

FASE DE DIAGNÓSTICO

VOL. 3 - GESTIÓN DEL RIESGO

FORMULACIÓN
POMCA
RÍO YAGUARÁ

Plan de Ordenación y Manejo
de la Cuenca Hidrográfica



2023

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. OBJETIVOS	1
1.1. Objetivo General	1
1.2. Objetivos Específicos	1
2. CARACTERIZACIÓN HISTÓRICA DE AMENAZAS Y EVENTOS AMENAZANTES	2
2.1. Fuentes de Información	2
2.1.1. Bases de datos	2
2.1.2. Documentación	2
2.1.3. Interpretación de sensores remotos	5
2.1.4. Mesas de trabajo	9
2.1.5. Rutas Veredales	12
2.2. Consolidación catálogo histórico de eventos amenazantes	15
2.3. Análisis de la localización y frecuencia de los eventos amenazantes	16
2.3.1. Incendios de la cobertura vegetal	17
2.3.2. Movimientos en masa	19
2.3.3. Inundaciones	21
2.3.4. Avenidas Torrenciales	22
2.3.5. Otros eventos	24
3. EVALUACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD	28
3.1. Incendios de la cobertura vegetal	28
3.1.1. Metodología	28
3.1.2. Variables utilizadas	29
3.1.3. Resultados obtenidos	31
3.2. Movimientos en masa	37
3.2.1. Metodología	39
3.2.2. Variables utilizadas	42
3.2.3. Resultados obtenidos	49

3.3. Inundaciones	68
3.3.2. Metodología	69
3.3.3. Variables utilizadas.....	71
3.3.4. Resultados obtenidos.....	71
3.4. Avenidas torrenciales	73
3.4.1. Metodología	74
3.4.2. Variables utilizadas.....	76
3.4.3. Resultados obtenidos.....	83
4. ZONIFICACIÓN DE AMENAZA	91
4.1. Incendios de la Cobertura Vegetal.....	91
4.1.1. Metodología	91
4.1.2. Variables utilizadas.....	92
4.1.3. Resultados Obtenidos.....	95
4.2. Movimientos en Masa.....	102
4.2.1. Metodología	102
4.2.2. Variables utilizadas.....	103
4.2.3. Resultados Obtenidos.....	105
4.3. Inundaciones	108
4.3.2. Metodología	109
4.3.3. Variables utilizadas.....	110
4.3.4. Resultados Obtenidos.....	115
4.4. Avenidas torrenciales	117
4.4.1. Metodología	118
4.4.2. Resultados Obtenidos.....	126
4.5. Otros eventos amenazantes	128
4.5.1. Sismos	128
4.5.2. Sequía.....	134
5. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD	142
5.2. Exposición.....	144
5.2.1. Metodología	144
5.2.2. Resultados Obtenidos.....	149
5.3. Fragilidad	153

5.3.1. Metodología	154
5.3.2. Resultados Obtenidos	156
5.4. Resiliencia	166
5.4.1. Metodología	167
5.4.2. Resultados Obtenidos	167
5.5. Estimación de la Vulnerabilidad	168
5.5.1. Metodología	169
5.5.2. Resultados obtenidos	169
6. ANÁLISIS DEL RIESGO	176
6.1. Metodología	176
6.1.2. Amenaza determinística	177
6.2. Estimación del Riesgo	178
6.2.1. Incendios de la cobertura vegetal	178
6.2.2. Movimientos en masa	180
6.2.3. Inundaciones	181
6.2.4. Avenidas torrenciales	182
7. NECESIDADES DE INFORMACIÓN	185
8. RECOMENDACIONES FINALES	187
9. BIBLIOGRAFÍA	188

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. Imágenes landsat 8, 20200827 para la cuenca.....	6
Figura 2.2. Imágenes landsat 8, 20200822 para la cuenca.....	7
Figura 2.3. Imágenes Sentinel-2, 20220627 para la cuenca	8
Figura 2.4. Imágenes Sentinel-2, 20220707 para la cuenca	9
Figura 2.5. Registro fotográfico núcleos territoriales.....	11
Figura 2.6. Ruta veredal de gestión del riesgo	12
Figura 2.7. Formato inventario movimientos en masa	13
Figura 2.8. Formato acompañamiento ruta veredal	14
Figura 2.9. Número incendios de la cobertura vegetal por mes	18
Figura 2.10. Localización eventos de incendios de la cobertura vegetal	18
Figura 2.11. Porcentaje de movimientos en masa según periodo de ocurrencia	19
Figura 2.12. Localización eventos de movimientos en masa	20
Figura 2.13. Localización eventos de inundación	21
Figura 2.14. Porcentaje de eventos por municipio	22
Figura 2.15. Localización eventos de avenidas torrenciales	23
Figura 2.16. Localización eventos de sismos	24
Figura 2.17. Localización eventos de sequías.....	25
Figura 2.18. Localización eventos de vendavales	26
Figura 2.19. Localización eventos de tormentas eléctricas	27
Figura 3.1. Diagrama de la metodología para susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal	29
Figura 3.2. Tipo de combustible.....	32
Figura 3.3. Duración del combustible	34
Figura 3.4. Carga total del combustible	35
Figura 3.5. Susceptibilidad por incendios de la cobertura vegetal.....	37
Figura 3.6. Diagrama de la evaluación de susceptibilidad de los movimientos en masa	40
Figura 3.7. Factores de propensividad	42
Figura 3.8. Variable de Roca - Suelo.....	50
Figura 3.9. Variable espesor de los depósitos	51
Figura 3.10. Variable origen de los depósitos.....	52
Figura 3.11. Variable UGS	54
Figura 3.12. Variable de densidad de fracturamiento.....	55
Figura 3.13. Variable vegetación.....	56
Figura 3.14. Variable de geomorfología.....	57
Figura 3.15. Eventos de movimientos en masa	58
Figura 3.16. Variable de pendientes	59
Figura 3.17. Variable de orientación de laderas.....	60

