son altas, esta variable como detonante no juega un rol determinante para que se generen movimientos en masa considerables o de gran magnitud.

8.3.2 Escenario con detonante sismo

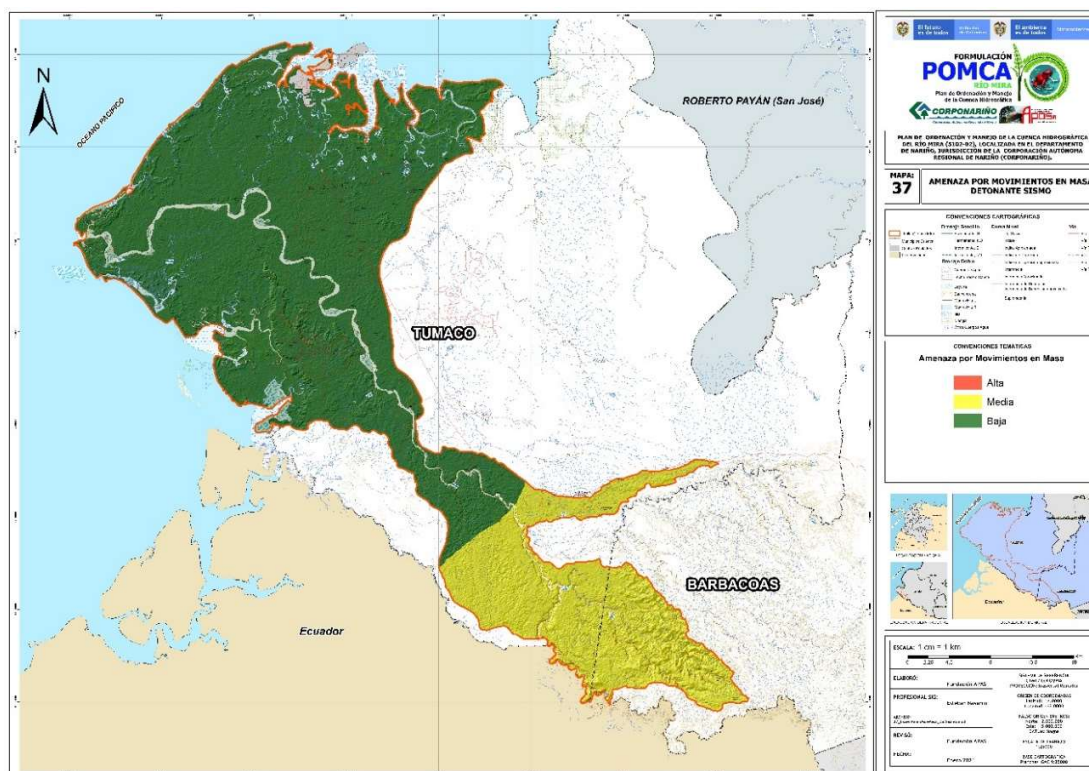


Figura 6. Mapa de amenaza por movimientos en masa con detonante sismo

Fuente: Este estudio.

Tabla 7. Resultados cuantitativos de la amenaza por movimientos en masa con detonante sismo de la cuenca hidrográfica del río Mira

Categoría	Área (ha)	Porcentaje (%)
Alta	189,2	0,12
Media	35815,1	23,53
Baja	116184,7	76,34

Fuente: Este estudio.

La amenaza por movimientos en masa con detonante sismo genera una alteración significativa en el área que se categoriza como amenaza media, dado que la generalización base del Servicio Geológico Colombiano (SGC) clasifica la parte baja de la cuenca como "intensidad esperada de carácter violento" y la parte alta como "intensidad esperada de carácter severo", esto como un indicador de la magnitud de los sismos que se presentan en esta zona de estudio. Es importante considerar que la información suministrada por el SGC se encuentra a escala 1:1.000.000 y que, por esta razón, los límites que dividen los valores dados en la intensidad sísmica son bastante generalizados.

8.3.3 Escenario con doble detonante

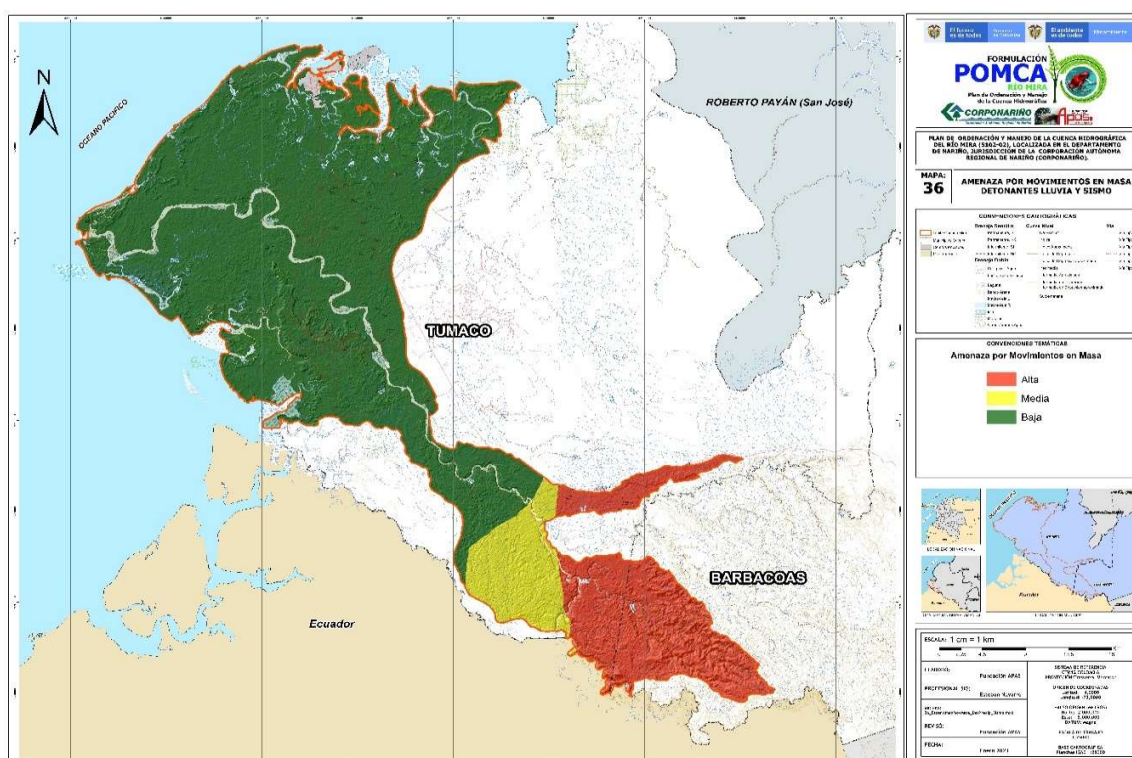


Figura 7. Mapa de amenaza por movimientos en masa con detonante lluvia y sismo en el río Mira

Fuente: Este estudio.

Tabla 8. Resultados cuantitativos de la amenaza por movimientos en masa con detonante lluvia y sismo de la cuenca hidrográfica del río Mira

Categoría	Área (ha)	Porcentaje (%)
Alta	24704,1	16,23
Media	11010,6	7,23
Baja	116474,3	76,53

Fuente: Este estudio.

La combinación de los dos detonantes juega un rol importante en el modelo obtenido en la información cartográfica correspondiente a la amenaza por movimientos en masa. En este caso, sobre el municipio de Barbacoas en la parte alta de la cuenca se evidencia un cambio drástico en la categorización de la amenaza, encontrándose en alta y media. Sin embargo, es importante resaltar que este modelo fue ajustado a variables de escalas básicas, sobre todo en la variable sismo (como se lo indicó en los resultados obtenidos de amenaza por movimientos en masa con detonante sismo). Para suplir esta falta de información, al final de este documento se realizaron unas observaciones que se deben tener en cuenta para el ordenamiento del territorio con respecto a este escenario.

9 EVENTO: INUNDACIONES

El análisis de inundaciones se realizó con base en los datos obtenidos a partir de información secundaria y herramientas SIG; estos datos fueron cartografiados y analizados encontrando que como tendencia general los fenómenos reportados están dentro del área de influencia del cauce principal del río Mira, sobre todo en el municipio de Tumaco.

En general la llanura de inundación tiene una pendiente suave con algunas zonas cóncavas las cuales permiten la acumulación; a medida que nos alejamos de la base, éstas se hacen cada vez más inclinadas en el margen transicional algunas veces sobre grandes depósitos (flujos de escombros) o sobre roca o saprolito esta cambia bruscamente.

Las zonas de transición ubicadas cerca de la desembocadura en el río Mira presentan topografía más plana. La llanura aluvial y los abanicos o conos recientes son zonas con mayor probabilidad de resultar afectadas por inundaciones tras un evento de lluvias de gran intensidad.

En la llanura aluvial con pendientes menores a 1% (Rendón, 1997), los abanicos aluviales cubren amplias áreas casi planas y algunas veces bajo el nivel del canal activo del río con una tendencia natural a presentar inundaciones ya que en un pasado constituían zonas cenagosas y pantanosas de constante intercambio con la corriente principal durante temporadas lluviosas donde el río y afluentes de orden superior, presentaban frecuentes desbordamientos y rupturas de su canal principal.

Quebradas satélites cercanas al drenaje doble del río Mira son puntos críticos inundables que se generan por condiciones geológicas (zonas de baja permeabilidad) y/o geomorfológicas (cambios en la forma de la pendiente, topografías heredadas de antiguos canales). Históricamente en la cuenca hidrográfica del río Mira se presentan eventos por inundaciones que, a raíz de las altas precipitaciones, los caudales se ven comprometidos sobrepasando las mareas máximas de desbordamiento y generando un riesgo de gran importancia social, económica y ambiental en la zona.

9.1 Descripción metodológica

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, modelos de sombras y pendientes y 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, fueron categorizadas según la relación con la actividad fluvial y la existencia de eventos de inundación dentro de la cuenca con el fin de integrar estos tres criterios dentro de la evaluación de susceptibilidad.

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

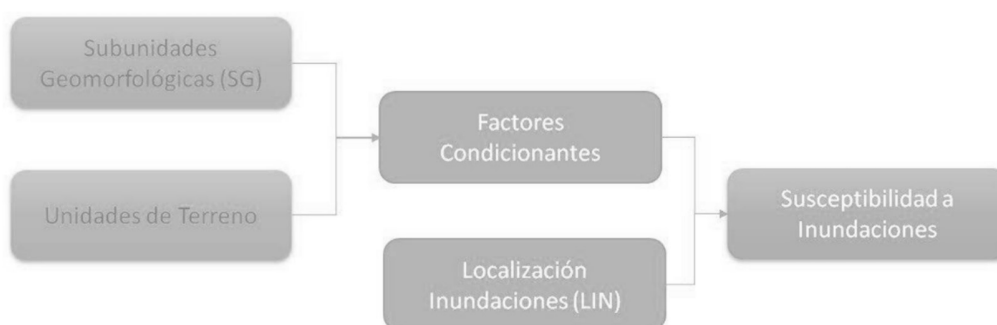


Figura 8. Variables que determinan la zonificación de la susceptibilidad a la amenaza por inundaciones

Las subunidades geomorfológicas corresponden a geoformas generadas a lo largo de un sistema fluvial como resultado de los procesos erosivos y de acumulación que varían en función de su pendiente, caudal y carga de sedimentos. Cada subunidad se identifica según

el material del depósito, morfogénesis, pendientes, contrastes morfológicos (rugosidad, curvatura, etc.) y cronología (Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2012); siendo esta última característica la que permite determinar las áreas susceptibles a inundarse según la temporalidad de procesos (activos, intermitentes o antiguos). Este parámetro fue analizado con base en las unidades geomorfológicas según Carvajal.

Así mismo, las subunidades geomorfológicas presentes que generalmente son susceptibles a inundarse, son aquellas que presentan bajas pendientes y están ligadas en su desarrollo a un sistema fluvial relacionadas con la inundación de zonas con un bajo índice de relieve durante la época de alta pluviosidad asociadas al desborde temporal del río Mira sobre terrazas o planos de inundación; estas unidades, al estar asociadas a las corrientes hídricas y estar constituidas por materiales finos arcillosos aumentan su cota de nivel, durante las temporadas de lluvias y afectan planos anegadizos, constituyéndolos como depósitos fluvio-lacustres (limosos y arcillosos) de encharcamiento temporal, que de manera general bordean las cuencas de decantación, generados por el desbordamiento y dinámica natural del río.

Las unidades de terreno corresponden a geoformas particulares del terreno consideradas dentro de un nivel del sistema jerárquico, relacionada con las formas de relieve: ambientes morfogenéticos y sistemas de terreno (Zinck, 2012). Cada geoforma se clasifica según su génesis, morfología y geometría del relieve. Su análisis permite identificar geoformas asociada a procesos de inundación y subsiguientemente determinar zonas susceptibles a esta amenaza.

Este parámetro fue analizado con base en las unidades de terreno según Zinck (1989), definidas para el área de la cuenca hidrográfica del río Mira. La información se maneja en formato vector tipo polígono.

9.2 Susceptibilidad por inundaciones

Para este proceso se realizó un análisis geomorfológico – histórico, donde se efectuó una interpretación de las geoformas y relieves de ambiente fluvial, aluvial y lacustre, con el objetivo de encontrar vestigios y evidencias físicas de inundaciones en la cuenca, los insumos para tener en cuenta son:

1. Imágenes satelitales.
2. Modelo Digital de Terreno (DEM).
3. Modelo de Sombras y Pendientes.
4. Análisis de Información Histórica.

Luego de analizar y categorizar la anterior información, se priorizo los factores condiciones (subunidades geomorfológicas y unidades del terreno) y localización de inundaciones, para definir las áreas más susceptibles a este tipo de amenaza en la cuenca.

Es importante conocer que la dificultad de identificar y priorizar los escenarios afectados por inundación reside en la carencia de registros con información básica para el reporte de un evento, estudios y reportes nacionales, regionales y locales, con información específica del lugar y magnitud de la afectación. Las alcaldías municipales de Tumaco y Barbacoas carecen de una oficina con las necesidades acordes a la norma de gestión del riesgo, dificultando el trabajo para identificar y priorizar zonas susceptibles a inundaciones y otro tipo de amenazas.

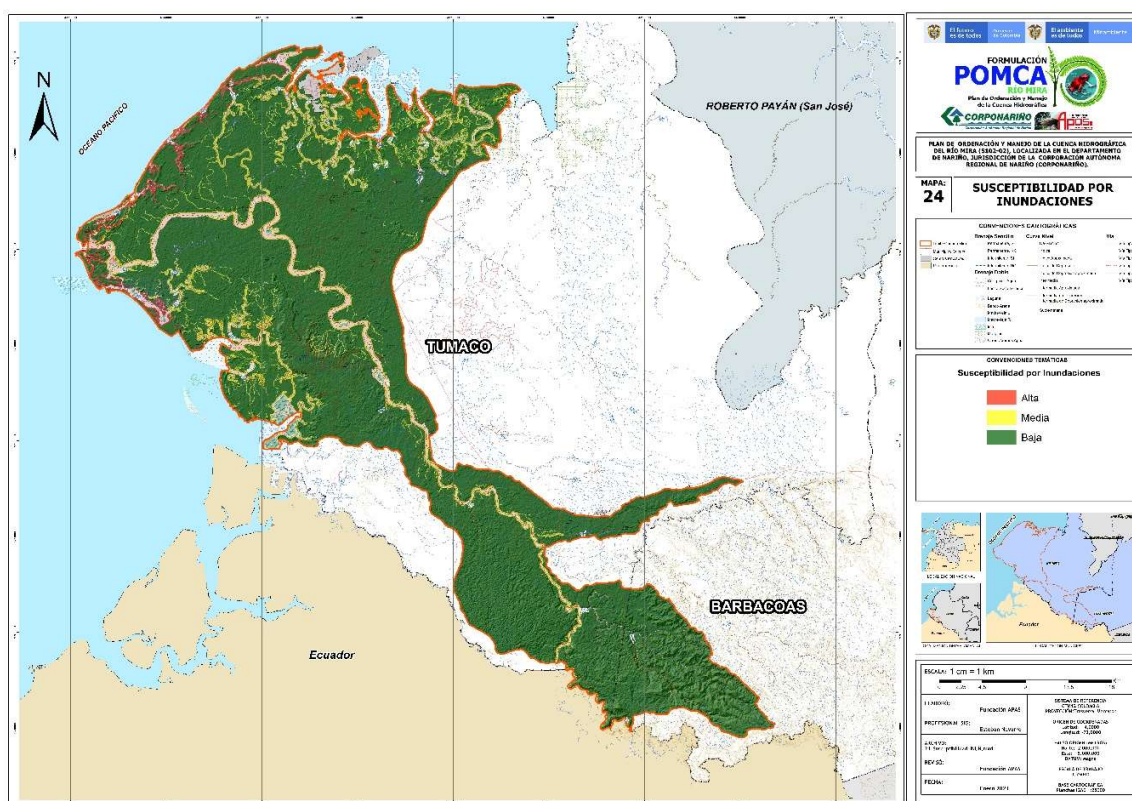


Figura 9. Mapa de susceptibilidad por inundaciones en la cuenca del río Mira
 Fuente: Este estudio.

Tabla 9. Resultados cuantitativos de la susceptibilidad por inundaciones de la cuenca hidrográfica del río Mira

Categoría	Área (ha)	Porcentaje (%)
Alta	8649,9474	5,68
Media	12852,501	8,45

Baja	130686,71	85,87
-------------	-----------	-------

Fuente: Este estudio.

Para el caso de la susceptibilidad por inundaciones en la cuenca hidrográfica del río Mira se encontró que la categoría más alta es la susceptibilidad baja, abarcando un área de 130686,71 hectáreas, correspondiente al 85,87% del área total de la cuenca. Sin embargo, hay que prestarles especial atención a las categorías de susceptibilidad alta y media porque estas comprometen cerca del 13,1% del área total de la cuenca. Estos resultados son un indicador de que los eventos presentados por inundaciones se deben modelar a una escala detallada en software especializados bajo el Decreto 1076 del 2015 e incorporar sus resultados a la próxima actualización de los instrumentos de ordenamiento territorial de los municipios de Barbacoas y Tumaco.

Para obtener estos resultados, se realizó un análisis de la geomorfología clasificada bajo la metodología de Carvajal (2012) donde se localizó las subunidades del ambiente fluvial como terrazas aluviales, cauce activo, etc, con estas geoformas y las inundaciones caracterizadas en campo se determinaron las zonas susceptibles a inundación.

Susceptibilidad Alta: Geoformas que denotan procesos activos o inundaciones Periódicas (ej. valles aluviales, planos de inundación, terrazas bajas, albardón, trenzado, entre otras) y áreas en donde coincidan dos o más puntos o polígonos de eventos históricos.

Susceptibilidad Media: Geoformas que denotan procesos intermitentes (ej. terrazas medias, meandros, entre otras), y áreas en donde al menos un punto o polígonos de evento histórico haya sido identificada.

Susceptibilidad Baja: Geoformas que denotan procesos antiguos (ej. terrazas altas).

La definición de áreas críticas sujetas a evaluación de amenaza se realiza considerando las categorías de susceptibilidad alta y media, tal como se describió previamente.

9.3 Amenaza por inundaciones

Para zonificar esta amenaza se inició con el análisis geomorfológico para zonas inundables, descrito en el protocolo de riesgos del POMCA (MADS, 2014); se tuvo en cuenta las subunidades geomorfológicas o formas del terreno asociadas a procesos fluviales y en algunos casos denudacionales, para este proceso se realizó un análisis multicriterio con la geomorfología de Zinck y Carvajal, pendientes y reportes históricos, con el fin de priorizar y zonificar las zonas de amenaza por inundación.

En consecuencia, los relieves planos de las terrazas y vegas aluviales del río Mira son los que pueden presentar la posibilidad de inundaciones. En los relieves ondulados y quebrados de la parte alta de la cuenca del río Mira se presenta principalmente movimientos

en masa (con baja posibilidad de detonarse), en especial a las quebradas perpendiculares al río principal y donde los cursos cambian de pendiente.

Como resultado del análisis multicriterio se puede establecer que las zonas bajas son las áreas con mayor amenaza a presentar inundaciones.