Figura 3.18. Variable de curvaturas.....	61
Figura 3.19. Variable de insolación	62
Figura 3.20. Variable de acumulación	63
Figura 3.21. Variable de distancia de cauce.....	64
Figura 3.22. Variable de distancia de vías.....	65
Figura 3.23. Variable de densidad de drenaje	66
Figura 3.24. Susceptibilidad por movimientos en masa	67
Figura 3.25. Tipología de eventos de inundaciones.....	68
Figura 3.26. Diagrama de la evaluación de susceptibilidad por inundaciones	70
Figura 3.27. Susceptibilidad a inundaciones	72
Figura 3.28. Diagrama de la evaluación de susceptibilidad por avenidas torrenciales.....	75
Figura 3.29. Índice Morfométrico de la Cuenca Yaguará	85
Figura 3.30. Índice de Variabilidad de la Cuenca Yaguará.....	86
Figura 3.31. Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales de la Cuenca Yaguará.....	88
Figura 3.32. Susceptibilidad por avenida torrencial.....	90
Figura 4.1. Diagrama de la metodología para determinar la amenaza de incendios de la cobertura vegetal.....	92
Figura 4.2. Amenaza por incendios de la cobertura vegetal según la precipitación	96
Figura 4.3. Amenaza por incendios forestales según la temperatura.....	97
Figura 4.4. Amenaza por incendios forestales según el relieve	98
Figura 4.5. Amenaza por incendios forestales según la accesibilidad.....	99
Figura 4.6. Amenaza por incendios forestales según la frecuencia.....	100
Figura 4.7. Amenaza por incendios forestales o de la cobertura vegetal	101
Figura 4.8. Diagrama de la metodología para determinar la amenaza de movimientos en masa.....	103
Figura 4.9. Amenaza por movimientos en masa.....	107
Figura 4.10. Diagrama de la metodología para evaluar la amenaza por inundación	109
Figura 4.11. Creación del modelo de terreno	111
Figura 4.12. Creación de la geometría de simulación.....	112
Figura 4.13. Asignación de las condiciones de frontera	113
Figura 4.14. Definición de la simulación	113
Figura 4.15. Resultados.....	114
Figura 4.16. Amenaza por inundaciones.....	117
Figura 4.17. Taxonomía de flujos geológicos.....	118
Figura 4.18. Diagrama de flujo para la aplicación de un modelo de amenaza por inundación.	119
Figura 4.19. Amenaza por avenidas torrenciales	128
Figura 4.20. Metodología del modelo de amenaza sísmica.....	130
Figura 4.21. Mapa nacional de amenaza sísmica.....	131
Figura 4.22. Sección del mapa de intensidad máxima observada en el área de la cuenca	132
Figura 4.23. Amenaza sísmica	133
Figura 4.24. Diagrama de la metodología para determinar la amenaza de avenidas torrenciales.....	135

Figura 4.25. Intensidad máxima de los eventos de sequía	139
Figura 4.26. Intensidad promedio eventos de sequía (SPI trimestral)	140
Figura 4.27. Intensidad promedio eventos de sequía (SPI trimestral)	141
Figura 5.1. Factores y componentes de la vulnerabilidad	142
Figura 5.2. Mapa conceptual para el análisis de la vulnerabilidad en los POMCAS.....	144
Figura 5.3. Zonas Homogéneas Centros Poblados (ZHCP).....	149
Figura 5.4. Zonas Homogéneas Rurales (ZHR)	151
Figura 5.5. Zonas Homogéneas Rurales (ZHR).....	153
Figura 5.6. Fragilidad física por incendios de la cobertura vegetal	157
Figura 5.7. Fragilidad física por movimientos en masa	158
Figura 5.8. Fragilidad física por inundaciones.....	159
Figura 5.9. Fragilidad física por avenidas torrenciales	160
Figura 5.10. Fragilidad sociocultural.....	161
Figura 5.11. Fragilidad ecosistémica.....	162
Figura 5.12. Fragilidad total por incendios de la cobertura vegetal.....	163
Figura 5.13. Fragilidad total por movimientos en masa	164
Figura 5.14. Fragilidad total por inundaciones.....	165
Figura 5.15. Fragilidad total por avenidas torrenciales	166
Figura 5.16. Índice de resiliencia económica.....	168
Figura 5.17. Zonificación de la vulnerabilidad a inundaciones.....	170
Figura 5.18. Zonificación de la vulnerabilidad a avenidas torrenciales	171
Figura 5.19. Zonificación de la vulnerabilidad a movimientos en masa	173
Figura 5.20. Zonificación de la vulnerabilidad a incendios de la cobertura vegetal	174
Figura 6.1. Diagrama del análisis del riesgo	178
Figura 6.2. Riesgo por incendios de la cobertura vegetal	179
Figura 6.3. Riesgo por movimientos en masa.....	180
Figura 6.4. Riesgo por inundaciones	182
Figura 6.5. Riesgo por avenidas torrenciales.....	183

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1. Revisión de información de gestión del riesgo	3
Tabla 2.2. Relación de las imágenes de satélites utilizadas	5
Tabla 2.3. Campos catálogo de eventos amenazantes	15
Tabla 3.1. Reclasificación por tipo de combustible.....	29
Tabla 3.2. Reclasificación de la duración del combustible.....	30
Tabla 3.3. Reclasificación de la carga total del combustible	31
Tabla 3.4. Susceptibilidad a incendios por tipo de combustible	32
Tabla 3.5. Susceptibilidad a incendios por duración del combustible	33
Tabla 3.6. Susceptibilidad a incendios por carga total del combustible	35
Tabla 3.7. Categoría de susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal.....	36
Tabla 3.8. Calificación de roca - suelo	43
Tabla 3.9. Calificación de espesor.....	43
Tabla 3.10. Calificación de origen.....	43
Tabla 3.11. Calificación de UGS	44
Tabla 3.12. Calificación de densidad de fracturamiento	44
Tabla 3.13. Calificación de vegetación.....	44
Tabla 3.14. Calificación de origen.....	45
Tabla 3.15. Categoría de pendientes.....	46
Tabla 3.16. Categoría de orientación de laderas	46
Tabla 3.17. Categoría de curvaturas	47
Tabla 3.18. Categoría de radiación.....	47
Tabla 3.19. Categoría de distancia de cauces	48
Tabla 3.20. Categoría de distancia de vías	48
Tabla 3.21. Calificación de la variable de Roca - Suelo	49
Tabla 3.22. Calificación del espesor de depósitos.....	50
Tabla 3.23. Calificación del origen de depósitos	51
Tabla 3.24. Calificación de las unidades geológicas superficiales.....	53
Tabla 3.25. Calificación de la cobertura de la tierra.....	55
Tabla 3.26. Categorías de susceptibilidad a inundación.....	66
Tabla 3.27. Categorización de la recurrencia de los eventos de avenidas torrenciales	71
Tabla 3.28. Susceptibilidad a inundación según la geomorfología de la cuenca	71
Tabla 3.29. Categorías de susceptibilidad a inundación.....	73
Tabla 3.30. Categorización de la recurrencia de los eventos de avenidas torrenciales	76
Tabla 3.31. Valoración susceptibilidad por avenidas torrenciales según criterios geomorfológicos.....	76
Tabla 3.32. Categorías IVET.....	81
Tabla 3.33. Clasificación del índice de variabilidad.....	81

Tabla 3.34. Categorización del índice morfométrico	82
Tabla 3.35. Relaciones entre las variables para el índice morfométrico	82
Tabla 3.36. Categorización de las variables del índice morfométrico	83
Tabla 3.37. Índice morfométrico	84
Tabla 3.38. Índice de variabilidad	86
Tabla 3.39. Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales - IVET	87
Tabla 3.40. Clasificación de susceptibilidad por avenidas torrenciales	89
Tabla 3.41. Categorías de la susceptibilidad por avenidas torrenciales	89
Tabla 4.1. Categoría de susceptibilidad a incendios	92
Tabla 4.2. Categoría de amenaza variable precipitación	93
Tabla 4.3. Categoría de amenaza variable temperatura	93
Tabla 4.4. Categoría de amenaza variable pendiente	94
Tabla 4.5. Categoría de amenaza variable accesibilidad	94
Tabla 4.6. Clasificación de amenaza por incendios forestales o de la cobertura vegetal ...	101
Tabla 4.7. Parámetros geomecánicos de las UGS identificadas	105
Tabla 4.8. Clasificación de amenaza por movimientos en masa	106
Tabla 4.9. Categorización amenaza por inundación	109
Tabla 4.10. Integración de la amenaza	115
Tabla 4.11. Clasificación de amenaza por inundaciones	116
Tabla 4.12. Clasificación de amenaza por avenidas torrenciales	127
Tabla 4.13. Amenaza por sequía	136
Tabla 4.14. Ejemplo evaluación de la intensidad de los eventos de sequía	137
Tabla 4.15. Categorización de la intensidad de los eventos de sequía	138
Tabla 5.2. Categorías de densidad poblacional	145
Tabla 5.3. Atributos mínimos para la definición de las ZHU	145
Tabla 5.4. Atributos mínimos para la definición de las ZHR	146
Tabla 5.5. Atributos de los indicadores para el modelo de exposición para centros poblados	147
Tabla 5.6. Atributos de los indicadores para el modelo de exposición para zona rural	148
Tabla 5.7. Atributos de las Zonas Homogéneas Centros Poblados	149
Tabla 5.8. Atributos de las Zonas Homogéneas Centros Poblados	150
Tabla 5.9. Índice de Pérdida o Daño por zonas homogénea	152
Tabla 5.10. Índice de Pérdida o Daños (IP)	152
Tabla 5.11. Índice de fragilidad física	154
Tabla 5.12. Categorización del índice de calidad de vida	155
Tabla 5.13. Categorización del índice de fragilidad cultural	155
Tabla 5.14. Categorización del índice de fragilidad de ecosistemas estratégicos	155
Tabla 5.15. Indicador de fragilidad	156
Tabla 5.16. Indicador de la falta de resiliencia	167
Tabla 5.17. Resiliencia económica	167
Tabla 5.18. Niveles de vulnerabilidad	169
Tabla 5.19. Categorización de vulnerabilidad a inundaciones	169
Tabla 5.20. Categorización de vulnerabilidad a avenidas torrenciales	171

Tabla 5.21. Categorización de vulnerabilidad a movimientos en masa.....	172
Tabla 5.22. Categorización de vulnerabilidad a incendios de la cobertura vegetal	174
Tabla 6.1. Categorización del riesgo para los diferentes eventos en POMCAS	177
Tabla 6.2. Categorización de niveles de riesgo del IR.....	178
Tabla 6.3. Categorización del riesgo por incendios de la cobertura vegetal.....	179
Tabla 6.4. Categorización del riesgo por movimientos en masa.....	181
Tabla 6.5. Categorización del riesgo por inundaciones	181
Tabla 6.6. Categorización del riesgo por avenidas torrenciales.....	183

1. OBJETIVOS

1.1. *Objetivo General*

Establecer las condiciones de susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo existentes en la cuenca hidrográfica del río Yaguará.

1.2. *Objetivos Específicos*

- Identificar la susceptibilidad del territorio a ser afectada por movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales e incendios forestales.
- Determinar las categorías de amenaza de los eventos hidrometeorológicos en las zonas identificadas como de susceptibilidad crítica en la cuenca del río Yaguará.
- Evaluar el grado de afectación representado en las pérdidas o posibles daños que pueda ocasionar un determinado evento potencialmente peligroso, sobre elementos vulnerables que conforman el territorio.
- Determinar los escenarios de riesgos existentes en la cuenca objeto de ordenación.

2. CARACTERIZACIÓN HISTÓRICA DE AMENAZAS Y EVENTOS AMENAZANTES

2.1. Fuentes de Información

Para la consolidación del inventario histórico de eventos amenazantes, se realizó la recopilación, análisis y georreferenciación de reportes e información secundaria, con el propósito de estimar características generales de los fenómenos naturales, tales como: Tipo, magnitud, duración, recurrencia y causas. Esta información es fundamental, debido a que se constituye en el primer insumo para la calibración y validación de los resultados obtenidos en la determinación de las áreas en condición de amenaza para cada uno de los fenómenos evaluados (movimientos en masa, inundaciones, incendios forestales y avenidas torrenciales).

Las fuentes de información incluidas en la caracterización histórica de eventos amenazantes, fueron clasificadas en cinco grupos de acuerdo con el tipo de información aportante. Estos grupos son: Bases de Datos, documentación, sensores remotos, mesas de trabajo y rutas veredales.