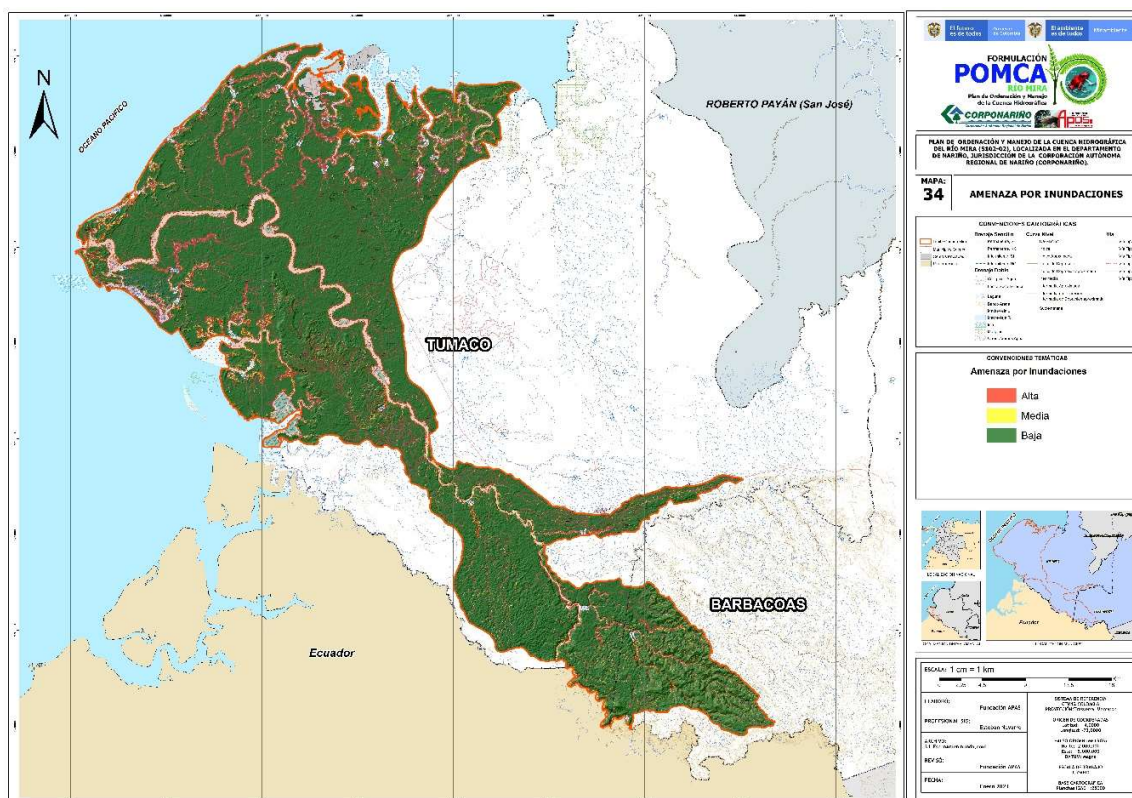


Figura 10. Mapa de amenaza por inundación en la cuenca del río Mira
 Fuente: Este estudio.

Tabla 10. Resultados cuantitativos de la amenaza por inundaciones de la cuenca del río Mira

Categoría	Área (ha)	Porcentaje (%)
Alta	24063,7	15,81
Media	5349,7	3,52
Baja	122775,6	80,67

Fuente: Este estudio.

Los resultados de la amenaza por inundaciones de la cuenca hidrográfica del río Mira indica que las categorías de amenaza alta y media de la cuenca son significativas ya que hay áreas, posiblemente de importancia de desarrollo urbano, económica, ambiental, cultural, comprometidas bajo una zonificación que puede incurrir en un peligro bajo los criterios de planificación urbana y regional.

La amenaza alta se concentra en la parte media y baja de la cuenca, respectivamente sobre el municipio de Tumaco. Los niveles de la lámina de agua del río Mira aumenta según las precipitaciones que se presentan en la cuenca del río Güiza-Alto Mira (teniendo en cuenta que este es tributario del río Mira) y en la parte alta del río Mira. Es importante comprender que, características como las pendientes, los meandros y las altas precipitaciones, son factores que juegan a favor de las inundaciones, por ejemplo, en la parte alta de la cuenca se encuentran franjas de 100 metros de ancho del río y en la parte baja de hasta 650 metros de ancho, lo que es un indicativo de la magnitud de agua (caudal) y de la baja inclinación del terreno, siendo características ideales para que se formen llanuras de inundación.

10 EVENTO: AVENIDAS TORRENCIALES (AT)

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 y la evaluación de la amenaza de las avenidas torrenciales en la cuenca del río Mira.

10.1 Descripción metodológica

La zonificación de la susceptibilidad se realizó a través del análisis de las características morfológicas e hidrológicas de cada subcuenca y/o microcuenca hidrográfica identificada y caracterizada dentro de la cuenca hidrográfica del río Mira.

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. Su resultado se obtuvo mediante los siguientes pasos:

El índice de Melton se calculó para las subcuencas que conforman la cuenca hidrográfica del río Mira 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 estos. 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 píxel; 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 píxel. Una subcuenca presenta torrencialidad cuando el índice de Melton presenta valores superiores a 0.3.

El índice de variabilidad a eventos torrenciales (IVET) se calculó en este caso para las microcuencas abastecedoras y para las subcuencas hidrográficas. Dicho indicador se obtuvo en función de dos índices:

Tabla 11. Clasificación del índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales (IVET)

IVET	Índice morfométrico				
I variabilidad	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

IVET	Índice morfométrico				
ALTA	Media	Media	Alta	Muy Alta	Muy Alta
MUY ALTA	Media	Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta

Fuente: (IDEAM, 2013)

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.)

Tabla 12. Relaciones para categorías de índices morfométricos

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

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

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 13. 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)

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

Finalmente, para zonificar la susceptibilidad se utilizan pruebas lógicas de tipo OR en donde 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.

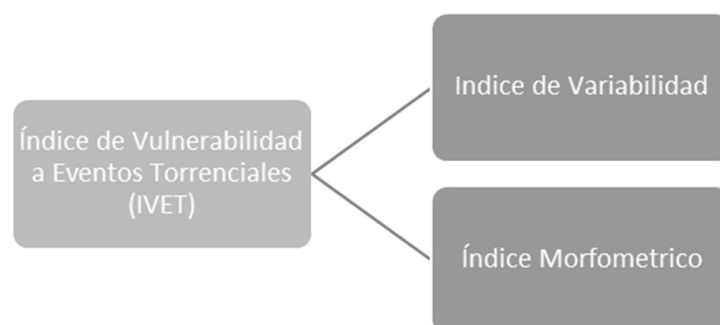


Figura 11. Índices implícitos en el cálculo del IVET.

Fuente: IDEAM, (2013)

Por otro lado, 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 y Soto, 2009 en IDEAM (2013)).

Así mismo, 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).

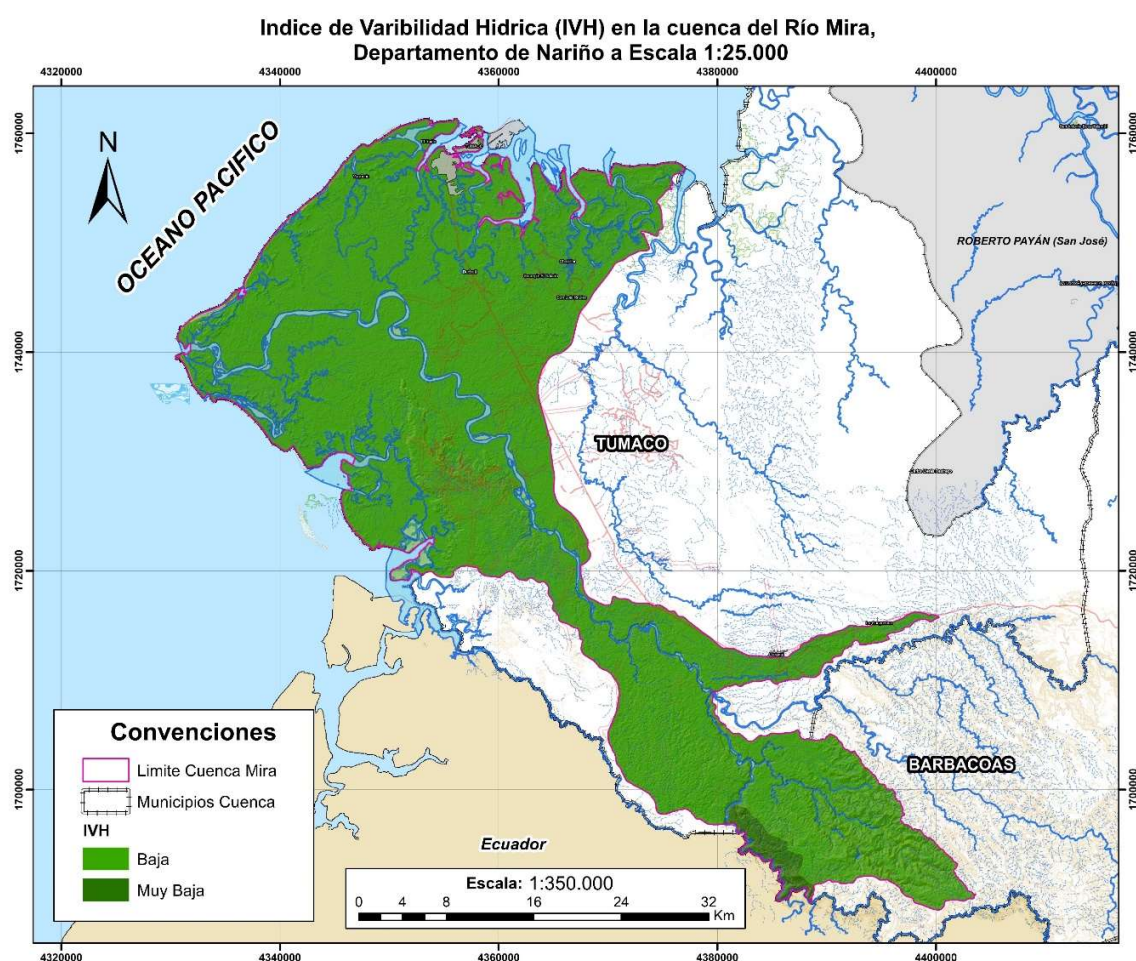


Figura 12. Mapa del IVH en la cuenca del río Mira
 Fuente: Este estudio.

Tabla 14. Resultados cuantitativos del IVH de la cuenca hidrográfica del río Mira

Categoría	Área (ha)	Porcentaje (%)
Baja	149881,9	98,48
Muy Baja	2307,1	1,52

Fuente: Este estudio.

Tabla 15. Índice de Variabilidad

NOMENCLAT	N_SCH	IVH
H5102021000	Quebrada Quejuambí	Baja
H5102021800	Sistema deltaico del río Mira entre Quebrada Tangrialito y Brazo El Cobao (mi)	Baja
H5102020100	Sistema deltaico del río Mira entre Quebrada Sin Toponimia y Bocana Nueva (md)	Baja
H5102020200	Sistema deltaico del río Mira entre Río Pusbi y Bocana Santo Domingo (md)	Baja
H5102021900	Quebrada Sin Toponimia	Baja
H5102022000	Directos río Mira entre Quebrada Biguaral y Quebrada Sin Toponimia (md)	Baja
H5102021700	Quebrada Tangrialito	Baja
H5102022700	Directos río Mira entre Quebrada Piragua y Quebrada Tangrialito (mi)	Baja
H5102022100	Quebrada Biguaral	Baja
H5102020300	Quebrada Cuespi	Baja
H5102022200	Directos río Mira entre Quebrada Cuespi y Quebrada Biguaral (md)	Baja
H5102021600	Quebrada Piragua	Baja
H5102021500	Directos río Mira entre Quebrada La Chorrera y Quebrada Piragua (mi)	Baja
H5102020400	Directos río Mira entre Quebrada El Podrido y Quebrada Cuespi (md)	Baja
H5102020500	Quebrada El Podrido	Baja
H5102020600	Directos río Mira entre Quebrada La Honda y Quebrada El Podrido (md)	Baja
H5102020700	Quebrada La Honda	Baja
H5102021400	Quebrada La Chorrera	Baja
H5102022600	Directos río Mira entre Quebrada Chinguirito y Quebrada La Chorrera (mi)	Baja
H5102021300	Quebrada Chinguirito	Baja
H5102020800	Directos río Mira entre Quebrada La Isla y Quebrada La Honda (md)	Baja
H5102021200	Quebrada Pianulpí	Baja
H5102021100	Directos río Mira entre Quebrada Quejuambí y Río Güiza (mi)	Baja
H5102022500	Directos río Mira entre Quebrada Mogui y Quebrada Quejuambí (mi)	Baja
H5102020900	Directos río Mira entre Río San Juan y Quebrada La Isla (mi)	Muy Baja
H5102022400	Quebrada Mogui	Muy Baja
H5102022300	Quebrada La Isla	Muy Baja

Fuente: POMCA río Mira, 2021.

Una vez determinados los índices de variabilidad y morfométricos para cada una de las subcuencas que componen la cuenca hidrográfica del río Mira, se establece el valor del IVET teniendo en cuenta la matriz de decisión anteriormente establecida. Dicho cruce categoriza la cuenca en zonas de vulnerabilidad alta, media y baja.

Por consiguiente, el índice de Meltón hace referencia al grado de susceptibilidad de una cuenca, o en este caso subcuencas, a presentar eventos torrenciales, su importancia radica en la influencia de la morfometría en la existencia de un evento torrencial.

El cálculo del índice de meltón permitió tipificar el flujo eventual, a lo largo de la cuenca hidrográfica del río Mira. El resultado del índice de Melton muestra los menores valores y susceptibilidades a avenidas torrenciales en la parte baja de la cuenca donde predomina la categoría baja y se encuentran como tal las alturas más bajas del territorio; la mayor parte del área de estudio se encuentra categorizada como susceptibilidad baja. La categoría alta



Fase de Diagnóstico

POMCA Mira

se encuentra localizada en la zona alta de la cuenca hidrográfica del río Mira y sus principales afluentes, principalmente en los sectores de mayor pendiente.

De acuerdo con 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 geoformas asociadas a flujos o abanicos fluviales, se pueden asociar fenómenos de avenidas torrenciales. Adicionalmente, se generan en zonas montañosas, escarpadas y de piedemonte, en donde se configuren notorios cambios de la pendiente del cauce. En Colombia las regiones más propensas sufrir este fenómeno se hallan en la región Andina, en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta y en la parte media del Piedemonte Llanero. A nivel más local, la torrencialidad es común en frentes donde predomina la erosión sobre la sedimentación, en cañones en "V" y morfologías que configuren relieves abruptos.

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.

El IVH estimado para la cuenca hidrográfica, corresponde a categoría IVET Media. En relación con las subcuencas, la mayoría presenta igual calificativo (17 SCH), con excepción en 9 SCH que presentan IVET Baja, así como la subcuenca 51020223-Quebrada La Isla que categoriza IVET Alta.

Indice de Vulnerabilidad por Eventos Torrenciales (IVET) en la cuenca del Río Mira, Departamento de Nariño a Escala 1:25.000

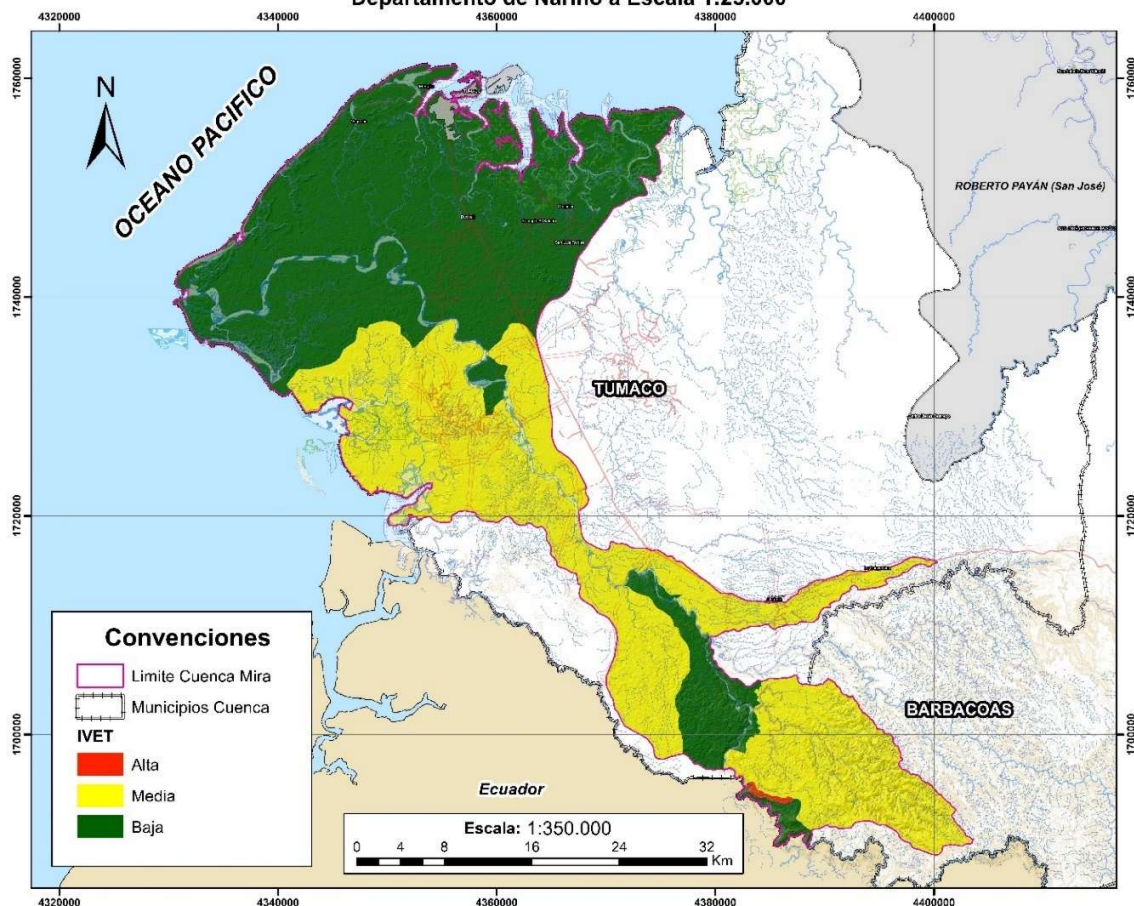


Figura 13. Mapa del IVET en la cuenca del río Mira.
 Fuente: Este estudio.

Tabla 16. Resultados cuantitativos del IVET de la cuenca hidrográfica del río Mira

Categoría	Área (ha)	Porcentaje (%)
Alta	252,04	0,17
Media	69351,3	45,57
Baja	82585,7	54,27

Fuente: Este estudio.

10.2 Susceptibilidad por avenidas torrenciales

La metodología empleada para el cálculo de la susceptibilidad por avenidas torrenciales corresponde a la propuesta por el protocolo para gestión del riesgo del IDEAM (2015), está propone determinar el Índice de Vulnerabilidad a Evento Torrenciales (IVET) (IDEAM, 2013), el Índice Geomorfológico y el Índice de Melton (explicado en el anterior apartado). A partir de estos se estimó la susceptibilidad por avenidas torrenciales.

Índice Geomorfológico: Se identificaron las zonas susceptibles de ser afectadas por avenidas torrenciales teniendo en cuenta las formas del terreno (Zinck, 2012) como abanicos, fondos de valle, flujo de tierra, flujo de detritos, flujo de lodo, Alud (lava) torrencial, comparables con la unidad geomorfológica tipo abanico aluvial y las subunidades geomorfológicas de la metodología de Carvajal (2011).