2.1.1. Bases de datos

Para este insumo, se realizó la consulta y revisión de las fuentes de información listadas a continuación:

- a) Reporte de emergencias de la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo
- b) Base de datos de Desinventar.or
- c) Sistema de información de Movimientos en Masa (SIMMA)
- d) Reporte de sismos del Servicio Geológico Colombiano
- e) Estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo

2.1.2. Documentación

En el proceso de recopilación y revisión de información secundaria para el componente de gestión del riesgo, se incorporaron 23 documentos, los cuales aportan información sobre los siguientes temas:

- Registro histórico de eventos amenazantes
- Sectores con alta probabilidad de ocurrencia de fenómenos amenazantes

- Zonificación de amenaza por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales
- Medidas de reducción y mitigación de los escenarios de riesgos
- Comportamiento de la temperatura y precipitación y su relación con la ocurrencia de eventos amenazantes.
- Programas y proyectos orientados a los tres procesos de la gestión del riesgo

En la Tabla 2.1, se relacionan los documentos consultados con su respectiva evaluación, de acuerdo con los criterios de pertinencia, calidad, fiabilidad y actualidad.

Tabla 2.1. Revisión de información de gestión del riesgo

Año	Autor	Nombre del documento	Nivel de relevancia	Uso posible para la información durante la fase de Diagnóstico
2019	Cristian Camilo Hernández González	Revisión documental de los planes municipales de gestión del riesgo de desastres del departamento del Huila, para la consolidación de una matriz metodológica de seguimiento a acciones de conocimiento y reducción del riesgo de desastres.	BAJA	Ninguno
2018	Departamento Nacional de Planeación	Índice Municipal de Riesgo de Desastres ajustado por capacidades	ALTA	Caracterización escenarios de riesgo
2019	CAM - GEOCING	Estudios detallados de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por movimientos en masa, inundación y avenida torrencial en el área urbana del municipio de Teruel, en el departamento del Huila, teniendo en cuenta los lineamientos del Decreto 1077 de 2015	ALTA	Registro histórico de eventos amenazantes. Zonificación de susceptibilidad y amenaza
2019	CAM - GEOCING	Estudios detallados de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por movimientos en masa, inundación y avenida torrencial en el área urbana del municipio de Nátaga, en el departamento del Huila, teniendo en cuenta los lineamientos del Decreto 1077 de 2015	ALTA	Registro histórico de eventos amenazantes. Zonificación de susceptibilidad y amenaza
2020	Alcaldía Municipal de Íquira	Plan de Contingencia ante la primera temporada seca	ALTA	Registro histórico de eventos amenazantes.
2015	Consejo Departamental para la Gestión del riesgo de Desastres del Huila	Plan departamental de gestión del riesgo de desastres del Huila	ALTA	Registro histórico de eventos amenazantes. Validación zonificación de amenaza
2015	Consejo Departamental para la Gestión del riesgo de Desastres del Huila	Estrategia Departamental para la respuesta a Emergencias y desastres del Huila	BAJA	Identificación ocurrencia de eventos amenazantes en el municipio
2014	Gobernación del Huila, CAM, USAID, FCMC, E3	Plan de Cambio Climático Huila 2050: Preparándose para el cambio climático	ALTA	Escenarios futuros del comportamiento de la temperatura y precipitación
2020	CAM	Plan de acción institucional 2020-2023	ALTA	Identificación de fenómenos

Año	Autor	Nombre del documento	Nivel de relevancia	Uso posible para la información durante la fase de Diagnóstico
				amenazantes en los municipios
2018	Consejo Municipal de Gestión del Riesgo de Teruel	Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres de Teruel - Huila	BAJA	Registro histórico de eventos amenazantes.
s.f.	Alcaldía Municipal de Tesalia	Plan de contingencia ante posible incidencia y eventos adversos por emergencias, deslizamientos y represamiento Quebrada La Topa y Río Páez	BAJA	Ninguno
1999	CAM -IDEA UN	Evaluación de las amenazas potenciales de origen geológico (actividad sísmica y volcánica) geomorfológico (remociones en masa y erosión) e hidrometeorológico (dinámica fluvial, inundaciones y sequías) y caracterización geotécnica preliminar de las cabeceras municipales del departamento del Huila. Evaluación preliminar de la amenaza sísmica del departamento del Huila	MEDIA	Registro histórico de eventos amenazantes. Zonificación de susceptibilidad y amenaza
2019	Consortio POT HUILA 2019	Plan de Ordenamiento Territorial Departamental. Etapa de Diagnóstico Territorial	ALTA	Registro histórico de eventos amenazantes. Zonificación de susceptibilidad y amenaza
2000	Alcaldía Municipal de Íquira	Diagnóstico Territorial del Esquema de Ordenamiento del Municipio de Íquira	BAJA	Registro histórico de eventos amenazantes.
2000	Alcaldía Municipal de Teruel	Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de Teruel. Documento técnico de Soporte	MEDIA	Registro histórico de eventos amenazantes.
2000	Concejo Municipal de Nátaga	Acuerdo 15 de 2000. Por el cual se adopta el EOT del municipio de Nátaga	BAJA	Registro histórico de eventos amenazantes.
2015	Concejo Municipal de Tesalia	Acuerdo 04 de 2015. Por medio del cual se revisa y ajusta el EOT del municipio de Tesalia	ALTA	Registro histórico de eventos amenazantes.
2013	Concejo Municipal de Yaguará	Acuerdo 044 de 2013. Por el cual se adopta la reformulación general del EOT del municipio de Yaguará	ALTA	Registro histórico de eventos amenazantes.
2020	Alcaldía Municipal de Yaguará	Plan Municipal de Desarrollo "Yaguará nuestra casa" 2020-2023	BAJA	Ninguno
2020	Alcaldía Municipal de Teruel	Acuerdo 006 de 2020. Por el cual se adopta el Plan Municipal de Desarrollo "Teruel merece lo mejor". 2020-2023	BAJA	Ninguno
2020	Concejo Municipal de Nátaga	Acuerdo 007 de 2020. Por el cual se adopta el Plan Municipal de Desarrollo "Nátaga para todos 2020-2023"	BAJA	Ninguno
2020	Concejo Municipal de Íquira	Acuerdo 001 de 2020. Por el cual se adopta el Plan Municipal de Desarrollo 2020-2023 "Escribamos una nueva historia. Iquira, Avanza"	BAJA	Ninguno

Año	Autor	Nombre del documento	Nivel de relevancia	Uso posible para la información durante la fase de Diagnóstico
2020	Concejo Municipal de Tesalia	Acuerdo 10 de 2020. Por el cual se adopta el Plan Municipal de Desarrollo "Tesalia productiva y empresarial, momento de la gente 2020-2023"	BAJA	Registro histórico de eventos amenazantes.