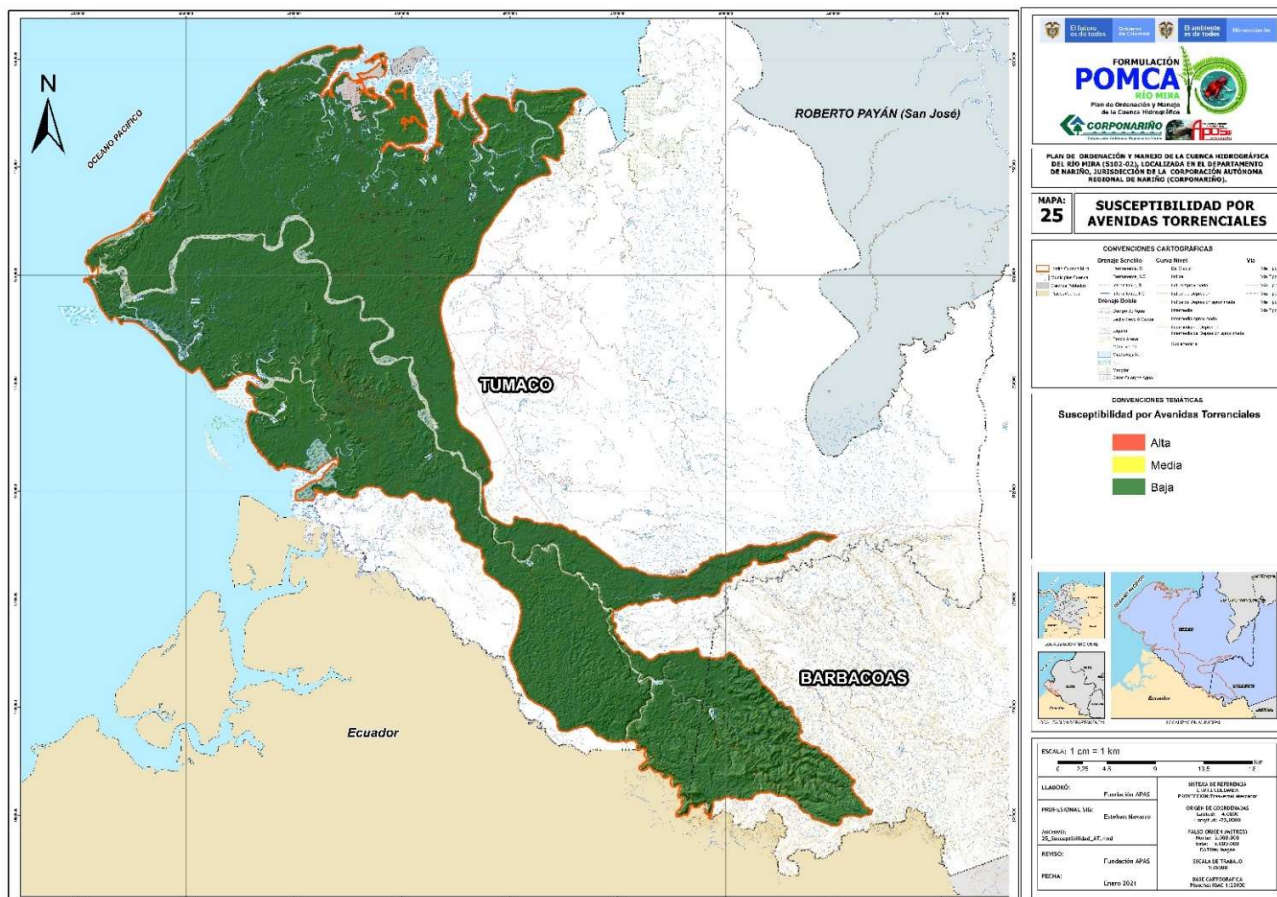


Figura 14. Mapa de susceptibilidad por avenidas torrenciales en la cuenca del río Mira.

Fuente: Este estudio.

Tabla 17. Resultados cuantitativos de la susceptibilidad por avenidas torrenciales de la cuenca hidrográfica del río Mira

Categoría	Área (ha)	Porcentaje (%)
Alta	89,1	0,06
Media	46,4	0,03
Baja	152053,5	99,91

Fuente: Este estudio.

Los resultados, muy similares a los presentados en la sección de susceptibilidad por movimientos en masa, indican que la susceptibilidad por avenidas torrenciales en esta cuenca es baja, representándose en 152053,5 hectáreas (99,91% del área total de la cuenca).

La categoría alta y media en la susceptibilidad por avenidas torrenciales en la cuenca del río Mira se presentan únicamente en el municipio de Barbacoas, representándose en 89,1 hectáreas como categoría de susceptibilidad alta y 46,4 hectáreas para susceptibilidad media. Cabe resaltar que realizando estudios detallados (para ordenamiento territorial) la extensión bajo estas categorías disminuirá, dado que la escala de trabajo permitirá conocer con mayor exactitud la dinámica del fenómeno.

Estos resultados son la recopilación de un análisis multicriterio donde primaron índices específicos señalados por el protocolo de gestión de riesgo de la guía POMCA y del IDEAM. Los índices usados, como se explicó anteriormente, fueron los morfométricos, IVH, IVET y geomorfológico.

Una vez corrido el modelo mediante herramientas SIG, se puede concluir que esta cuenca ante eventos conocidos como avenidas torrenciales no es alta ni medianamente susceptible; la explicación de este resultado nace principalmente de las características geomorfológicas de la cuenca, principalmente de sus pendientes.

Si bien en esta cuenca los índices de precipitación son altos, sobre todo en el municipio de Barbacoas (parte alta de la cuenca), la susceptibilidad a consecuencia de esta variable es más dinámica para eventos catalogados como inundaciones e incendios de cobertura vegetal y no para movimientos en masa y avenidas torrenciales, tal como se muestra en este capítulo. Por esta razón, es importante resaltar la metodología usada, dado que la observación y los valores asignados por el equipo técnico, conocedor de las dinámicas territorio, es valioso a tal punto que disminuye el error estadístico propuesto en metodologías que se asignan para estudios más detallados.

10.3 Amenaza por avenidas torrenciales

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 las figuras 15,16 y 17. La interacción de los procesos de sedimentación y pendiente crítica con las cuencas susceptibles más los detonantes dan como resultado diferentes escenarios amenaza por avenidas torrenciales, como se lo explica a continuación.

El análisis evidencia la probabilidad de ocurrencia a presentar eventos torrenciales o crecidas súbitas en las subcuencas de la parte alta y media, son aspectos que permiten validar el resultado del análisis SIG, obtenido a partir de los índices de torrencialidad y los eventos registrados con información secundaria e imágenes satelitales.

Se debe resaltar que una avenida torrencial tiene limitaciones de espacio y causalidad (se presenta donde hay aporte de material mediante un movimiento en masa, y la avenida torrencial sólo se produce a lo largo del cuerpo de agua) razón por la cual es importante tener en cuenta la zonificación de amenaza a movimientos en masa descrita en el capítulo del análisis de la zonificación por dicha amenaza, la información se maneja en formato vector tipo polígono.

10.3.1 Escenario con detonante lluvia



Figura 15. Mapa de amenaza por avenidas torrenciales con detonante lluvia del río Mira

Fuente: Este estudio.

Tabla 18. Resultados cuantitativos de la amenaza por avenidas torrenciales con detonante lluvia de la cuenca hidrográfica del río Mira

Categoría	Área (ha)	Porcentaje (%)
Alta	84,2	0,06
Media	44,9	0,03
Baja	152060,01	99,92

Fuente: Este estudio.

Este escenario señala que la amenaza por avenidas torrenciales con detonante lluvia se identifica especialmente por tener una susceptibilidad baja, tal como lo indica la tabla 18.

10.3.2 Escenario con detonante sismo

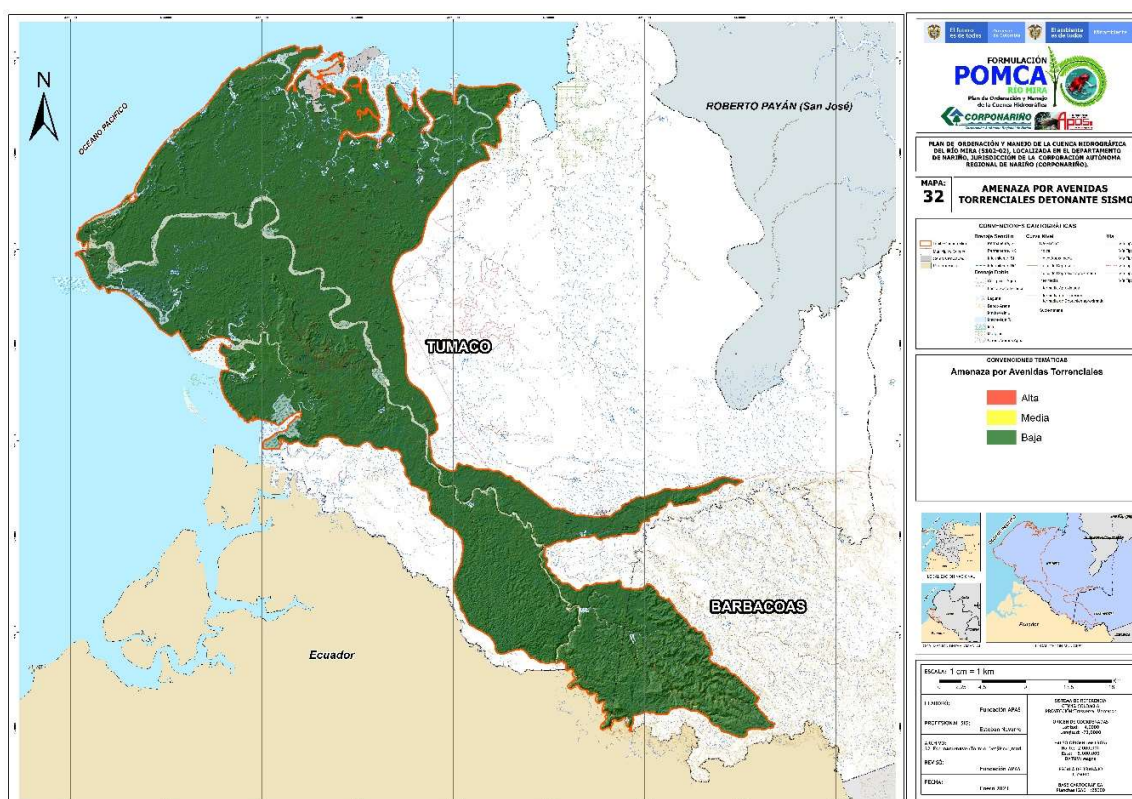


Figura 16. Mapa de amenaza por avenidas torrenciales con doble detonante (precipitaciones y sismo) en la cuenca del río Mira

Fuente: Este estudio.

Tabla 19. Resultados cuantitativos de la amenaza por avenidas torrenciales con detonante sismo de la cuenca hidrográfica del río Mira

Categoría	Área (ha)	Porcentaje (%)
Alta	84,2	0,05
Media	44,9	0,03
Baja	152060	99,92

Fuente: Este estudio.

La incorporación del sismo como detonante para identificar la amenaza por avenidas torrenciales es muy similar al detonante lluvia, dado que la categoría más relevante es la susceptibilidad baja, con una representación del 99,92% en la cuenca del río Mira.

10.3.3 Escenario con doble detonante

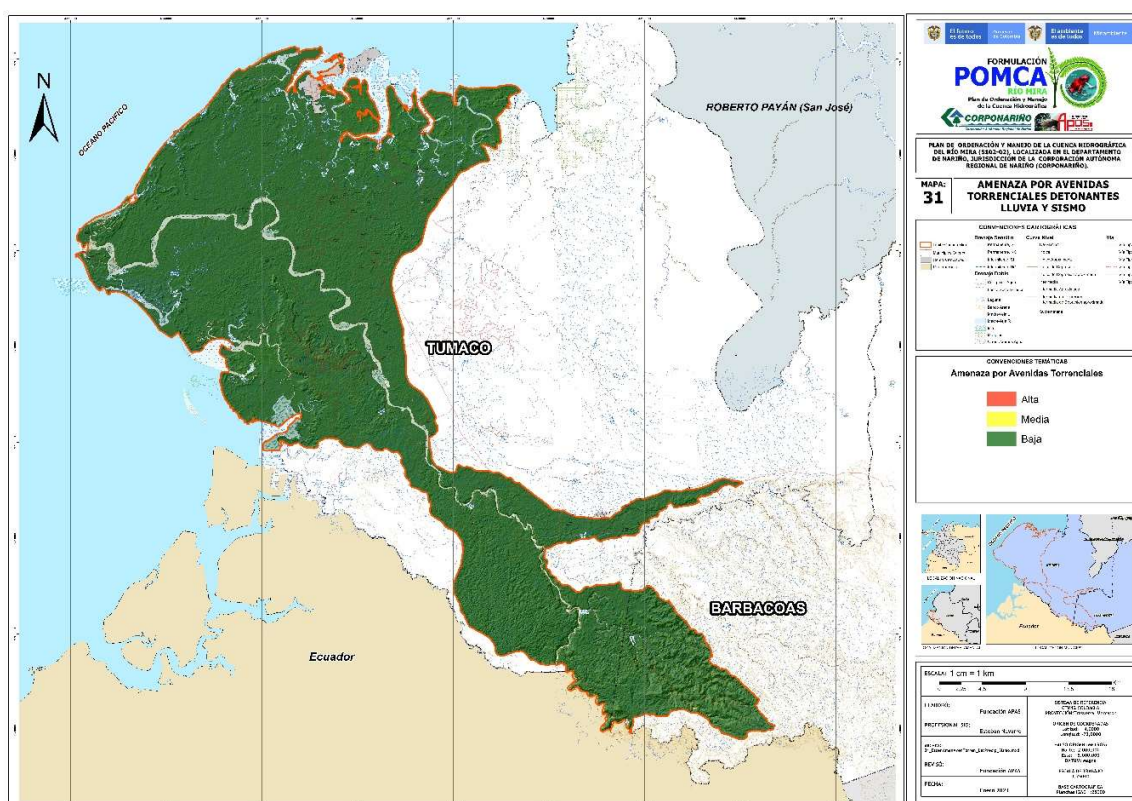


Figura 17. Mapa de amenaza por avenidas torrenciales con doble detonante (precipitaciones y sismo) en la cuenca del río Mira
 Fuente: Este estudio.

Tabla 20. Resultados cuantitativos de la amenaza por avenidas torrenciales con doble detonante (lluvia y sismo) de la cuenca hidrográfica del río Mira

Categoría	Área (ha)	Porcentaje (%)
Alta	79,16	0,05
Media	72,08	0,05
Baja	152037,9	99,90

Fuente: Este estudio.

Resulta interesante como la combinación de los dos detonantes (lluvia y sismo) para que se presente una avenida torrencial en la cuenca del río Mira es insignificante en el sentido que, donde se presentan, no existen comunidades o equipamientos públicos y privados.

Para conocer a mejor detalle la dinámica de este fenómeno en la cuenca del río Mira, se sugiere desarrollar estudios detallados sobre las áreas identificadas como zonas de amenaza alta y media para avenidas torrenciales.

11 EVENTO: INCENDIOS DE 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 cada año en Colombia se ven afectadas en promedio 42000 hectáreas por causa de incendios de la cobertura vegetal (MAVDT, 2010).

11.1 Descripción metodológica

El primer paso en este proceso es la determinación de variables, para esto de acuerdo con el 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.

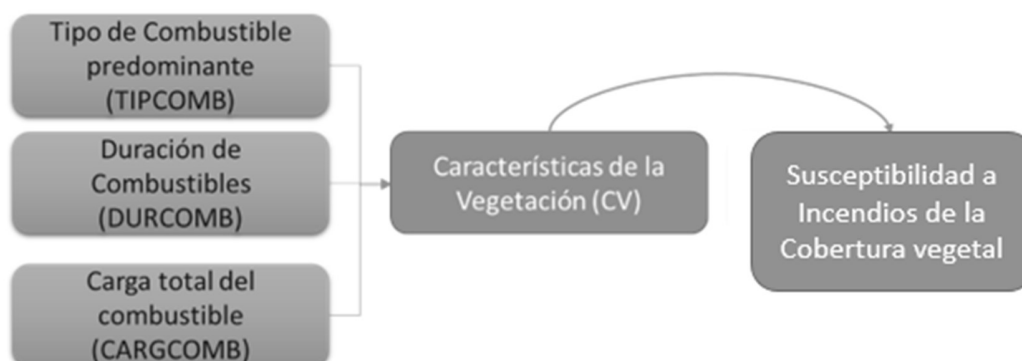


Figura 18. Características de la vegetación en función a la susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal.

Fuente: POMCA río Mira, 2021.

El tipo de combustible predominante 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, 2011).

La duración de los combustibles corresponde a la reclasificación de la vegetación de acuerdo con 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, 2011).

Cuando se habla de la carga total de combustible 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 (2011) en el tomo 1 de su libro Incendios de la cobertura vegetal en Colombia.

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

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

Donde:

Sv: Susceptibilidad de la vegetación

Cal (tc): Calificación del tipo de combustible.

Cal (dc): Calificación de duración

Cal (tc): Calificación de combustible.

La localización de incendios está asociada 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.

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.

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

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

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.

Las 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

Por ejemplo, las altas temperaturas presentan una importante relación con la ocurrencia de incendios (Moreno, Rodríguez, Zabala y 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.

Tabla 21. Indicador de temperatura para incendios de cobertura vegetal

TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
Extremadamente frío (< 6)	MUY BAJA	1
Muy frío (6 – 12)	MODERADA	2
Frío (12 – 18)	MODERADA	3
Templado (18 – 24)	ALTA	4
Cálido (> 24)	MUY ALTA	5

Fuente: IDEAM, 2011.

Así mismo, 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.

La precipitación en la cuenca del río Mira está dada principalmente por los ascensos de las columnas de aire húmedo al encontrarse con el pie de monte del pacífico nariñense, 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.

Otra variable se encuentra en 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.

Tabla 22. Indicador de precipitación para incendios de cobertura vegetal

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.

También, 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 23. Indicador de pendiente para incendios de cobertura vegetal

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.

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.

Por último, la distancia a vías corresponde a las zonas en las que, por el paso de las vías, se concibe presencia antrópica por la facilidad de acceso que genera. El área es determinada mediante la obtención de la densidad vial de acuerdo con la influencia que esta presenta para cada píxel, adicionalmente se tiene en cuenta el tipo de vía. Este factor se considera parte de la amenaza, debido a que aumenta la probabilidad de que la población pueda llegar a las áreas de cobertura vegetal y generar focos de incendio.

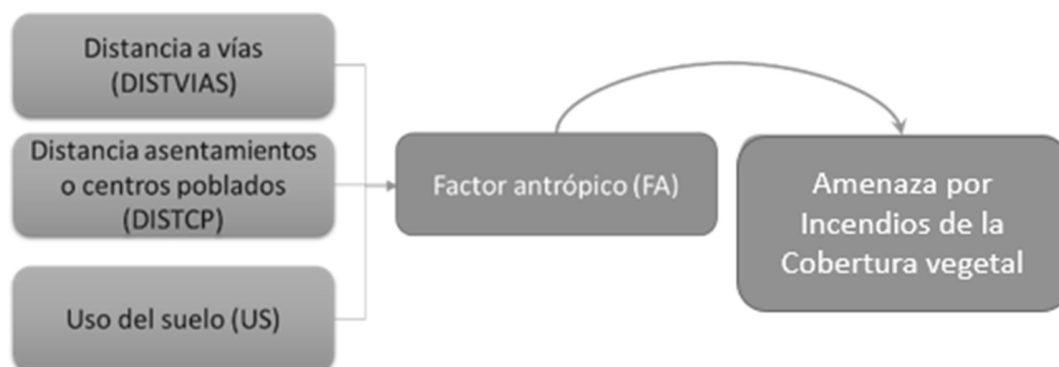


Figura 19. Factor antrópico en función de la amenaza por incendios de la cobertura vegetal.

Fuente: POMCA río Mira, 2021.