Fuente: El consorcio, 2022

2.1.3. Interpretación de sensores remotos

En la caracterización de las geoformas y procesos morfodinámicos en la Cuenca Hidrográfica del río Yaguará, fue indispensable la utilización de información secundaria, así como la utilización de imágenes satelitales y los Sistemas de Información Geográfica (SIG), para obtener el Modelo Digital de Elevaciones (DEM) de la cuenca y poder calcular factores condicionantes como lo son las pendientes, curvaturas y orientaciones del terreno, modelo de sombras, entre otros; con el objetivo de determinar por interpretación, los tipos de materiales involucrados, los procesos morfodinámicos presentes, y las geoformas predominantes del terreno.

En este sentido, se recopilaron imágenes satelitales del programa Copernicus correspondiente al satélite Sentinel 2, estas presentan una resolución espacial de entre 10 a 60 metros, lo que facilita la interpretación y adecuación de la información en escala 1:25.000. Además, el programa proporciona imágenes multiespectrales con gran resolución y amplitud lo que permite la aplicación de diversas combinaciones de bandas para el monitoreo de coberturas de la tierra, usos de suelo, masas de agua, o la detección de fenómenos naturales o provocados por la actividad humana.

Adicionalmente se descargaron imágenes del satélite LDCM (Landsat Data Continuity Mission) que proporciona la capacidad de realizar observaciones en varias combinaciones de 8 bandas de longitud de onda infrarroja que son útiles en el desarrollo del proyecto. En la Tabla 2.2 se visualizan las imágenes obtenidas para la formulación del POMCA del río Yaguará:

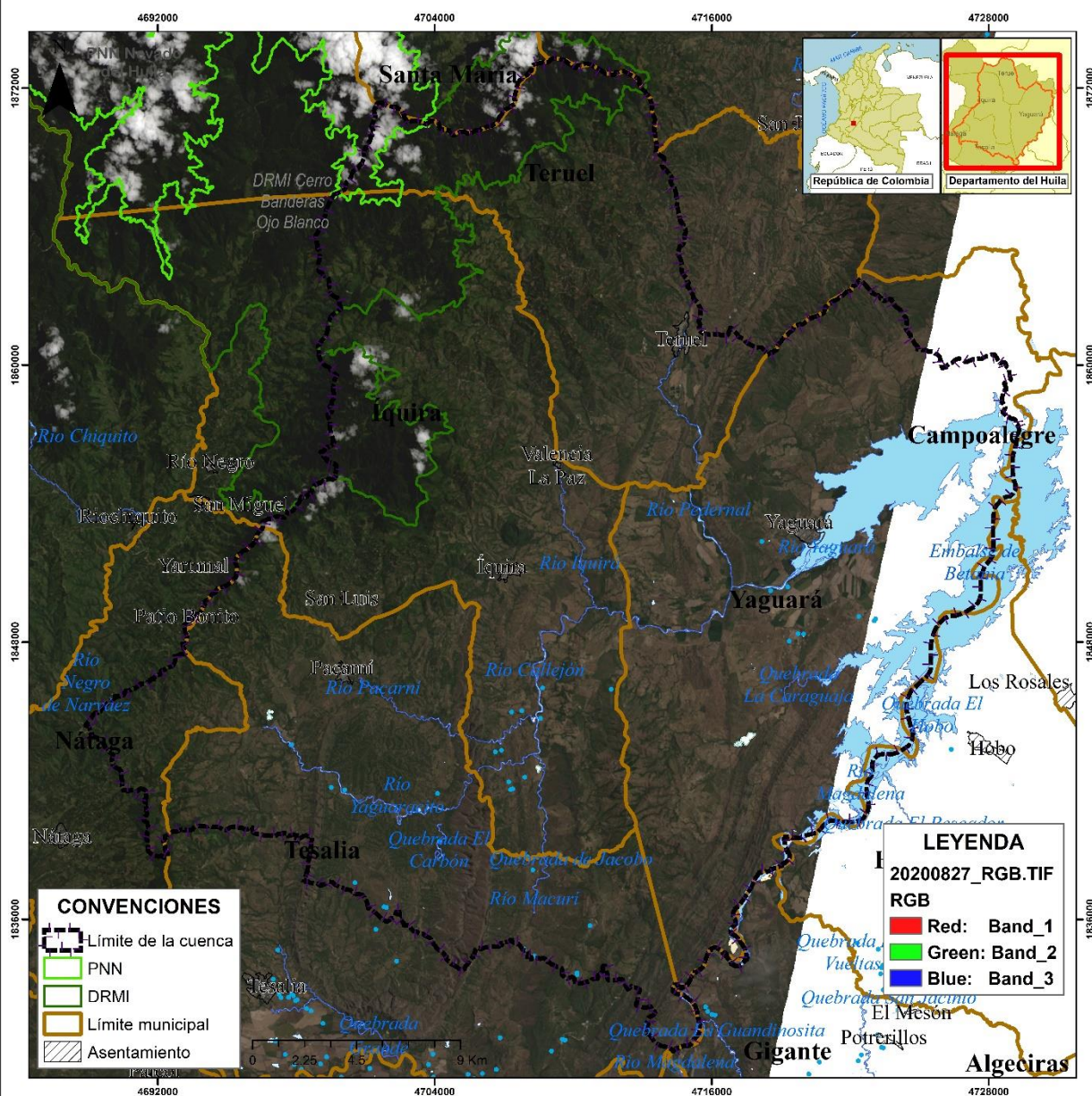
Tabla 2.2. Relación de las imágenes de satélites utilizadas

Nombre de la capa o imagen	Resolución	Cubrimiento Espacial	Fuente	Año
LC08_L1TP_009058_20190818_20200827_02_T1	30 m	93%	Landsat 8	2020
LC08_L1TP_008058_20200306_20200822_02_T1	30 m	82	Landsat 8	2020
S2A_MSIL1C_20220627T152651_N0400_R025_T18NVH_20220627T202753.SAFE	10,20,60 m	74%	SENTINEL	2022
S2A_MSIL1C_20220627T152651_N0400_R025_T18NVJ_	10,20,60 m	58%	SENTINEL	2022