Tabla 24. 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)

11.2 Susceptibilidad por incendios de cobertura vegetal

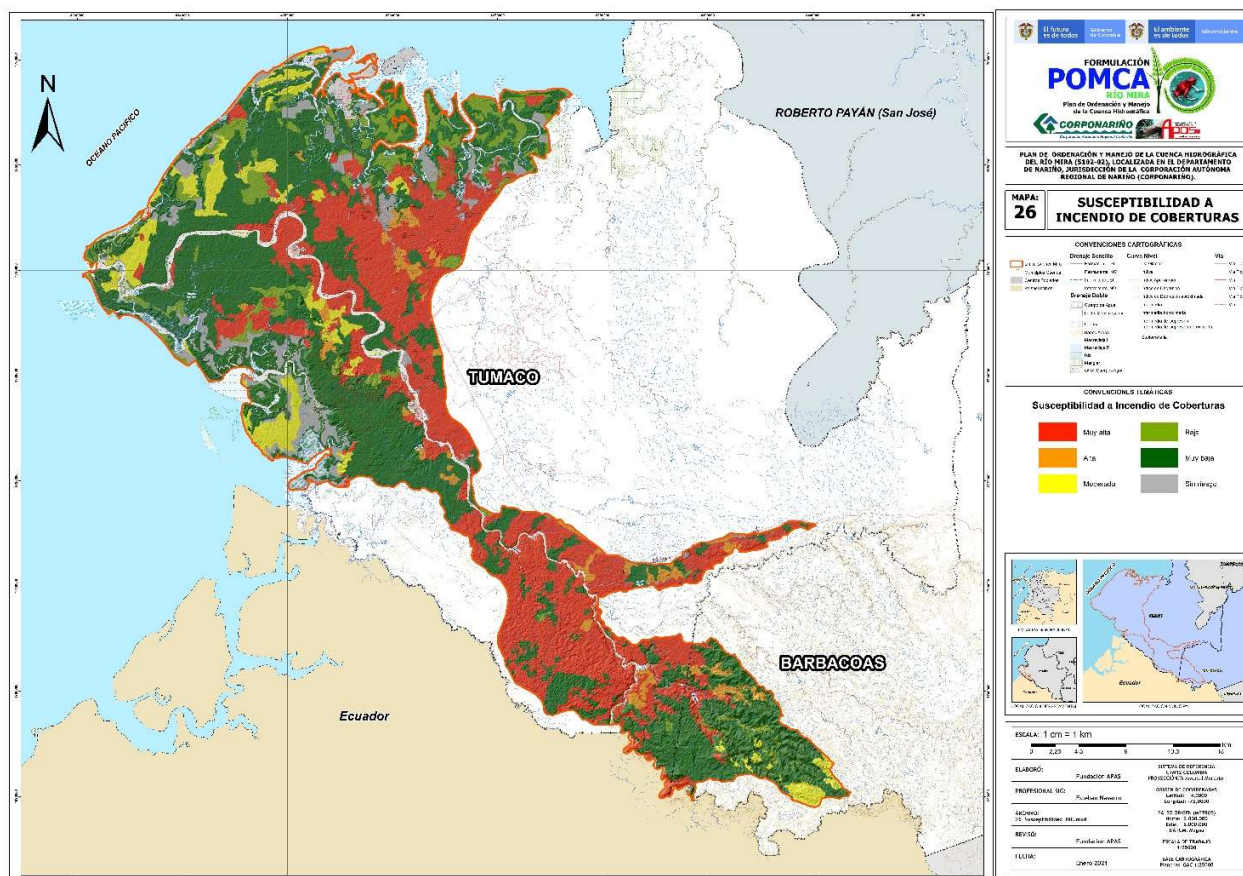


Figura 20. Mapa de susceptibilidad por incendios de cobertura en la cuenca del río Mira
 Fuente: Este estudio.

Tabla 25. Resultados cuantitativos de la susceptibilidad por incendios de cobertura vegetal de la cuenca hidrográfica del río Mira

Categoría	Área (ha)	Porcentaje (%)
Muy alta	44976,7	29,55
Alta	3935,4	2,59
Moderada	8258,7	5,43
Baja	8850,2	5,82
Muy baja	70216,3	46,14
Sin riesgo	15951,6	10,48

Fuente: Este estudio.

En cuanto a los resultados, la susceptibilidad por incendios de cobertura vegetal indica que 44976,7 hectáreas se identifican con una categoría de susceptibilidad muy alta. Este resultado está asociado principalmente a la intervención antrópica y a las dinámicas propias de la cuenca, sobre todo en donde la frontera agropecuaria hace más presencia.

Por otro lado, la susceptibilidad por incendios de cobertura vegetal categorizada como muy baja y baja se encuentran dispersas entre los municipios de Barbacoas y Tumaco y representan entre ambas el 51,96% de la cuenca; en el municipio de Barbacoas se estima que el bosque denso y la baja intervención antrópica dentro del mismo es una determinante para que grandes extensiones de esta cobertura no sean altamente susceptibles a incendios de cobertura vegetal. Además, las costumbres de las comunidades asentadas en esta área hacen que la misma se conserve en su estado natural.

En el municipio de Tumaco se encuentra todas las categorías asignadas a la susceptibilidad por incendios de cobertura vegetal. Sin embargo, es importante resaltar que la susceptibilidad baja prima en esta región, principalmente por la cobertura vegetal que se encuentra sobre áreas o zonas inundables. Así mismo, la susceptibilidad alta y muy alta presente en este municipio, es un indicativo de que las presiones antrópicas juegan un rol que genera un posible riesgo para la generación de incendios de cobertura vegetal.

11.3 Amenaza por incendios de cobertura vegetal

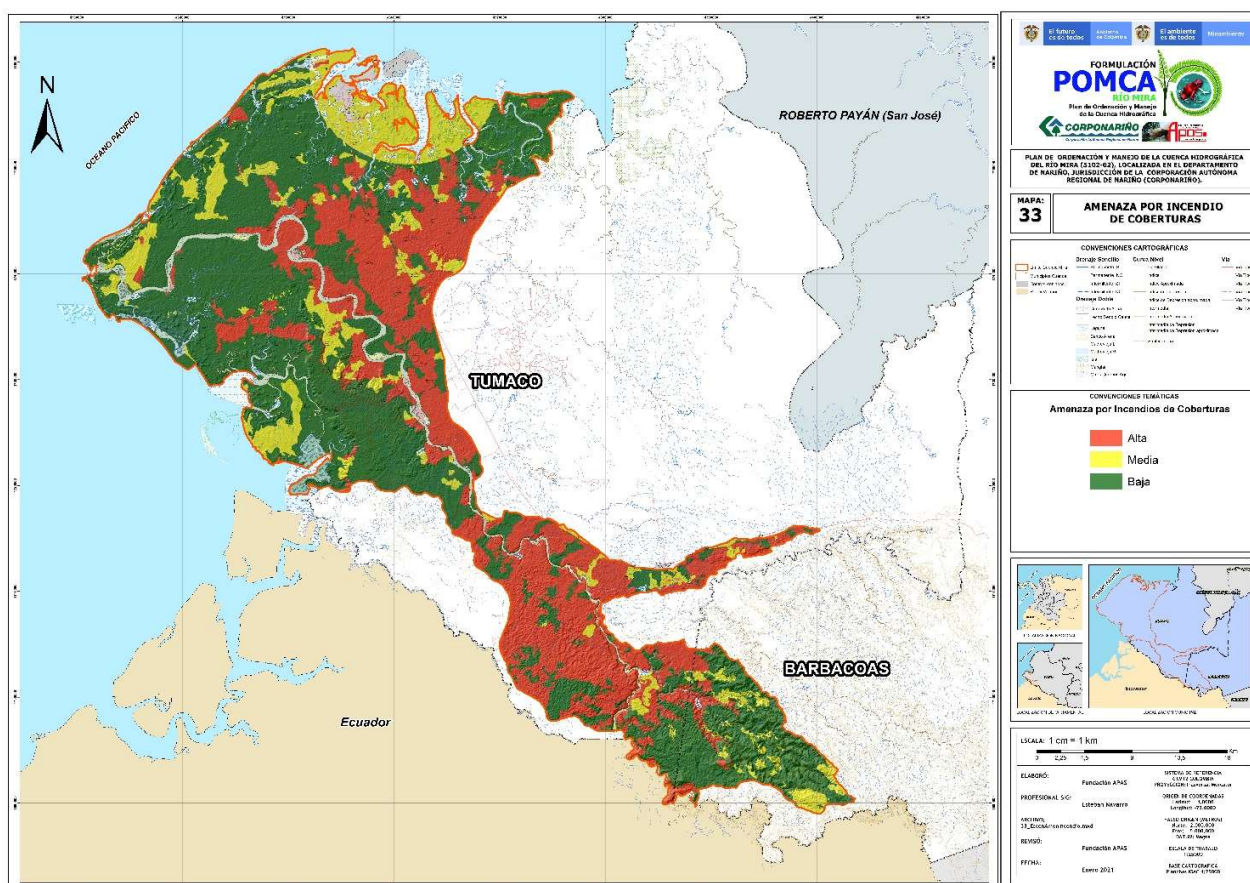


Figura 21. Mapa de amenaza por incendios de cobertura vegetal en la cuenca del río Mira
 Fuente: Este estudio.

Tabla 26. Resultados cuantitativos de la amenaza por incendios de cobertura vegetal de la cuenca hidrográfica del río Mira

Categoría	Área (ha)	Porcentaje (%)
Alta	45140,2	29,66
Media	22258,2	14,63
Baja	84790,5	55,71

Fuente: Este estudio.

La amenaza por incendios de cobertura vegetal preocupa en la cuenca del río Mira, principalmente porque las variables endógenas y exógenas son favorables para que se detonen con facilidad incendios de cobertura vegetal.

Para la cuenca hidrográfica del río Mira se generó una zonificación de 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 obtuvo un mapa de amenaza de incendios de la cobertura vegetal (Figura 21), en el cual se observa que las zonas con la amenaza más alta a incendios son las condicionadas por la temperatura y áreas que se encuentran ubicadas en la parte media de la cuenca, por lo que el índice de precipitación es mucho menor, logrando 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 presentes sobre el municipio de Tumaco.

Las zonas de amenaza alta a incendios de la cobertura vegetal alcanzan el 29,66% del área de la cuenca (45140,2 hectáreas). Estas zonas se ubican en la parte media y baja de la cuenca, sobre todo con mayor presencia sobre el área de influencia del cauce del río Mira y donde se encuentra principalmente mosaicos de pastos, cultivos y espacios naturales y bosques fragmentados. Esto es un indicador de que las presiones antrópicas son un detonante para que se genere con mayor facilidad un incendio y se categorice como una zona de amenaza alta para este evento.

Por último, se observa un área de 84790,5 hectáreas (55,71%) correspondiente a la categoría de amenaza baja por incendios de cobertura vegetal que se encuentran distribuidas en dos zonas de la cuenca. La primera en la parte alta de la cuenca (municipio de Barbacoas) donde las dinámicas antrópicas por condiciones sociales y de accesibilidad favorecen a que la amenaza sea baja y, la segunda, en la parte baja de la cuenca donde las condiciones biofísicas (áreas inundables y de altas precipitaciones) propias de la región y las condiciones de accesibilidad favorecen positivamente para que la categoría de incendios de cobertura vegetal sea baja.

12 VULNERABILIDAD

Teniendo como base la ley 1523 del 2012, se establece a la vulnerabilidad como: susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos.

La vulnerabilidad es un factor intrínseco del riesgo que permite analizar los diversos escenarios de los diferentes fenómenos amenazantes evaluados de forma integral ya que cuando se tiene en cuenta únicamente la condición de amenaza queda excluidos factores que caracterizan a los diversos actores del riesgo y su relación con la dinámica de la cuenca.

Dadas las circunstancias y el contexto donde se encuentra ubicada la cuenca del río Mira y acogido a la guía metodológica del POMCA, es importante aclarar que los resultados obtenidos para vulnerabilidad nacieron de información secundaria oficial que permitió generar mapas de los elementos expuestos encontrados en la cuenca, tales como centros poblados, vías (en todos sus niveles), línea del oleoducto trasandino (OTA) y estaciones de servicio (EDS) que demuestran cierta fragilidad en el sistema de la cuenca.

Cabe aclarar que, aunque la guía metodológica del POMCA no lo pedía, se realizaron mapas de vulnerabilidad y elementos expuestos para darle un mayor sustento técnico a este componente y poder suplir la falta de información de carácter económico, social y ambiental que hizo falta para desarrollar el índice de fragilidad ecosistémica y el índice de pérdida económica y ambiental. Así mismo, es importante recordar que esta dificultad fue expuesta a la Corporación en el año 2019 y se consideró que se debía trabajar con la información que haya disponible con el fin de hacer una aproximación al evento estudiado.

La guía metodológica del POMCA en su anexo B hace referencia a que los estudios de vulnerabilidad deben ser detallados y desarrollados bajo el marco del ordenamiento territorial municipal, siendo esta otra razón que soporta el trabajo desarrollado con base a la información disponible encontrada.

Para los efectos del desarrollo de modelos de vulnerabilidad y posterior combinación con la amenaza para obtención del riesgo, se tuvo presente la teoría que compilan diferentes autores entorno a este componente, siendo la guía base el presentado por el Ministerio de Ambiente en el año 2014.

“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:

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

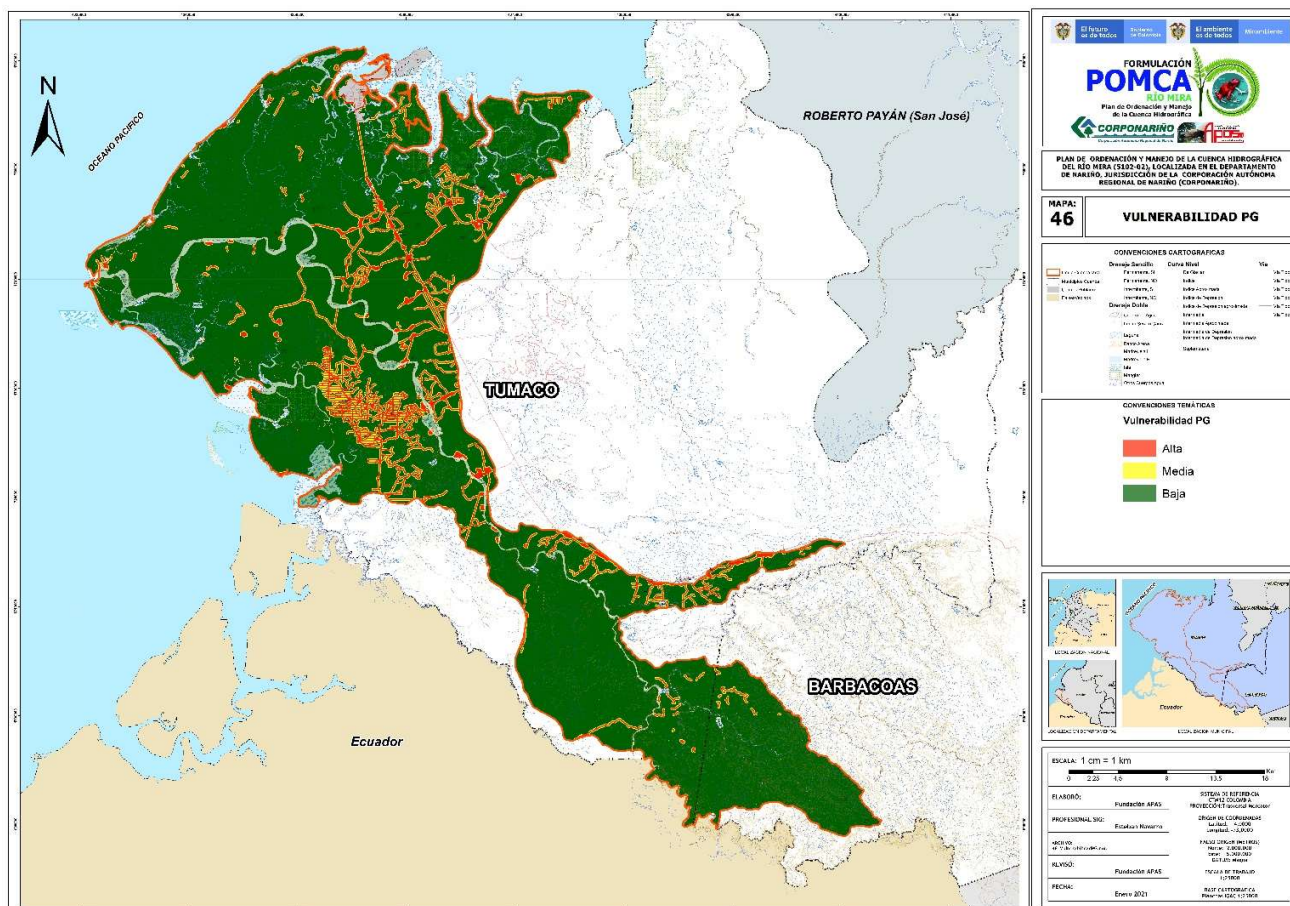


Figura 22. Mapa de vulnerabilidad en la cuenca del río Mira

Fuente: Este estudio.

Tabla 27. Resultados cuantitativos de la vulnerabilidad encontrada en la cuenca hidrográfica del río Mira

Categoría	Área (ha)	Porcentaje (%)
Alta	8602,8	5,65
Media	7349,1	4,83
Baja	136237,1	89,52

Fuente: Este estudio.

La figura 22 muestra el resultado final donde se compiló y/o trató la información obtenida de los elementos expuestos como vector en forma de polígono, línea y punto. Para ello se realizaron buffers que permitieron mediante distancias equivalentes zonificar las áreas de influencia para categorizar la vulnerabilidad baja, media y alta.

El tratamiento de la información secundaria recopilada para la creación del modelo de vulnerabilidad; los resultados arrojaron que la categoría alta corresponde a un 5,65%, la

media a un 4,83% y la baja a un 89,52% de la cuenca. En este caso, la vulnerabilidad baja tiene el mayor porcentaje de participación en la cuenca debido a que los centros poblados encontrados en los municipios de Barbacoas y Tumaco no son muy densos. La mayor participación sobre la categoría media y alta se encuentra sobre las vías.

12.1 Análisis de elementos expuestos

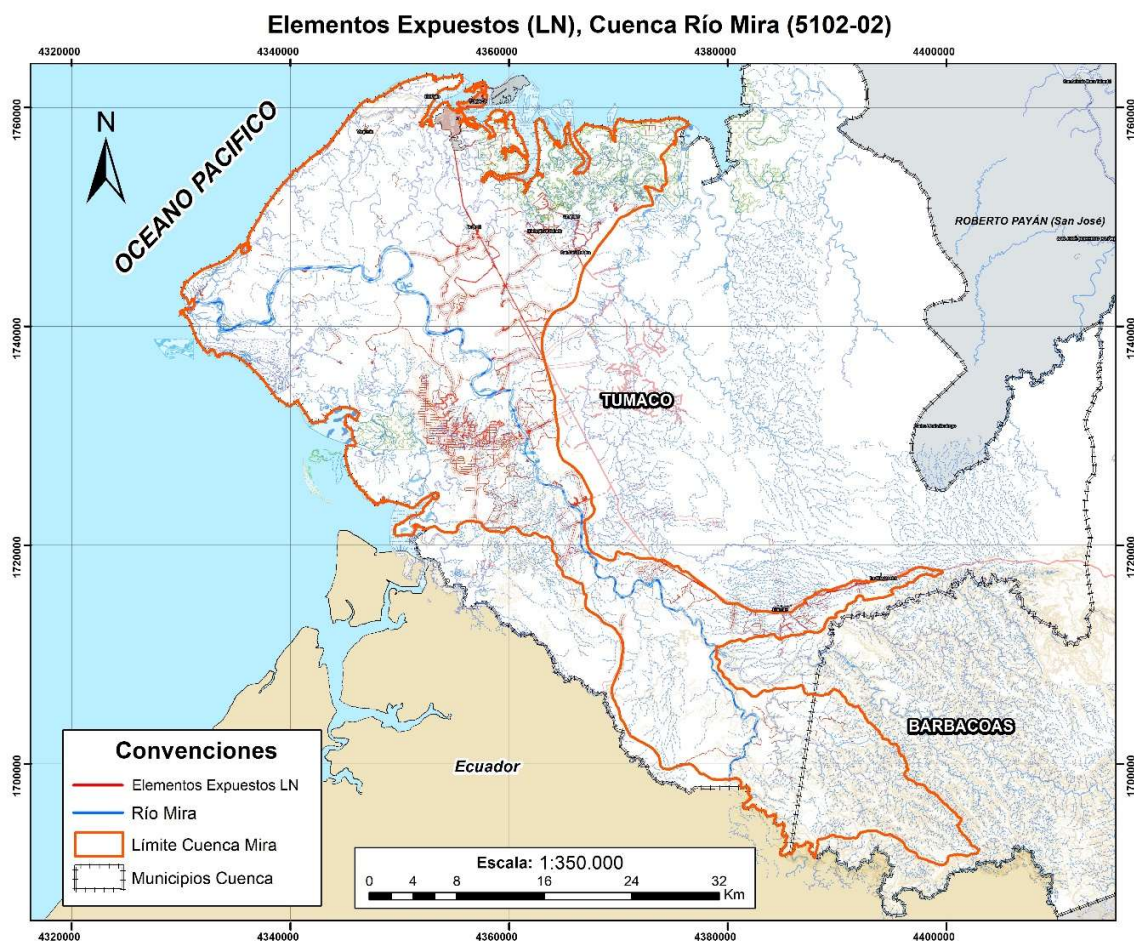


Figura 23. Mapa de elementos expuestos en línea de la cuenca del río Mira
 Fuente: Este estudio.

Los elementos expuestos bajo el vector de forma línea se encuentran identificados sobre vías y la línea del oleoducto trasandino y se encuentra distribuido en su gran mayoría sobre parte baja de la cuenca en el municipio de Tumaco.

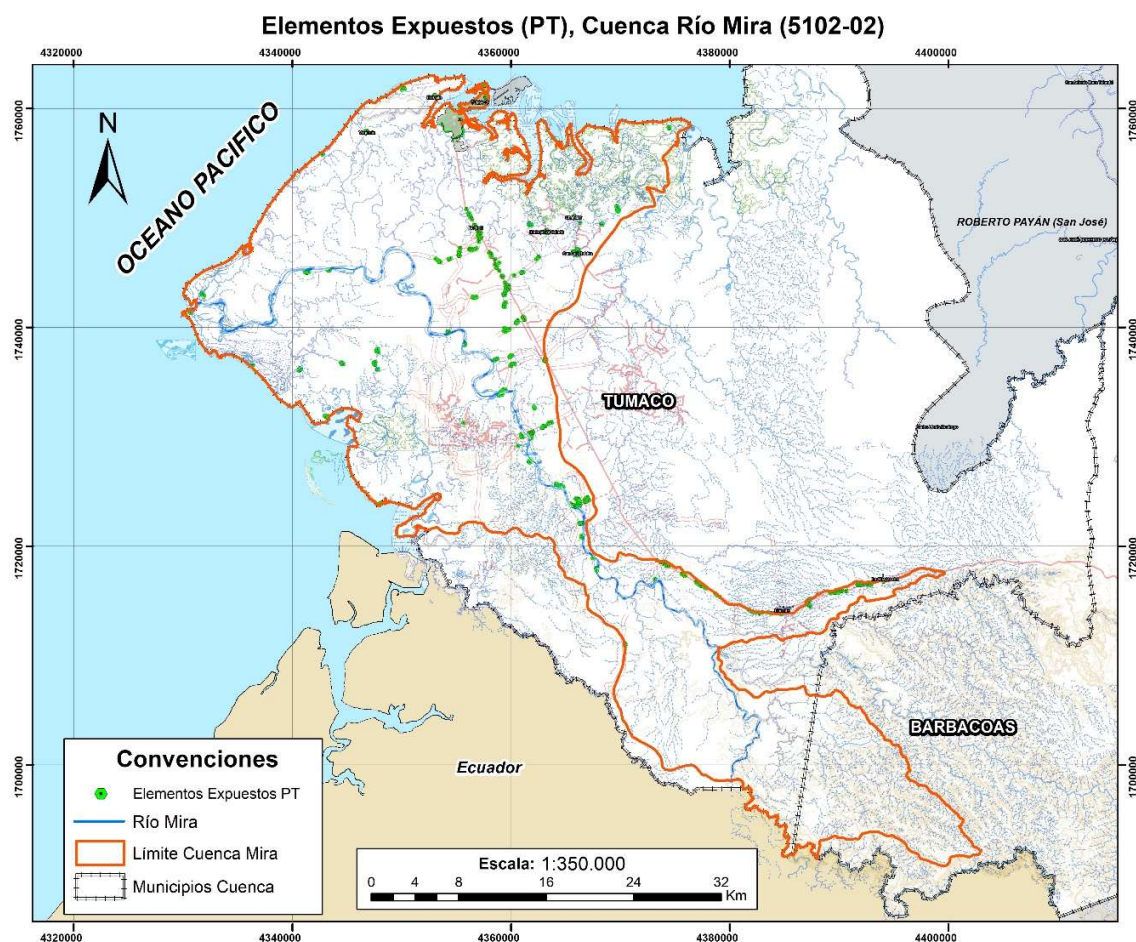


Figura 24. Mapa de elementos expuestos en punto de la cuenca del río Mira
 Fuente: Este estudio.

En este caso, los elementos expuestos bajo el vector de forma punto se encuentran identificados por áreas de valor económico, viviendas y estaciones de servicio (EDS). Este se encuentra totalmente distribuido en la parte media y baja de cuenca del río Mira, sobre el municipio de Tumaco. Estos puntos se encuentran ubicados principalmente sobre el área de influencia de las vías y de los sistemas navegables.

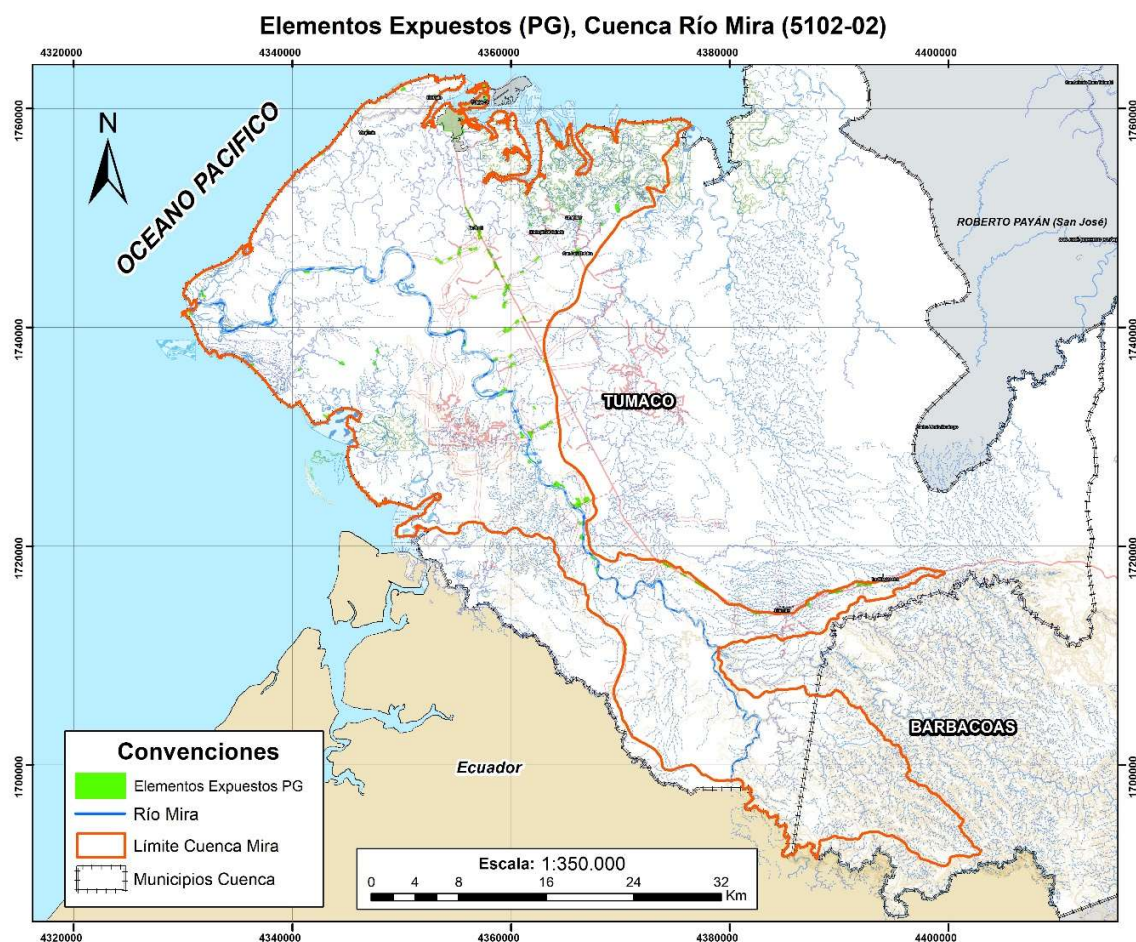


Figura 25. Mapa de elementos expuestos en polígono de la cuenca del río Mira
 Fuente: Este estudio.

Finalmente, los elementos expuestos bajo el vector de forma polígono se encuentran identificados por los centros poblados encontrados. Este se encuentra totalmente distribuido en la parte media y baja de cuenca del río Mira, sobre el municipio de Tumaco. Estos puntos se encuentran ubicados principalmente sobre el área de influencia de las vías y de los sistemas navegables y marítimos.

13 RIESGOS

El análisis de riesgo se entiende como la combinación de las variables de amenaza y la vulnerabilidad de los elementos que se encuentren expuestos. Las amenazas evaluadas incluyen movimientos en masa tipo deslizamiento en zonas de ladera, avenidas torrenciales

en cauces, inundaciones por tratamiento morfométrico e incendios de coberturas vegetales. Por su parte, las condiciones de vulnerabilidad fueron planteadas por la condición intrínseca integral de los elementos potencialmente expuestos.

El cálculo de riesgo en este tipo de análisis suele representarse en la consolación de la amenaza y la vulnerabilidad, ambas planteadas como variables continuas en función de la posibilidad de ocurrencia de los fenómenos naturales y las características del territorio; por lo cual el resultado de la zonificación de riesgo no se imprime directamente por la condición de amenaza por sí misma, sino que se ve modificado sensiblemente por los resultados obtenidos en materia de vulnerabilidad. Así se permite generar, a pesar de las limitaciones obvias de la escala de análisis, resultados de condiciones de riesgo holístico que consideran más variables que las meramente físicas y con las cuales se puede en adelante identificar zonas para priorizar acciones de reducción de riesgo. Tomando la categorización de los niveles de riesgo en el anexo cartográfico se realiza el cálculo del índice de riesgo por cada una de las amenazas dentro de los features encontrados en la Geodatabase entregada anexa a este documento.

En particular para la zonificación espacial de riesgo, al ser las amenazas y la vulnerabilidad variables discretas y en cumplimiento de la estandarización de información para POMCA, se puede agregar al análisis espacial el cruce entre la zonificación de amenazas (por movimientos en masa, inundación, avenidas torrenciales, incendios de coberturas vegetales) y la capa de vulnerabilidad utilizando la metodología de matriz de reconocimiento de riesgo planteada por el Protocolo para la incorporación de la Gestión de Riesgo en POMCAS, la cual se muestra a continuación (Tabla 28).

Tabla 28. Matriz propuesta para la categorización de niveles de riesgo

NIVELES DE AMENAZA	NIVELES DE VULNERABILIDAD (IV)		
	NIVEL 1: ALTA (75% A 100%)	NIVEL 1: MEDIA (30% A 75%)	NIVEL 1: BAJA (<30%)
ALTA	ALTA	ALTA	MEDIA
MEDIA	ALTO	MEDIA	BAJA
BAJA	MEDIA	MEDIA	BAJA

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

Dentro del análisis realizado se priorizó aquellas zonas en donde el nivel de riesgo sea alto; para esta cuenca hidrográfica se desarrollaron modelos bajo escenarios de riesgo asociados a detonantes como lluvia y sismo (para movimientos en masa y avenidas torrenciales). Cabe mencionar que el fenómeno más destacado en esta cuenca son las inundaciones asociadas al margen de río Mira, sobre todo en el municipio de Tumaco. Algunas zonas elevadas de la cuenca alta presentan niveles de riesgo medio a movimientos en masa, en la cuenca media y baja se encontró un riesgo alto a incendios de cobertura

vegetal y en cuanto a avenidas torrenciales los eventos encontrados se distribuyen aguas arriba de los cauces principales de la cuenca sobre el municipio de Barbacoas.

Al realizar la calificación de riesgo se resalta con solo observación que las figuras 26, 27 y 28 correspondientes a los escenarios de movimientos en masa y las figuras 30, 31 y 32 correspondientes a los diferentes escenarios de avenidas torrenciales, serían los eventos que menos nivel de riesgo se encuentra en la cuenca en el relación al nivel de amenaza y vulnerabilidad relacionada.

La figura número 29 indica el nivel de riesgo por inundación, revelando un nivel de riesgo alto y medio en la zona baja de la cuenca sobre el municipio de Tumaco. La relación entre amenaza y vulnerabilidad por este fenómeno se encuentra principalmente a orillas del río Mira, donde se encuentran centros poblados asentados en esta zona. Es preocupante este escenario porque históricamente el río Mira ha sufrido crecientes súbitas en estos sectores causando daños ambientales, económicos y sociales considerables.

Así mismo, el riesgo identificado por incendios de cobertura vegetal se concentra sobre la zona media y baja de la cuenca del río Mira, sobre el municipio de Tumaco, respectivamente. Las superficies con mayor riesgo a este evento se encuentran sobre áreas con cultivos permanentes y transitorios, donde las temperaturas son más altas y la humedad relativa es más baja.

Toda esta información se encuentra consignada en el componente de cartografía como mapas y salidas cartográficas de los porcentajes e indicadores de amenaza y riesgo.

Se debe reconocer que en términos generales la condición de riesgo en toda la cuenca es de categoría baja, con excepciones de áreas expuestas a amenazas altas en la parte media y baja. Aun cuando las condiciones no puedan ser catalogadas como críticas para establecer condicionamientos específicos al uso y aprovechamiento del territorio para la mayoría del mismo, la existencia de amenazas altas en áreas pobladas expuestas llama la atención para que se identifiquen, prioricen y formulen programas y proyectos de conocimiento, reducción y manejo integral del riesgo de las áreas pobladas en amenaza alta en el marco de la ley 1523 de 2012, decreto 1077 del 2015 y decreto 308 de 2016 como ejercicio de implementación de los objetivos del marco de acción de Sendai.

13.1 Riesgo por movimientos en masa

Para este estudio se desarrollaron 3 escenarios de riesgo por movimientos en masa. Para obtener estos resultados se usó primero la amenaza de movimientos en masa con detonante lluvia (Figura 26), un segundo con detonante sismo (Figura 27) y un tercero con la combinación de estos dos detonantes (lluvia y sismo) (Figura 28), además, mediante herramientas SIG se lo traslapó con la vulnerabilidad obtenida a través de los elementos expuestos encontrados en la cuenca del río Mira.

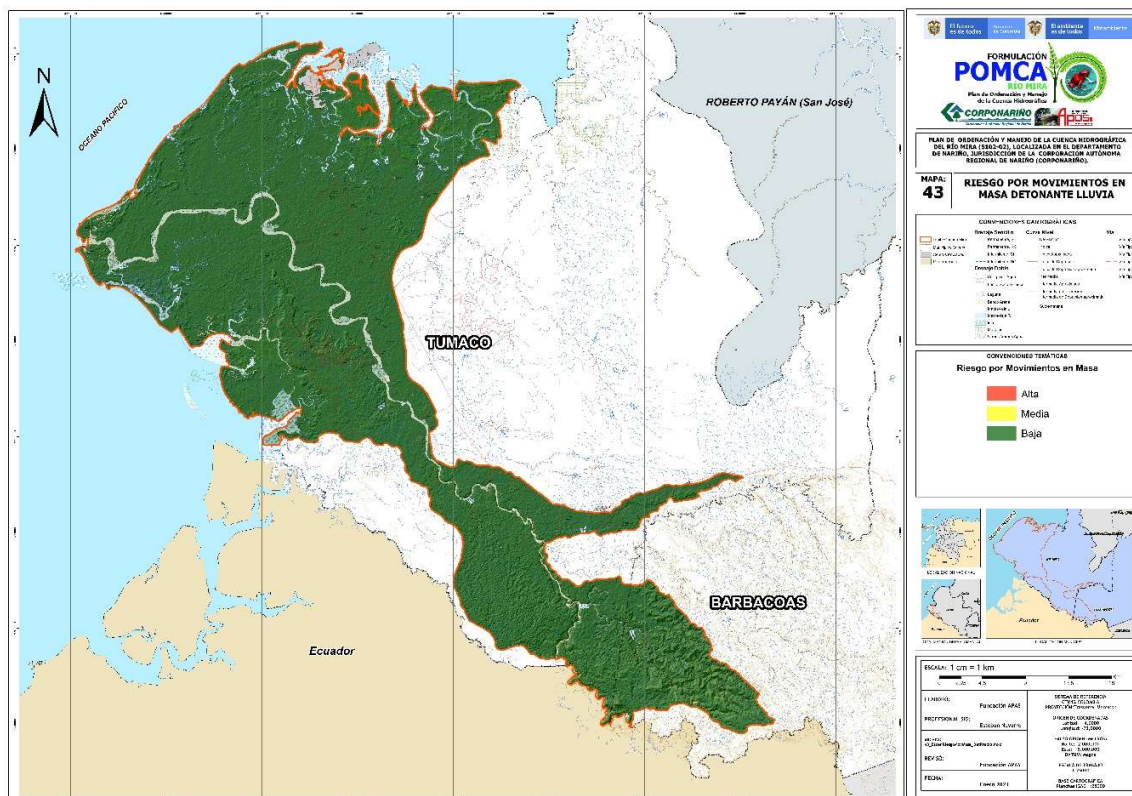


Figura 26. Mapa de riesgo por movimientos en masa con detonante lluvia de la cuenca del río Mira

Fuente: Este estudio.

Tabla 29. Resultados cuantitativos del riesgo por movimientos en masa con detonante lluvia de la cuenca hidrográfica del río Mira

Categoría	Área (ha)	Porcentaje (%)
Alta	0,75	0,00
Media	92,7	0,06
Baja	152095,6	99,94

Fuente: Este estudio.

Como resultado, se obtuvo que el riesgo alto por movimientos en masa con detonante lluvia es imperceptible en la cuenca del río Mira, dado que aunque existe una pequeña amenaza en la parte alta de la cuenca (en el municipio de Barbacoas), la vulnerabilidad es nula. Así mismo, en el caso de la categoría media para este evento, se encontró que 92,7 hectáreas están en este nivel de riesgo, sobre todo en áreas donde se identificaron vías poco transitadas y caminos de a pie.

encuentran ubicadas sobre centros poblados ubicados cerca de la vía principal que conduce al municipio de Tumaco en la parte alta de la cuenca del río Mira. Sin embargo, se resalta nuevamente que el detonante sismo cuenta con información de escala básica que puede distorsionar los resultados finales. Para ello, se insta a las autoridades locales, por medio de la actualización de su instrumento de planificación, en realizar estudios detallados sobre las áreas que se categorizaron con riesgo de amenaza alta por movimientos en masa.

13.2 Riesgo por inundaciones

El resultado del análisis para determinar el riesgo por inundaciones se ubica sobre los cauces de la parte baja de la cuenca, como las zonas de mayor probabilidad a presentar este tipo de eventos. Esto se debe a las características geomorfológicas del terreno, logrando que se presenten con mayor frecuencia los desbordes del río. Gran parte de la zona baja de la cuenca se la determina con riesgo alto a presentar desbordes en el cauce del río, aunque lastimosamente por condiciones sociales y de seguridad, no se pudo corroborar en campo si estas zonas tienen un riesgo alto de inundarse.

Cabe resaltar que para la obtención de estos resultados se combinó la amenaza con la vulnerabilidad de la cuenca. En este caso, se realizó un análisis geomorfológico para la obtención de la amenaza con una filtración de información por medio de las pendientes encontradas en la cuenca. Para ello, se delimitó por medio de buffers las zonas de amenaza baja, media y alta por inundaciones, tal como se indicó en el capítulo específico de esa amenaza en este estudio. La vulnerabilidad usada fue la final obtenida a través del análisis de los elementos expuestos encontrados en el municipio de Barbacoas y Tumaco.

Es importante mencionar que la discriminación mencionada se realizó a través de herramienta SIG con el fin de disminuir los errores técnicos cuando se combinan los modelos. Para ello, se sugiere revisar la cartografía entregada a este informe para observar detalladamente cuáles son las áreas con riesgo alto, medio y bajo y cuáles son los centros poblados que mayormente están afectados por este fenómeno.