Nombre de la capa o imagen	Resolución	Cubrimiento Espacial	Fuente	Año
20220627T202753.SAFE				
S2A_MSIL2A_20220707T152651_N0400_R025_T18NVJ_20220707T221923.SAFE	10,20,60 m	58%	SENTINEL	2022
S2A_MSIL2A_20220707T152651_N0400_R025_T18NVH_20220707T221923.SAFE	10,20,60 m	74%	SENTINEL	2022

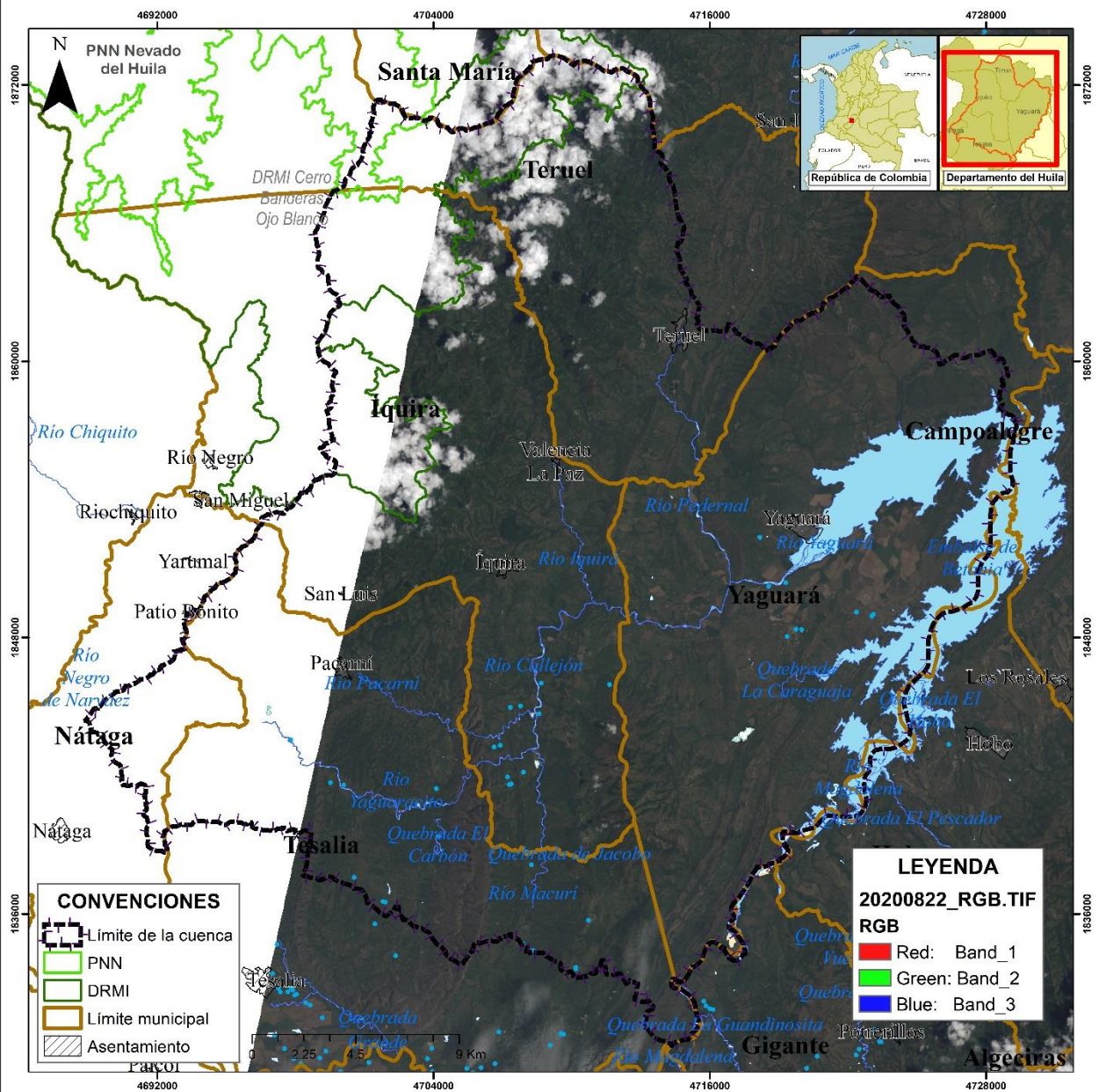
Fuente: El consorcio, 2022

Figura 2.1. Imágenes landsat 8, 20200827 para la cuenca



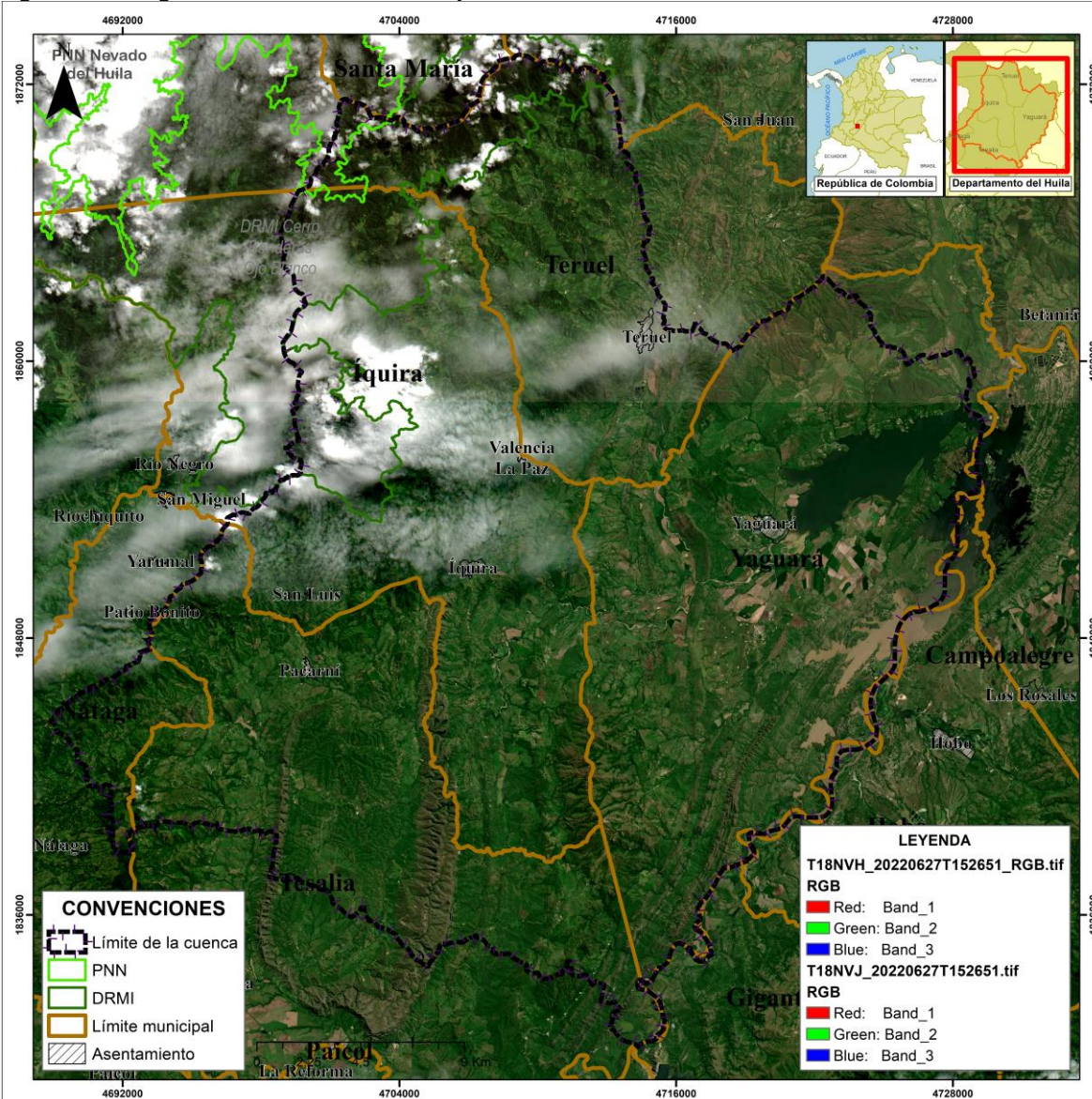
Fuente: El consorcio, 2022

Figura 2.2. Imágenes landsat 8, 20200822 para la cuenca



Fuente: El consorcio, 2022

Figura 2.3. Imágenes Sentinel-2, 20220627 para la cuenca



Fuente: El consorcio, 2022

[illegible]

2.1.4. Mesas de trabajo

Los núcleos territoriales señalados en la estrategia de participación, se convirtieron en el espacio adecuado para que los actores, señalaran los sitios y/o lugares donde se han presentado algún tipo de evento amenazante.

En la fase de aprestamiento, los actores indicaron la ocurrencia de 50 eventos amenazantes, los cuales están principalmente asociados a movimientos en masa, incendios de la cobertura vegetal e inundaciones. Adicionalmente, los asistentes a los núcleos territoriales, manifiestan preocupación por la presencia de avenidas torrenciales y procesos de erosión.

Por otro lado, en el núcleo territorial de la fase de Diagnóstico, se validaron las áreas críticas que se identificaron en la ruta veredal, denotando los siguientes aportes:

- Movimientos en masa

Los eventos de movimientos en masa se han presentado en tres municipios: Íquira sobre las veredas San Luis, El Tote, Cerro Damitas, Buenos Aires, Villa María, Río Íquira, El Recreo, Ibirco, Juancho, El Garvanzal y el Centro poblado Valencia de la Paz; Nátaga sobre la vereda Honduras; y sobre toda el área de Tesalia. Este tipo de evento es consecuencia de procesos antrópicos como la explotación minera, desencadenando exposición a los elementos socioeconómicos como las viviendas rurales, las áreas agrícolas y las infraestructuras viales. Los actores proponen implementar medidas como el mantenimiento de vías, realizar estudios geológicos, capacitar y reubicar a la población expuesta, construir muros de contención e implementar proyectos de reforestación en áreas objeto.

- Incendios de la cobertura vegetal