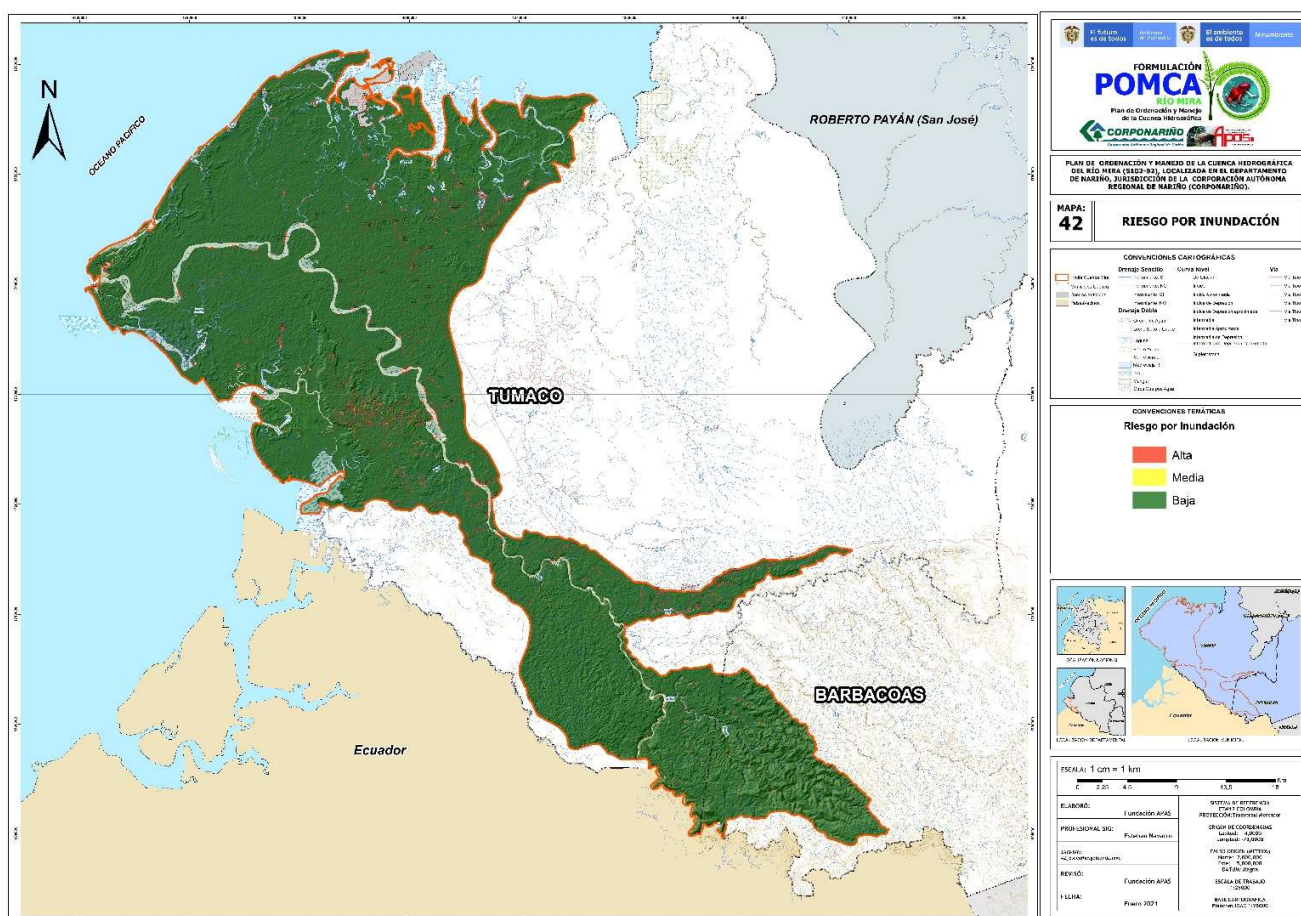


Figura 29. Mapa de riesgo por inundación de la cuenca del río Mira
 Fuente: Este estudio.

Tabla 32. Resultados cuantitativos del riesgo por inundación de la cuenca hidrográfica del río Mira

Categoría	Área (ha)	Porcentaje (%)
Alta	2180,8	1,43
Media	187,3	0,12
Baja	149820,9	98,44

Fuente: Este estudio.

El riesgo alto por inundaciones en la cuenca del río Mira equivale a 2180,8 hectáreas (1,43%) del área total de la cuenca. Si bien, su porcentaje de incidencia no es muy significativo, no quiere decir que no se lo debe tener en consideración, puesto que los centros poblados del municipio de Tumaco (donde se ubica este nivel de riesgo) como los caseríos de Alto de San Isidro, Bajo Jagua, Guachal, Vigoral, La Vega, Imbilí, Candelilla, Palmar Santa Helena, La Fortuna, Vaquería, San Vicente, San Antonio, Tumaco, Chapillar,



Fase de Diagnóstico

POMCA Mira

Inguapí El Guadual, Terán, Milagro Frontera, El Chontal, Santo Domingo, entre otros caseríos que lastimosamente están generalizados e identificados por el IGAC como Comunidad Negra Bajo Mira y Frontera, se encuentran bajo un riesgo alto e inminente de ser afectados por inundaciones. Para mejorar la precisión de estos resultados es pertinente una pronta actualización de los instrumentos de ordenamiento territorial, sobre todo del municipio de Tumaco porque se encuentran áreas significativas bajo este nivel de riesgo.

13.3 Riesgo por avenidas torrenciales

El resultado del análisis para determinar el riesgo por avenidas torrenciales establece que los cauces de la parte alta son las zonas de mayor probabilidad a presentar este tipo de eventos, causado principalmente por las pendientes y el estado de meteorización de la roca, donde se presentan los deslizamientos de tipo traslacional, rotacional y reptación, siendo los que aportan materiales de arrastre ante una crecida súbita. Estos drenajes de la parte alta de la cuenca del río Mira se los clasifica como zonas de riesgo alto por avenidas torrenciales.

Es importante mencionar que, igual que lo resultados de riesgo por movimientos en masa, se logró mapear tres escenarios de riesgo, cada uno con diferente detonante. Por ejemplo, la figura 30 indica los resultados de riesgo por avenidas torrenciales con detonante lluvia, la figura 31 con detonante sismo y la figura 32 con la combianción de ambos detonantes (lluvia y sismo).

Pero el caso de los tres escenarios, los resultados para el riesgo de nivel alto y medio son casi indiferentes, puesto que esta cuenta no presenta características para que se detonen con facilidad eventos por avenidas torrenciales; estos resultados se presentan sobre todo porque la pendiente de la cuenca, en promedio, es plana.

Para explicar mejor el porqué esta cuenca presenta niveles mínimos de riesgo por avenidas torrenciales se debe comprender que los factores o variables para que se detone un evento de estas características son principalmente la pendiente y el asocio de esta a los cauces de las quebras y/o ríos que se encuentren en la zona. Además, al combinar la amenaza encontrada con la vulnerabilidad se halló que no hay interacción por más que la amenaza se categorice con un nivel alto.

Finalmente, para mejorar los resultados se sugiere realizar estudios de riesgo por avenidas torrenciales a escala detallada (1:2000) en las áreas donde se categorice un nivel alto de riesgo. Esta información alimentaría las capacidades institucionales en cuanto al conocimiento del riesgo a través de la actualización del instrumento de planificación, en este caso del municipio de Barbacoas.

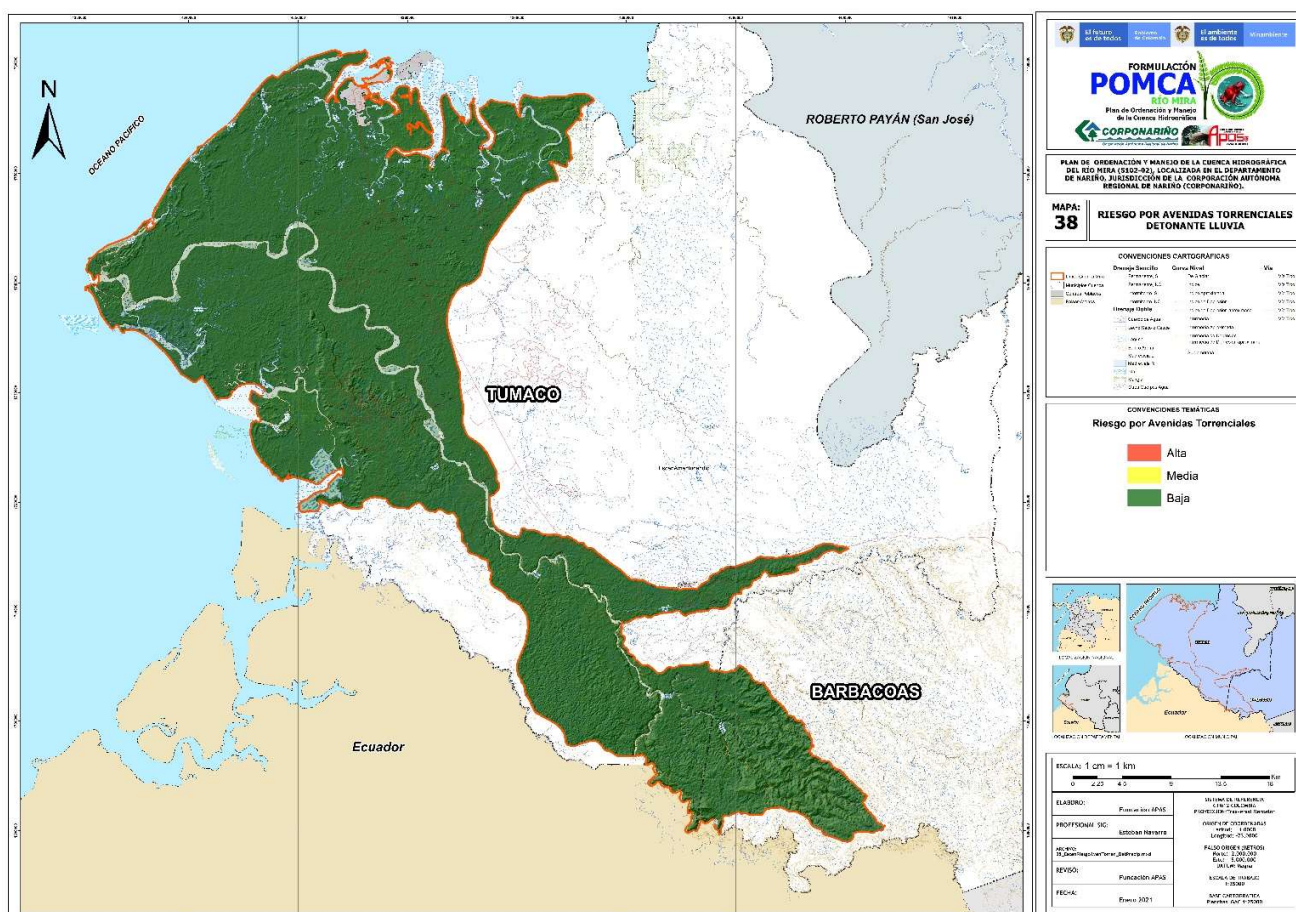


Figura 30. Mapa de riesgo por avenidas torrenciales con detonante lluvia en la cuenca del río Mira
 Fuente: Este estudio.

Tabla 33. Resultados cuantitativos del riesgo por avenidas torrenciales con detonante lluvia de la cuenca hidrográfica del río Mira

Categoría	Área (ha)	Porcentaje (%)
Alta	0,25	0,00016
Media	0,0625	0,00004
Baja	152188,788	99,9

Fuente: Este estudio.

El riesgo de avenidas torrenciales con detonante lluvia en la cuenca del río Mira indica (según la tabla 33) que la categoría baja se encuentra presente en más del 99% de la cuenca. Esto resulta principalmente por sus características geomorfológicas.

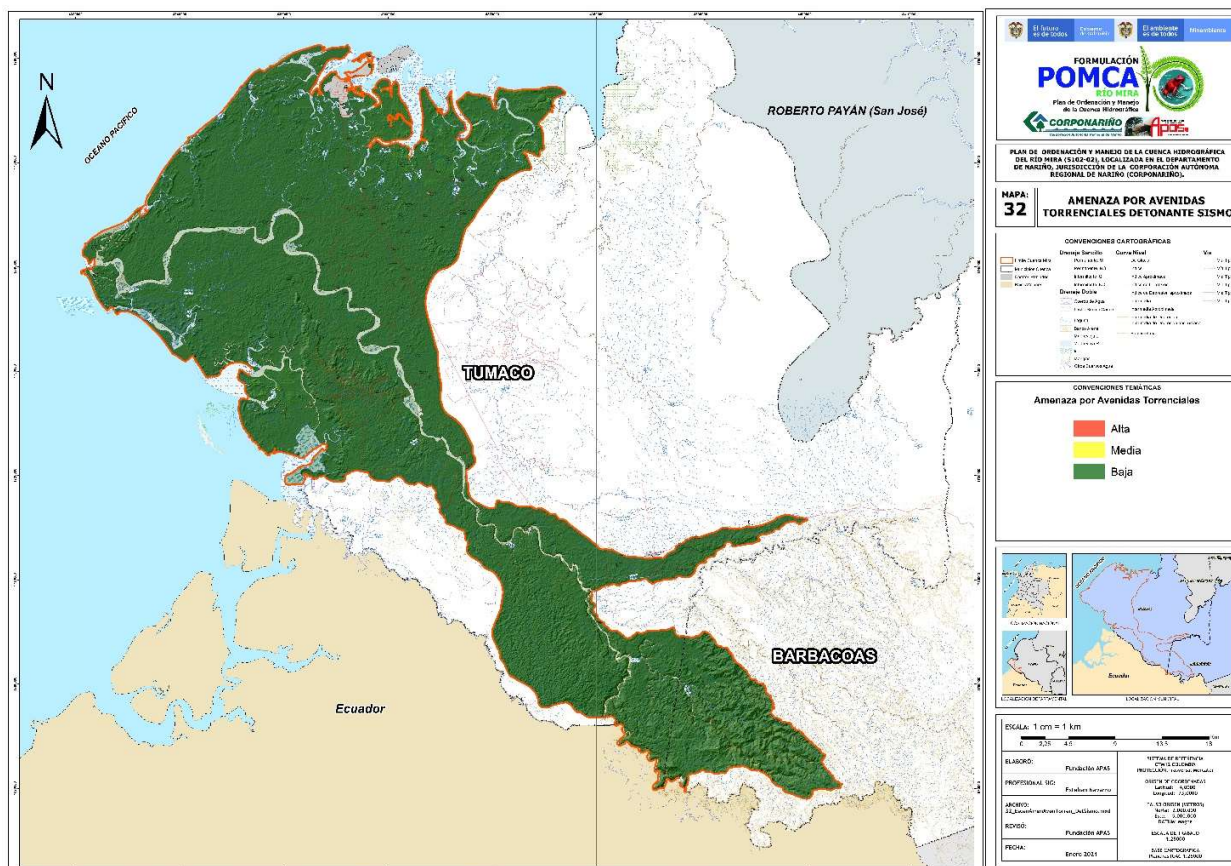


Figura 31. Mapa de riesgo por avenidas torrenciales con detonante sismo en la cuenca del río Mira
 Fuente: Este estudio.

Tabla 34. Resultados cuantitativos del riesgo por avenidas torrenciales con detonante sismo de la cuenca hidrográfica del río Mira

Categoría	Área (ha)	Porcentaje (%)
Alta	0,39	0,00026
Media	0,11	0,00007
Baja	152188,6	99,99964

Fuente: Este estudio.

El riesgo de avenidas torrenciales con detonante sismo en la cuenca del río Mira es un 99.9% bajo. Esto se presenta porque la geomorfología de la cuenca contribuye a que el desarrollo de deslizamientos asociados a los cauces sea casi nulo.

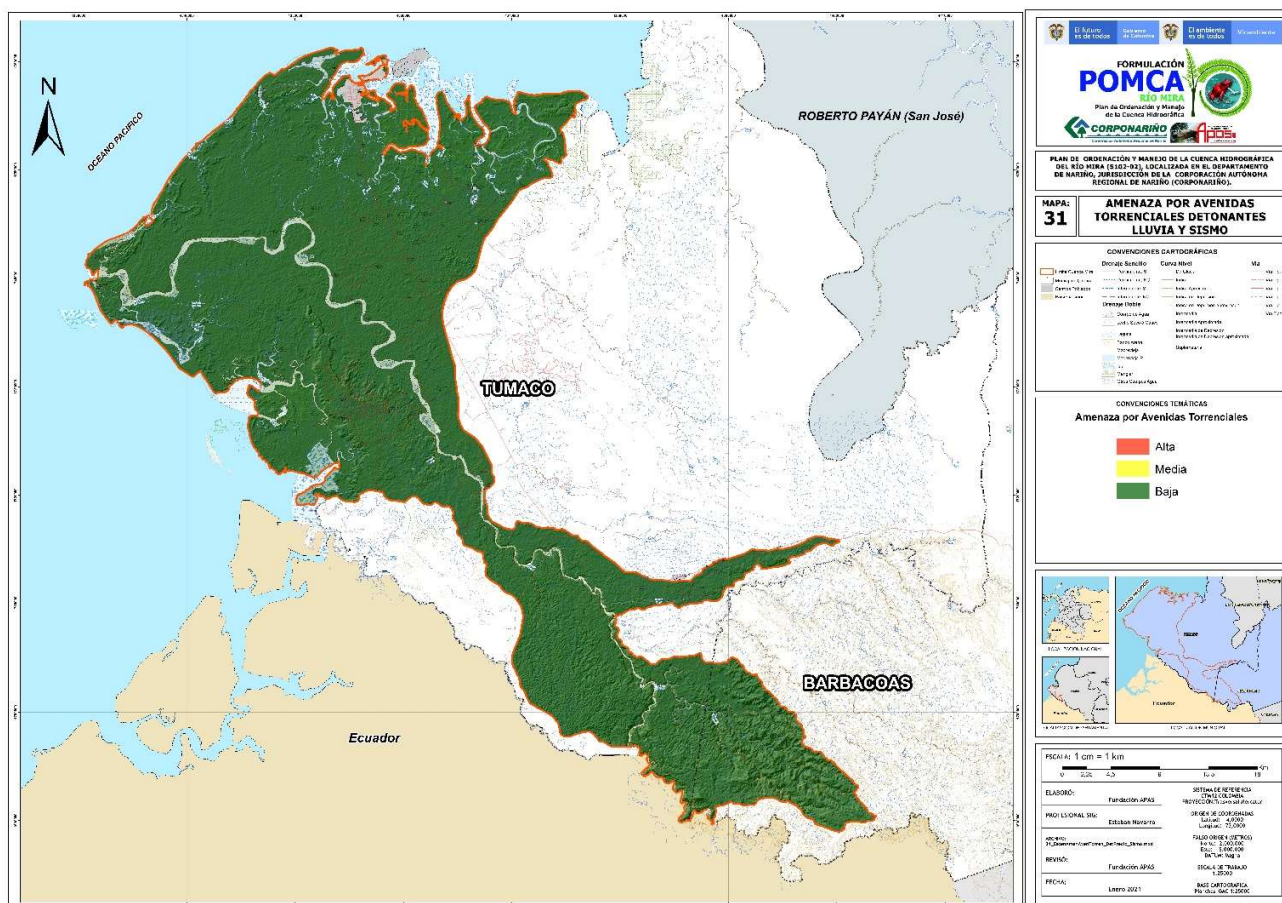


Figura 32. Mapa de riesgo por avenidas torrenciales con doble detonante (lluvia y sismo) en la cuenca del río Mira

Fuente: Este estudio.

Tabla 35. Resultados cuantitativos del riesgo por avenidas torrenciales con doble detonante (lluvia y sismo) de la cuenca hidrográfica del río Mira

Categoría	Área (ha)	Porcentaje (%)
Alta	0,21	0,00014
Media	0,32	0,00021
Baja	152188,6	99,99964

Fuente: Este estudio.

La combinación de los dos detonantes más la vulnerabilidad encontrada en la cuenca del río Mira sigue siendo indiferente a riesgos medios o altos que requieran un mayor análisis. Bajo este escenario se destaca un 99.9% del área de la cuenca con riesgo bajo.

13.4 Riesgo por incendios de cobertura del vegetal

El resultado del análisis para determinar el riesgo por incendios de cobertura vegetal, establece que las coberturas de pastos y la vegetación intervenida como cultivos y bosques fragmentados, son las zonas de mayor probabilidad a presentar este tipo de eventos; el uso del suelo y la expansión de la frontera agrícola, son acciones que debilitan las condiciones naturales del bosque, razón por la cual, se encuentran con mayor riesgo de detonarse incendios y afectar a la población.