Los incendios de la cobertura vegetal en la cuenca se han presentado en tres municipios: Yaguará en las veredas Vilú y El Viso; Íquira en las veredas Chaparro, Flandes, Río Íquira, San Isidro, Cerro Negro, La Hocha, Cerro Negro y el centro poblado Valencia de la Paz; y en toda Tesalia. Estos eventos son consecuencia de procesos hidrometeorológicos y antrópicos como la sequía, la expansión de la frontera agrícola; desencadenando exposición a los elementos socioeconómicos como las viviendas rurales, las áreas agropecuarias, pérdida de vidas de fauna silvestre y afectación de zonas protegidas. Los actores proponen implementar programas enfocadas en la capacitación a la población expuesta y la activación del plan de gestión del riesgo en cada municipio.

- Avenidas torrenciales

El tipo de evento correspondiente a avenidas torrenciales se presentan en tres municipios: Íquira en las veredas San Luis, Buenos Aires, Villa María, El Recreo, Ibirco y El Tote y el centro poblado Valencia de la paz; Nátaga sobre la vereda Hondura, y Yaguará en las veredas Vilú, La Floresta y Upar. Estos eventos son consecuencia de procesos hidrometeorológicos y antrópicos como las precipitaciones extremas, la expansión de la frontera agrícola; desencadenando exposición a los elementos socioeconómicos como las viviendas rurales, las áreas agropecuarias, las infraestructuras viales, los sistemas de acueductos y las infraestructuras educativas. Los actores aportaron las siguientes medidas: la construcción de muros de contención, realizar actividades de reforestación, el mantenimiento constante a las vías, la implementación de alertas tempranas, la reubicación de escuelas y viviendas que estén expuesta a los eventos, e implementación de alcantarillas en las zonas rurales que carezcan de ellas.

- Sequía

Los actores expresaron que las afectaciones que se han presentado por el evento de sequía han sido en el municipio de Yaguará en la vereda La Floresta y en el municipio de Tesalia en el casco urbano, generando afectación en la infraestructura de las viviendas, pérdidas de cultivos, afectación al abastecimiento del acueducto veredal causando la carencia de acceso al agua potable de la población, e incrementando la pérdida de ganado. Los actores proponen implementar programas enfocados a la protección de los nacimientos de agua y las microcuencas.

Figura 2.5. Registro fotográfico núcleos territoriales.