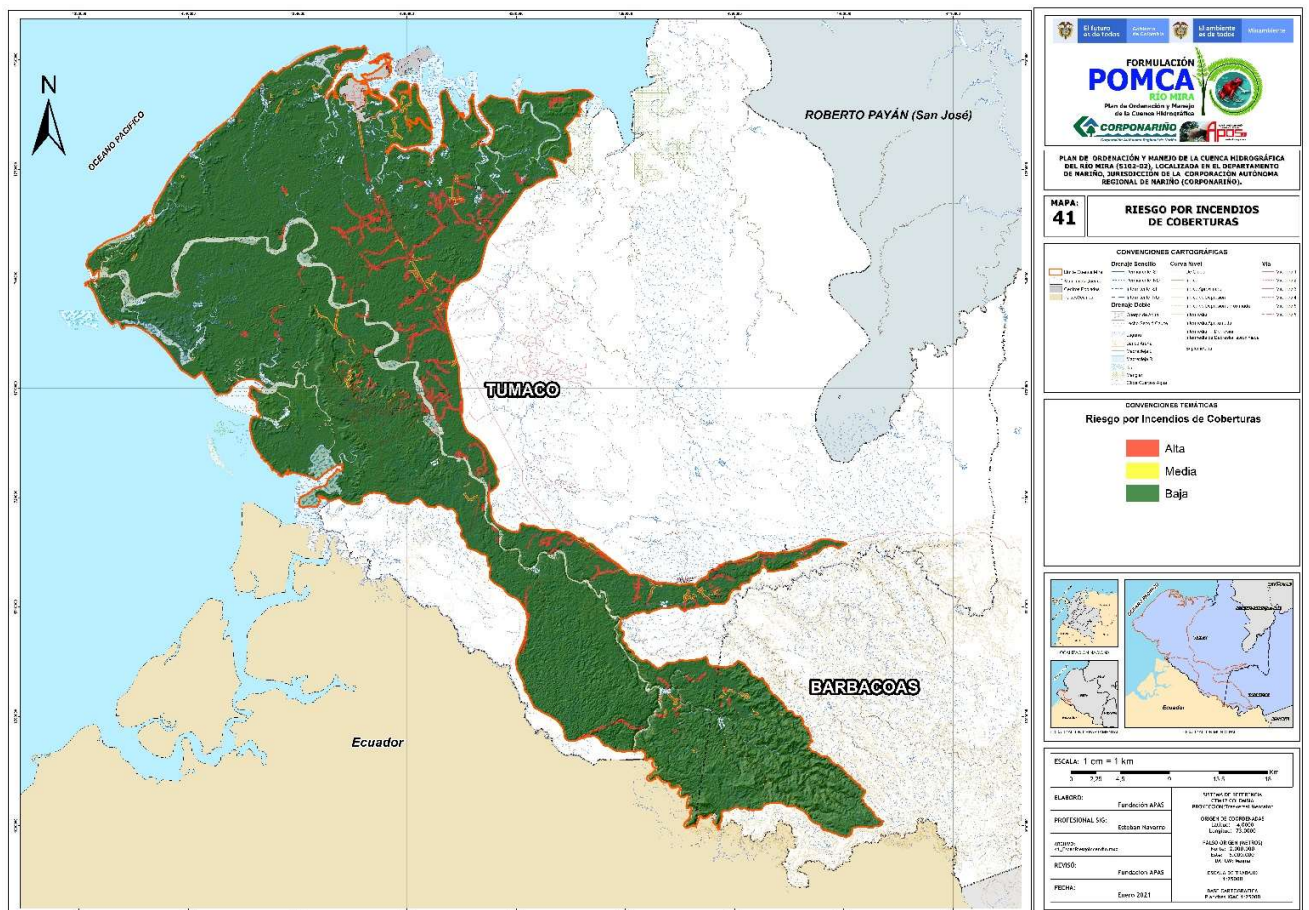


Figura 33. Mapa de riesgo por incendios de cobertura vegetal en la cuenca del río Mira
 Fuente: Este estudio.

Tabla 36. Resultados cuantitativos del riesgo por incendios de cobertura vegetal de la cuenca hidrográfica del río Mira

Categoría	Área (ha)	Porcentaje (%)
Alta	6843,7	4,49684
Media	881,6	0,57928
Baja	144463,7	94,92378

Fuente: Este estudio.

En este caso, el riesgo por incendios de cobertura vegetal es altamente significativo sobre el área media de la cuenca del río Mira. Como el riesgo es la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad, en el área media (municipio de Tumaco) se encuentran elementos expuestos de alto valor para la región, como son vías y centros poblados. En este caso, hay que prestarle sensible atención a las 6843, 7 hectáreas que se encuentran en riesgo alto y, para mejorar el detalle del riesgo medio (881,6 hectáreas), se sugiere hacer estudios detallados alimentados de información social, económica y ambiental más precisa, sobre todo en el municipio de Tumaco.

14 OTROS EVENTOS AMENAZANTES

14.1 Tsunami

En este capítulo se encontrará una recopilación de la información secundaria encontrada de estudios desarrollados sobre la caracterización de tsunami en la costa de Tumaco. Específicamente, la información que se suministra en este apartado se toma del informe final del Convenio especial de cooperación para el desarrollo de actividades científicas y tecnológicas a suscribirse entre el Ministerio de Defensa Nacional - Dirección General Marítima y Fondo Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres - Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, a través del proyecto denominado: "Evaluación de la amenaza por tsunami de origen cercano al que se encuentran expuestos los municipios de Tumaco y Buenaventura" en el año 2014. Este informe detalla valiosa información, sin embargo, se tomó como relevante para adherirlo a este documento la sección de "Determinación del escenario de amenaza más desfavorable" únicamente para Tumaco.

Este estudio se llevó a cabo con el fin de dar cumplimiento al convenio especial de cooperación para el desarrollo de actividades científicas y tecnológicas a suscribirse entre el Ministerio de Defensa Nacional - Dirección General Marítima y Fondo Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres - Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, se realizó el estudio de investigación para evaluar la amenaza por tsunami de origen cercano en los municipios de Tumaco en el departamento de Nariño y Buenaventura en el departamento del Valle del Cauca, como también en los cascos urbanos de las poblaciones de Curay y Salahonda en Nariño; y Juanchaco en el Valle del Cauca. La metodología para el desarrollo del proyecto se basó en la aplicación de las aproximaciones deterministas y



Fase de Diagnóstico

POMCA Mira

probabilistas para evaluar la peligrosidad por tsunami en las zonas costeras, como resultado se obtuvieron los tiempos de llegada de las olas de tsunami y las áreas de inundación en las zonas bajo estudio, con lo cual se generó cartografía temática de inundación por tsunami de acuerdo con el anexo técnico documento integral del convenio. La amenaza o peligrosidad debido a tsunamis de origen cercano para las zonas de interés es alta, presentando en algunos casos inundación del 100% en los cascos urbanos, con niveles que superan los 3m de lámina de agua inundante en poblaciones como Tumaco.

DETERMINACIÓN DEL ESCENARIO DE AMENAZA MÁS DESFAVORABLE

Para la determinación del escenario de amenaza más desfavorable en las poblaciones bajo estudio se ejecutaron un conjunto de simulaciones de Tsunami de origen cercano, en donde se combinaron condiciones de marea de referencia, magnitudes del sismo precursor, dislocación y epicentros. Los resultados de las simulaciones permitieron definir por medio de un análisis de probabilidad conjunta, la peor condición de amenaza, que, junto con el análisis de vulnerabilidad física, permitieron determinar el escenario más desfavorable en caso de tsunami de origen cercano para Tumaco.

Peor Condición de Amenaza

La determinación de la peor condición de amenaza en caso de un tsunami de origen cercano para las poblaciones bajo estudio en el Pacífico Colombiano, parte del análisis sistemático o probabilidad conjunta de los resultados de los casos de simulación, con base en los siguientes criterios de evaluación. Máximo desplazamiento de la superficie libre que describe las alturas Máximas del tren de ondas de tsunami que llegan a las poblaciones, Máximo runup y niveles de inundación que permiten calcular las porciones de área inundada en las poblaciones, Tiempo de arribo del tren de ondas descrito por las señales sintéticas o mareogramas, y Comportamiento del tren de ondas al llegar a las zonas costeras de las poblaciones de interés.

Se analizaron 990 casos de simulación, los cuales se obtuvieron a partir de la aplicación de los métodos determinista y probabilista, el primer método permitió definir los casos extremos para las tres fuentes de tsunami establecidas en este estudio para el Pacífico colombiano, el segundo método parte de los escenarios extremos y a través de la técnica de análisis probabilístico de la amenaza por tsunami (PTHA sigla en inglés) permitió obtener escenarios de tsunami, con diferentes magnitudes, epicentros, dislocación, y niveles de marea. De esta manera el escenario extremo denominado E1, con magnitud de momento $M_w=8.8$ y en estado de marea alta, se define como el que presenta la peor condición de amenaza en todas las poblaciones de estudio.

Tumaco



Fase de Diagnóstico

POMCA Mira

Máximo de desplazamiento de la superficie libre de 3 m para Tumaco, mayor proporción de áreas inundadas, menores tiempos de arribo del primer tren de ondas aproximadamente 26 minutos para Tumaco, medido desde el origen del evento de tsunami (epicentro) hasta el punto de referencia en la entrada de la bahía, complejo comportamiento del tren de ondas al llegar a las zonas costeras, teniendo en cuenta la propagación en la zona de rompiente y el ángulo de impacto del frente de onda.

Análisis de Vulnerabilidad Física

Vulnerabilidad hace referencia a la susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad, de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. (Ley 1523 de 2012). La amenaza de tsunami en el Pacífico colombiano, es una constante por encontrarse ubicado geográficamente frente a la zona de convergen las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana, lo cual ocasiona que se presenten una gran cantidad de sismos potencialmente generadores de tsunami. La amenaza de tsunami toma fuerza en los asentamientos del litoral Pacífico Colombiano, debido a que estos se encuentran en constante crecimiento y tienden a extenderse a zonas próximas al mar. Sumado a esto, el proceso de urbanización no es concebido bajo políticas de planificación del territorio, que tengan en cuenta las amenazas naturales como antrópicas.

Las características de las poblaciones ubicadas sobre el litoral Pacífico colombiano, en un gran porcentaje son invasiones sobre terrenos de Bajamar los que se conocen como viviendas palafíticas, estas son viviendas construidas con estructuras y cimientos de baja calidad y con una alta densidad poblacional, lo cual se convierten en factores que aumentan las posibilidades de sufrir daños y pérdida de vidas humanas ante un evento de tsunami.

Otro factor que eleva el grado de vulnerabilidad ante un potencial tsunami, es la geomorfología que presentan las zonas en donde están ubicadas estas poblaciones, en su gran mayoría son planicies costeras, salvo algunos casos que presentan acantilados. Estas geoformas por ser relativamente planas son más vulnerables, porque ante un tsunami permite libre entrada de la ola lo cual hace que se presente una mayor inundación y por consiguiente un mayor daño.

Adicionalmente, existe una vulnerabilidad social cada vez más progresiva, debido al aumento de población y las condiciones de vida, desencadenando una vulnerabilidad física; relacionada con la falta de mantenimiento de los elementos que hacen parte de las poblaciones (viviendas, sistemas urbanos, líneas vitales). En la zona del litoral Pacífico, el 55% de las viviendas tienen como material predominante de las paredes el bloque o ladrillo, sin embargo, se encuentra una participación importante de viviendas (45%) construidas con materiales más sensibles a los efectos de la inundación a corto y largo plazo. Tumaco se

encuentra dentro de los sectores que presentan mayor vulnerabilidad estructural y funcional en el litoral Pacífico en cuanto a población expuesta a algún tipo de amenaza por inundación (IDEAM, 2001).

La vulnerabilidad física de las áreas de este estudio se evaluó a partir de la determinación del grado de exposición y tipo de estructura de viviendas, frente a inundación. De igual manera se manifiesta que la metodología para el análisis de la vulnerabilidad física de las poblaciones es de manera cualitativa, es decir sin llegar al grado de detalle de evaluación de las estructuras. Uno de los criterios manejados para llegar a este análisis de vulnerabilidad es observar el grado de exposición de los elementos, a partir de su localización en áreas de menor o mayor amenaza, construidos a partir de insumos geográficos con los que cuenta en el CCCP, tales como:

- Ortofotos (2006)
- Datos LiDAR (2006)
- Fotografía antiguas suministradas por IGAC.
- Capa Geográfica de la Línea de Mas Alta Marea.
- Capa Geográfica de terrenos Bajamares Actuales.
- Capa Geográfica de terrenos Bajamares históricos.
- Modelo Digital de Altura de Terreno.

De igual forma se recopiló información secundaria de diferentes instituciones a nivel local y nacional.

- Plan de Ordenamiento Territorial de Tumaco. (Alcaldía de Tumaco 2008-2019)
- Plan de Desarrollo Buenaventura. (Alcaldía Buenaventura 2012-2015)
- Toponimia San Andrés de Tumaco – Buenaventura (IGAC 1988)
- Ley 1523 de 2012 –(UNGRD)

Con base en los insumos geográficos (capas) anteriormente nombrados, se trazó a una escala de digitalización 1:600 las zonas con mayor grado de exposición y tipo de estructura de viviendas palafíticas en Tumaco. Logrando establecer que las estructuras ubicadas sobre las zonas de bajamar (zonas con mayor grado de exposición) y de tipo vivienda en palafito presentan mayor vulnerabilidad física.

Tumaco

- Sector A: al sobreponer viviendas palafíticas vs zona de mayor exposición, se logró identificar que en este sector existe vulnerabilidad física en algunos lugares que limitan con esteros.
- Sector B: se logró identificar, alto grado de vulnerabilidad física ya que en el sector existen construcción de viviendas tipo palafíticas sobre terrenos de mayor exposición, de igual forma se logró identificar mayor cantidad de construcciones tipo palafíticas con respecto a otros sectores.

- Sector C: cabe resaltar que este sector se encuentra ya en la parte continental a diferencia de los anteriores, más sin embargo todavía existe presencia de construcciones tipo palafíticas en terrenos de bajamar, los cuales en este caso se encuentra en límite con esteros.
- Sector D: existe presencia de zonas de mayor exposición, pero después de una fotointerpretación no se identifica viviendas de tipo palafíticas y de ninguna otra clase, por ende, se concluye que la vulnerabilidad física es menor con respecto a otros sectores.

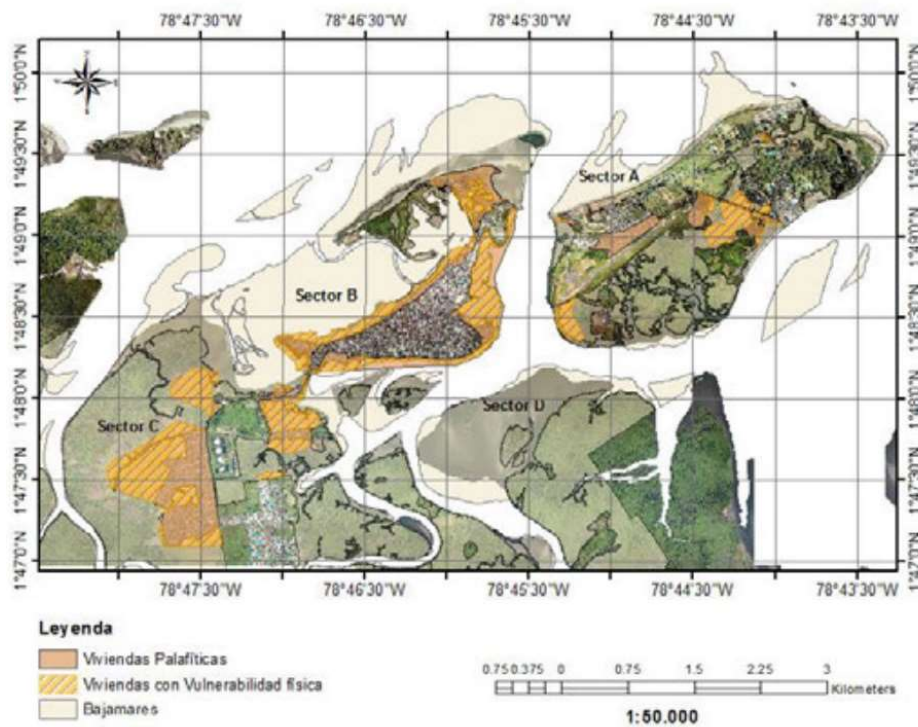


Figura 34. Definición zonas de mayor vulnerabilidad física en Tumaco.
 Fuente: Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico, 2014.

Escenario de amenaza más desfavorable

Las figuras 34 y 35 presentan la sobre posición de la peor condición de amenaza, con las zonas de mayor vulnerabilidad física en Tumaco. Se puede observar que las zonas con mayor inundación presentan la mayor vulnerabilidad física, esto pone de manifiesto que el escenario más desfavorable para las poblaciones bajo estudio, es un evento de tsunami en la Zona de Subducción (origen cercano) producido por un sismo con características del escenario extremo E1 que se presentase en estado de marea alta.

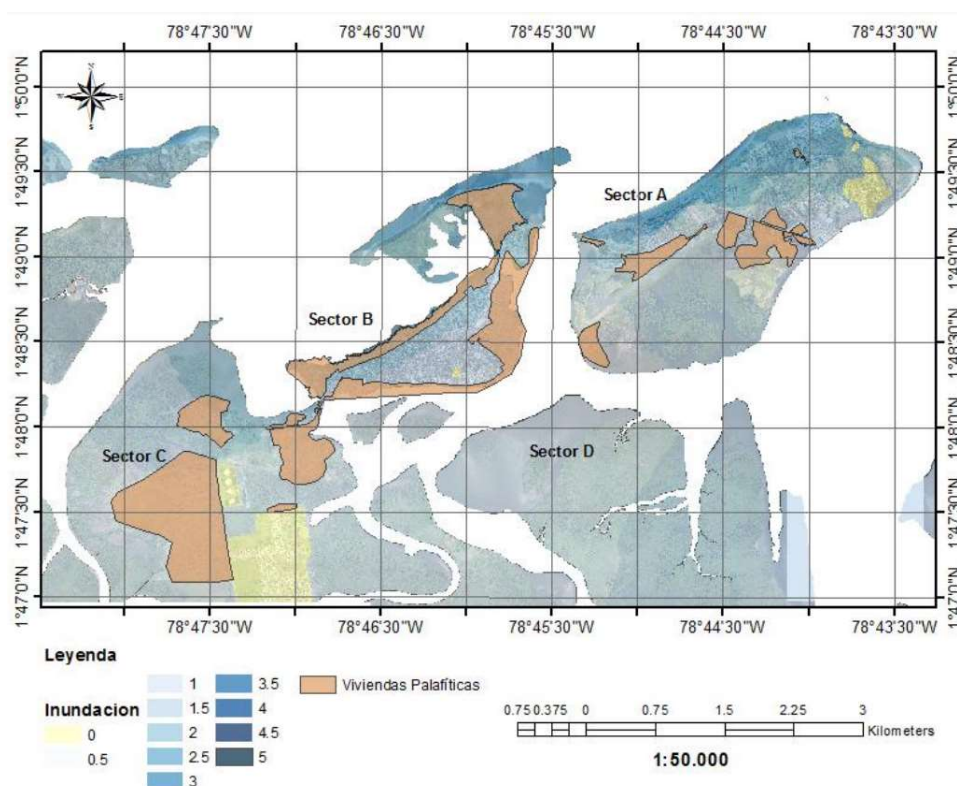


Figura 35. Superposición condición de peor amenaza Vs zonas de mayor vulnerabilidad física para Tumaco.

Fuente: Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico, 2014.

14.2 Erosión costera y sedimentación

La erosión se define como aquel desplazamiento de terreno debido a la acción de la lluvia, el viento, la gravedad, el agua en movimiento o las actividades humanas, mientras que los procesos de sedimentación hacen referencia a acumulaciones de material a través de arrastre en coacción con la topografía y el sistema de drenaje. Ambos procesos se encuentran presentes en la bahía de Tumaco y son producto de condiciones hidrometeorológicas que con el tiempo generan alteraciones en la línea de costa, destrucción de infraestructura y edificaciones ubicadas en el área erosionada, bloqueo de ríos, con posibilidad de represamiento e inundación, entre otros sucesos que marcan la morfología de la franja litoral y en algunos casos generan amenaza a la población que habita en la zonas costera (INVEMAR, 2009).

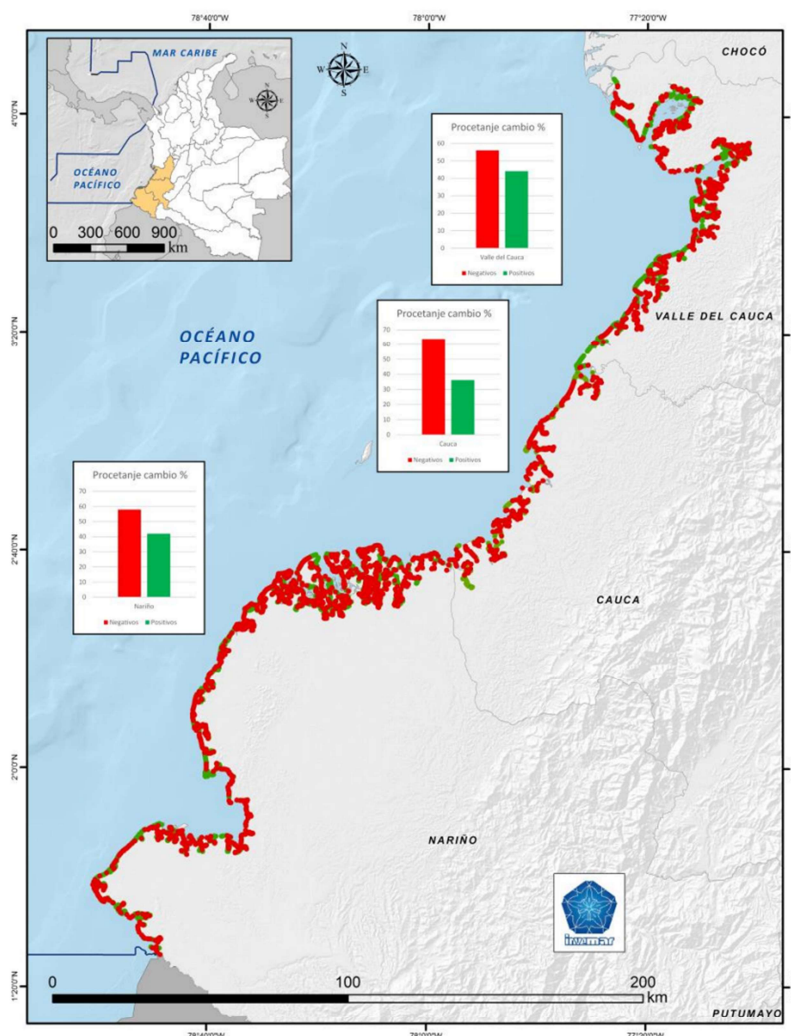


Figura 36. Erosión costera en el Pacífico colombiano
 Fuente: INVEMAR, 2017.

14.3 Otras amenazas

En cuanto a otras amenazas presentes en la cuenca del río Mira, se incorporó a este documento lo recopilado en el "Informe final de la ODS 17" presentado en el marco de la Gestión del Riesgo de Desastres en la Sede Tumaco de la Universidad Nacional de Colombia, encontrando:

Los riesgos antropicos son ocasionados por el hombre y al contrario de los riesgos naturales, pueden prevenirse o evitarse. Dentro de la clasificación desarrollada y publicada por CEPREVÉ en el año 1999 incluye, dentro de los factores de riesgo, aquellos

relacionados con factores antrópicos los cuales universalmente clasifica en cinco grupos a saber

- Ambientales
- Tecnológicos
- Bio-sanitarios
- Socio-organizativos

Todos ellos han mostrado manifestaciones de impacto en el municipio y en su zona de influencia, algunos de los cuales están amplificados y analizados dentro de los más importantes factores de riesgo que se presentan en Tumaco.

Amenazas Ambientales y Tecnológicas

Contaminación

De acuerdo con el grupo GESAMP (Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection) los principales problemas de contaminación en los mares son:

- Materia orgánica y nutrientes: ocasional eutroficación y explosiones algales que además reciben una carga adicional por el empleo de productos agrícolas.
- Contaminación microbiana: genera problemas de salud en la población principalmente gastrointestinales (cólera y hepatitis infecciosa) por consumo de alimentos contaminados.
- Residuos sólidos (basura): este tipo de desechos son expulsados a las aguas tanto por embarcaciones como por los habitantes en tierra.
- Elementos químicos, como metales pesados, en grandes concentraciones: este tipo de residuos provienen de diversas actividades como la minería, la industria, la agricultura, el transporte con efectos a largo plazo. Principalmente ocasionan problemas en el sistema endocrino y además genéticos (malformaciones, problemas reproductivos, etc.)
- Componentes orgánicos sintéticos en los sedimentos y predadores.
- Residuos oleosos, especialmente los provenientes de derrames de petróleo: ocasionan problemas a corto y largo plazo. En el corto plazo se observa la muerte de la fauna marina cuya recuperación es bastante lenta. Con el tiempo algunos desechos se solubilizan y otros se oxidan creando bolas de alquitrán que producen problemas cancerígenos y otro tipo de problemas en salud.

Tumaco tiene graves problemas de infraestructura ya que la poca que posee no es adecuada para las actividades que desarrolla. La falta de planes de contingencia ha desencadenado un gran problema de contaminación en esta bahía en la que se vierten tres tipos de desechos (industriales, domésticos y de actividad portuaria). Aunque todas estas fuentes de contaminación provocan daños en el ecosistema de la región, como se ha analizado anteriormente, es de resaltar que aquella ocasionada a causa del vertimiento de



Fase de Diagnóstico

POMCA Mira

productos como el petróleo y sus derivados tiene una gran incidencia en los riesgos que se están analizando.

Un claro ejemplo de contaminación ocasionada por vertimiento de petróleo es el derrame en Esmeraldas, que sucedió en junio 1998 en Ecuador, por ruptura de un ducto que transportaba el petróleo, liberando 12.000 barriles de crudo, afectando las costas ecuatorianas y la Bahía de Tumaco. Además de los atentados contra el OTA sobre las cuencas del río Güiza – Alto Mira y cuenca del río Mira que ocasionan daños irreparables en la biota de la región y en los sistemas acuíferos.

Otro de los factores de riesgo que se encuentran en Tumaco es la explotación de la madera realizada de manera irracional que como consecuencia ha generado la desaparición de especies nativas y, por lo tanto, una alteración del ecosistema. Es importante destacar la necesidad urgente de la intervención estatal (en lo legal y cultural) con el fin de vincular a la población en tareas que propendan por la reducción de este tipo de actividades.

Otro punto importante que se debe tener en cuenta es la escasa calidad sanitaria de las aguas del sector a lo que debe sumarse la ausencia de un sistema de acueducto y alcantarillado que se evidencia en la precaria calidad química y sanitaria de las aguas marinas y costeras del sector, a más de la ausencia de un adecuado alcantarillado para aguas lluvias. Preocupa especialmente el alto contenido de Mercurio encontrado en diversas investigaciones de la pesca marina del sector, situación atribuible a la explotación minera en las riberas de los ríos que confluyen en el litoral pacífico. En la Bahía de Tumaco se han encontrado problemas de salud relacionados con: hidrocarburos, plaguicidas, organoclorados, contaminación microbiológica, en particular por residuos fecales y el antes mencionado por cianuro y/o metales pesados

Tanto la ciudadanía como funcionarios de la Unidad de Control de Vectores del Instituto Departamental de Salud de Nariño denunciaron la presencia de residuos hospitalarios en diferentes sectores de la bahía y muy cerca de la desembocadura del río Mira.

Amenazas Socio-organizativas

El conflicto armado

La situación de confrontación en otros Departamentos, y el incremento de la presencia de grupos al margen de la ley con enfrentamientos por algunas tierras de propiedad colectiva en las que se realizan cultivos agroindustriales (palma aceitera y caucho), cultivos de coca y de amapola, se ha traducido en intimidaciones a los pobladores de las zonas ocasionando el desplazamiento de éstos hacia otras zonas del Pacífico colombiano, como por ejemplo, hacia el Departamento de Nariño y específicamente al municipio de Tumaco.

Desde inicios del año 2000, Nariño se convierte en receptor y expulsor de desplazamiento forzado, con incrementos significativos en los años 2002, y entre 2005 y 2007, presentándose como un nuevo hecho en este último periodo el desplazamiento entre municipios y veredas del Departamento.



Fase de Diagnóstico

POMCA Mira

Los principales sitios de recepción de población desplazada son Pasto y las cabeceras municipales de las zonas donde el conflicto es más intenso, como a más de Tumaco, El Charco, Barbacoas, Samaniego, Taminango, Ricaurte y Policarpa.

Dinámica de la confrontación y el desplazamiento forzado

En relación con el fenómeno del desplazamiento, Nariño es uno de los departamentos más afectados por los desplazamientos tanto masivos como por goteo.

De las 286.389 personas desplazadas en año 2009 en toda Colombia, el 9% de las mismas (25.772 personas) llegaron a Nariño.

Según la Oficina en Washington para Asuntos Latinoamericanos – WOLA, Tumaco es el Municipio número uno, de los 1103 que tiene el país, con mayor área sembrada de coca que, junto a una de las tasas de homicidios más alta del país y una fuerte presencia de grupos guerrilleros y paramilitares, generan una violenta consolidación del narcotráfico en el municipio y la región y un masivo y progresivo desplazamiento de comunidades campesinas víctimas inocentes de ese corrupto conflicto.

La mayoría de estas acciones han resultado en graves fenómenos de desplazamientos en los diferentes municipios.

Actualmente, la confrontación armada entre grupos armados legales e ilegales está generando una serie de impactos que atentan contra la identidad territorial, la autonomía cultural y organizacional de las comunidades afrodescendientes, los pueblos indígenas y las sociedades campesinas, tales como:

1. El copamiento de los resguardos indígenas, los territorios colectivos y los predios campesinos por parte de los grupos armados, todos al servicio del narcotráfico ya sea por protección de cultivos o por explotación de éstos
2. El vaciamiento y desterritorialización de las zonas rurales, la pérdida de autonomía de subsistencia y formas de asociación colectiva.
3. La introducción de cultivos ilícitos en territorios colectivos, resguardos indígenas y predios de campesinos, que introducen a los moradores en una situación de ilegalidad, de violación de sus derechos humanos y fundamentales y de forzoso desplazamiento.

Desde el año 2000, los indicadores muestran que las tasas de homicidios (para ello se utiliza el cálculo de las tasas de homicidios, en este caso, la que relaciona el número de homicidios con la población total de la circunscripción territorial, sea Departamento o municipio, que se expresa como: homicidios por cien mil habitantes = hpch), han ido en aumento pasando de una tasa de 30,3 en el 2003 a una tasa de 45,6 en el 2006 y luego disminuyendo a 38,79 en el año 2010 y superando así la tasa nacional que está en 33,97 por cada 100.000 habitantes.



Fase de Diagnóstico

POMCA Mira

En la Región Sur Pacífica (1), los municipios que presentaron las tasas de homicidios más elevadas fueron: Barbacoas (159.45 hpch), Tumaco (124.58 hpch), Leiva (85.70 hpch) y Policarpa (78.59 hpch) en el Departamento de Nariño; Suárez (142.85 hpch), Piamonte (139.18 hpch), Argelia (33.3 hpch), Caloto (125.95 hpch), Puerto Tejada (115.73 hpch) y Corinto (106.82 hpch) en el Cauca; El Dovio (233.39 hpch), Argelia (137.30 hpch), Toro (130.30 hpch) y Roldanillo (124.58 hpch) en el Valle del Cauca.

En términos absolutos, de los 4.190 homicidios ocurridos en esta región, los móviles en su mayoría estuvieron asociados a otras riñas (43.7%), sicariato (39.7%), acciones guerrilleras (1.6%), combates entre grupos ilegales y la Fuerza Pública (2.4%) y el 12.6% son derivados de otros móviles.

La situación de violencia se suma a la miseria y coincide con el desplazamiento de los cultivos de coca, que a comienzos de la década 2000 - 2010, llegaron del Putumayo a raíz de la fumigación del Plan Colombia.

Por otra parte, en territorios colectivos de comunidades afrocolombianas, no sólo las estructuras armadas ilegales han despojado de sus territorios a los pobladores: a estas se han sumado empresas, como las agroindustriales.

Igualmente, las comunidades indígenas han sido víctimas del escalamiento del conflicto y es el caso de la masacre de los indígenas Awá en la Quebrada el Hojal, resguardo Tortugaña-Telebí, el 4 de febrero de 2009 perpetrada por las FARC, lo que ha traído como consecuencia la desesperada decisión del suicidio de jóvenes en esta comunidad.

Otro grave impacto es el de las minas antipersona que, en el Departamento de Nariño, durante los años 2001 a 2007 causaron 74 muertos, 32 civiles y 42 militares y 188 lesionados, 149 civiles y 39 militares.

Confinamiento poblacional. Todas estas circunstancias han generado momentos de importante restricción en la movilidad poblacional, incluso a escasos kilómetros de Tumaco en la vía que comunica a Pasto, incidiendo en el transporte de alimentos básicos, medicamentos y en la libre movilidad de los ciudadanos por las vías fluviales tan fundamentales a los 11 municipios que confluyen desde el punto de vista económico, cultural y sanitario en la Bahía de Tumaco.

La situación socioeconómica

La economía de la región costera del Pacífico nariñense se basa principalmente en la agricultura (agroindustria), la pesca, la actividad forestal y el turismo: en Tumaco se produce el 100% de la palma africana, el 92% del cacao y el 51% del coco de Nariño, y también se concentra gran parte de la oferta hotelera departamental. Además, es el segundo puerto petrolero sobre el Pacífico.

La participación de Nariño en el PIB es del 1,72% del total nacional, cifra bastante inferior si se compara con otros Departamentos de la región andina como Antioquia (14,77%),



Fase de Diagnostico

POMCA Mira

Boyacá (2,55%), Bogotá D. C (26,15%), Cundinamarca (5,39%), Santander (6,01%), y Tolima (2,17%).

Los últimos estudios arrojaron como resultado que el 25,9% de la población de las cabeceras municipales presenta Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI), mientras que en áreas rurales el porcentaje llega al 59,4%, para un total departamental de 43,7%, cifra que entre los Departamentos del suroccidente colombiano es bastante elevada y sólo es superada por Cauca con índice poblacional del 46,4% de NBI. Aunado a estas precarias condiciones se tiene que el 27,4% de la población se encuentra en situación de miseria, agravada por estafa a los ciudadanos con las “pirámides” del ahorro ficticio y su gran caída en el año 2008.

De acuerdo con los datos del DANE el 46% de las viviendas censadas tienen todos los servicios y este porcentaje disminuye notoriamente en el campo (13,5%), donde además el 85,7% de los hogares no tiene servicio de alcantarillado, un 46,8% no cuenta con acueducto y más del 90% no tienen acceso a energía eléctrica. Las cifras tampoco son gratificantes en cuanto a la alimentación, pues mientras el promedio nacional de desnutrición es del 13,5%, en Nariño prevalece la desnutrición crónica con un 24,5% y, recordando que el índice NBI de toda la subregión Pacífica es del 78,6%.

15 CONSIDERACIONES FINALES

Las dinámicas de la cuenca hidrográfica del río Mira conllevaron el desarrollo e incorporación de retos metodológicos y técnicos que se ajustaron a la información disponible y a los modelos aplicados para la obtención de los resultados finales y presentados en este documento bajo el marco de la susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo de movimientos en masa, avenidas torrenciales, inundaciones e incendios de cobertura vegetal. Por esta razón, el equipo técnico que desarrolló estos estudios dio a conocer a la autoridad ambiental (CORPONARIÑO), que factores sociales propios de la región no permitirían tomar información en campo para el análisis y posterior corroboración de resultados, siendo aceptadas y consensuadas por parte de la corporación las metodologías que se ajustaron a este contexto regional.

Desde el aspecto técnico, se considera que:

Establecer la zona de afectación por desborde del río Mira y sus tributarios, requiere de información primaria detallada del cauce que permita la elaboración de escenario de modelación hidrológica e hidráulica, así como la estimación de las zonas de divagación del río mediante estudio de dinámica fluvial y geomorfológica de la zona.

El conocimiento sobre la amenaza por movimientos en masa está muy bien caracterizado y documentado en el territorio nacional y regional, no obstante, para la elaboración de estudios a detalle (urbano – rural) existen vacíos de información básica para la proyección de escenarios predictivos, generando inconsistencias en los modelos predictivos propuestos. El requerimiento de información con mayor necesidad para la lograr una zonificación acorde con la realidad, es el registro histórico de eventos en la cuenca, quien brinda información puntual sobre las condiciones a presentar esa zona de terreno y para profundizar y priorizar las áreas con mayor probabilidad a ocurrencia a este tipo de amenazas.

Para ello es necesario reforzar el conocimiento mediante la ejecución de proyectos y estudios que fortalezcan los resultados del presente análisis, además de implementar un sistema municipal y regional, para la identificación, monitoreo y manejo de movimientos en masa, donde se priorice la ubicación geográfica, factor detonante, áreas de afectación, elementos expuestos y posibles pérdidas.

Además, es necesario que se profundice el detalle de análisis para la caracterización geológica, geomorfológica, hidrología, coberturas naturales y los elementos expuestos; para detallar la zonificación de la amenaza teniendo en cuenta las características del terreno, el tipo de evento, magnitud y afectaciones presentadas.

En relación con el principio de corresponsabilidad, planteado en la Ley 1523 de 2012, es necesario implementar acciones de gobierno y comunidad, tendientes a educación y



Fase de Diagnóstico

POMCA Mira

concientización ambiental, mediante la campañas, foros y talleres comunitarios de prevención, incentivar el cuidado y protección por las condiciones naturales del entorno.

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 vegetación seca que 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 Mira 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.

Con el objetivo de avanzar en conocimiento detallado del comportamiento de las avenidas torrenciales en las zonas de amenaza alta 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 con lo anterior, se recomienda se instalen por lo menos dos estaciones de caudales en la parte alta de la cuenca donde se encuentra 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.

De acuerdo con la zonificación establecida para la vulnerabilidad total a partir de la capa de información de cobertura vegetal y uso del suelo, es importante reiterar que para calcular el valor de los bienes afectados a un posible evento catastrófico, puede llegar a ser algo muy complejo, donde es necesaria la caracterización de vulnerabilidad y socioeconómica de la estructura territorial de la cuenca; se debe iniciar con un análisis catastral, censos poblacionales, socioeconómicos, agrícolas, comerciales e industriales actualizados y oficiales, al igual que estudios de mercado, datos de producción netos y brutos, para cuantificar y espacializar los elementos expuestos.

Además, es necesario reforzar el conocimiento mediante la ejecución de estudios sobre la vulnerabilidad y el grado de resiliencia física y económica de los territorios que conforman la cuenca, el grado de conocimiento de las amenazas presentes y la capacidad de respuesta tanto de las administraciones municipales, como de la población en general; es



Fase de Diagnostico

POMCA Mira

sumamente necesario iniciar con el monitoreo, descripción y conocimiento de escenarios de riesgo en la cuenca, donde se pueda determinar la ubicación geográfica, factor detonante, áreas de afectación y elementos expuestos.

Como recomendación para desarrollar un análisis con mayor precisión, es necesario contar con mayor cobertura de datos socioeconómicos, además de aumentar la escala de detalle para una mejor caracterización de los tipos de coberturas de la tierra, con el objetivo de identificar los elementos forestales y de producción de la cuenca del río Mira y así, evaluar y cuantificar con mayor precisión los usos del suelo en cada sector de la cuenca, con el fin de obtener resultados más acordes a la realidad.

Es necesario que se profundice en el detalle de análisis para la caracterización de coberturas y los elementos forestales de la cuenca, para así ampliar y detallar el estudio de susceptibilidad, además de realizar estudios con nivel de detalle en modelaciones predictivas y prospectivas, con el fin de obtener resultados con un nivel de certeza más adecuado.



Fase de Diagnóstico

POMCA Mira

16 BIBLIOGRAFÍA

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



Fase de Diagnóstico

POMCA Mira

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



Fase de Diagnóstico

POMCA Mira

- 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). Amenazas de Inundación: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/amenazas-inundacion>
- IDEAM (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.



Fase de Diagnóstico

POMCA Mira

- 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). Restauración 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, Escuadrón H2O. Obtenido de <http://www.aguamiderechomideber.org/buscadordecuencas/home.html>
- MININTERIOR. (2007). 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.



Fase de Diagnóstico

POMCA Mira

- 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). 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 Politécnica de Cataluña.
- Montero, J., González, A., & Ángel, G. (1982). Caracterización del material rocoso. I Congreso Suramericano de Mecánica de Rocas.
- Moreno Rodríguez, J. M., Rodríguez-Urbieta, I., Zabala Espiñeira, G., & Martín, M. (2015). Impactos del Cambio Climático en Castilla - La Mancha. Toledo, Toledo: Fundación General de Medio Ambiente.
- Narváz 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>



Fase de Diagnóstico

POMCA Mira

- 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. Bogotá 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 SGC. (2014). Mapa de Amenaza Volcánica del Volcán Chiles. Escala 1:50.000. Colombia.



Fase de Diagnóstico

POMCA Mira

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 Geológico Colombiano. (2015). Guía Metodológica 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 applied 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 western 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*.



Fase de Diagnostico

POMCA Mira

- 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.