Los soportes del desarrollo del núcleo territorial se presentan en el anexo 2.

2.1.5. Rutas Veredales

La ruta veredal de gestión del riesgo, se convirtió en el espacio propicio para verificar el estado de los eventos amenazantes reportados e identificar aquellos fenómenos con procesos de activación reciente. El recorrido se apoyó en el acompañamiento de los actores estratégicos, los cuales contribuyeron a caracterizar las condiciones de amenaza y vulnerabilidad del territorio.

Figura 2.6. Ruta veredal de gestión del riesgo



Fuente: El consorcio, 2022

El formato para el inventario de movimientos en masa (Ver Figura 2.7), incluye atributos que permiten describir la localización geográfica, Características del Material, Clasificación de los movimientos, características de la zona inestable, causas, actividad del movimiento y Afectaciones.


Figura 2.7. Formato inventario movimientos en masa

AMGEOMING S.A.S Soluciones Ingenieriles		INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA Y EROSION		VERSIÓN 1 AMG-FCIMME - 001 Pág 1 de 1	
Proyecto: <u>POMCA Río Yaguará</u>		Norte: <u>2°39'44.0"N</u>	Fecha: <u>24-03-2022</u>	USO DE LA TIERRA	
Departamento: <u>Huila</u>		Este: <u>75°39'02.2"W</u>	Estación: <u>070204-016</u>	Sin Uso <input type="checkbox"/>	
Municipio: <u>29 de Julio</u>		Altura: <u>1322.20</u> m.s.n.m		Cultivado <input type="checkbox"/>	
Vereda: <u>Vereda Recreo</u>		Origen: <u>Huila - 5790</u>		Viviendas <input type="checkbox"/>	
Nombre del sitio: <u>LA SUBACHA</u>				Vías <input checked="" type="checkbox"/>	
Otro: <input type="checkbox"/>					
FRECUENCIA Y ESTABILIDAD			OBSERVACIONES		
FECHA DEL MOVIMIENTO	FRECUENCIA	ESTABILIDAD	OBRAS Y MEDIDA	TIPO DE PROPAGACIÓN	Observaciones frecuencia y estabilidad del movimiento
DD / MM / AA	Frecuencia: <u>N/A</u> (# Movimiento)				
Ultimo movimiento: <u>N/A</u>	Asociado a:		Ninguna <input checked="" type="checkbox"/>	Retrogrado <input type="checkbox"/>	
Anteriores:	Lluvia <input checked="" type="checkbox"/>	Inestable <input type="checkbox"/>	Est. Contención <input type="checkbox"/>	Progresivo <input checked="" type="checkbox"/>	
	Sismos <input type="checkbox"/>	Latente <input type="checkbox"/>	Cambio geometría <input type="checkbox"/>	Extensión lateral <input type="checkbox"/>	
	Excavaciones <input type="checkbox"/>	Estable <input checked="" type="checkbox"/>	Manejo drenaje <input type="checkbox"/>	Otro: <input type="checkbox"/>	
	Sobrecarga <input type="checkbox"/>		Otro: <input type="checkbox"/>		
Otro: <input type="checkbox"/>					
CLASIFICACIÓN					
MOVIMIENTOS EN MASA			EROSIÓN		
1. Reptaciones	Continua <input type="checkbox"/> Estacional <input type="checkbox"/>	Modo	Velocidad	Estado	Detonantes
2. Deslizamiento	Rotacional <input type="checkbox"/> Traslacional <input type="checkbox"/> En cuñas <input type="checkbox"/>	Compuesto <input type="checkbox"/>	Ext. Rápido <input type="checkbox"/>	Incipiente <input type="checkbox"/>	Excavaciones <input type="checkbox"/>
3. Caída		Enjambres <input type="checkbox"/>	Muy rápido <input type="checkbox"/>	Medio <input checked="" type="checkbox"/>	Cultivos <input type="checkbox"/>
4. Volcamiento		Simple <input checked="" type="checkbox"/>	Rápido <input type="checkbox"/>	Avanzado <input type="checkbox"/>	Deforestación <input type="checkbox"/>
5. Propag. Lateral			Moderado <input type="checkbox"/>	Reciente <input type="checkbox"/>	Lluvias <input type="checkbox"/>
6. Flujo		Tipo de Material	Lenito <input type="checkbox"/>	Análogo <input checked="" type="checkbox"/>	Deslizamiento <input type="checkbox"/>
7. Subsistencia		Rocas <input type="checkbox"/>	Muy lenito <input type="checkbox"/>		Socavación <input type="checkbox"/>
		Suelos <input type="checkbox"/>	Ext. Lenito <input type="checkbox"/>		
		Detritos > 50% de grueso <input checked="" type="checkbox"/>			
		Tierras < 50% de finos <input type="checkbox"/>			
8. Transporte en agua					Otros: <input type="checkbox"/>
Avenidas torrenciales					Tasa de pérdida de material
Avalanchas					Alta <input type="checkbox"/>
	Clasificación:				Medio <input checked="" type="checkbox"/>
					Baja <input type="checkbox"/>
MATERIALES INVOLUCRADOS (DESPLAZADOS)					
Roca	Suelo	Origen	Consistencia	Material rocoso	Humedad
Formación Geológica: <u>ED. S. B. D. P. A. A.</u>	Formación Geológica: <u>ED. S. B. D. P. A. A.</u>	Residual <input checked="" type="checkbox"/>	Suelo arcilloso	Muy suelto <input type="checkbox"/>	Seco <input type="checkbox"/>
Ignea <input checked="" type="checkbox"/>	Roca parental: <u>COBA</u>	Transportado <input type="checkbox"/>	Muy blando <input type="checkbox"/>	Deleznable <input type="checkbox"/>	Ligeramente húmedo <input type="checkbox"/>
Sedimentaria <input type="checkbox"/>	Clasificación U.S.C.S.: <u>COBA</u>		Firme a duro <input type="checkbox"/>	Fiel <input type="checkbox"/>	Muy húmedo <input type="checkbox"/>
Metamórfica <input type="checkbox"/>	Nombre: <u>COBA</u>		Muy duro <input type="checkbox"/>	Blando <input type="checkbox"/>	Empapado <input type="checkbox"/>
				Denso a muy denso <input type="checkbox"/>	
				Duro <input type="checkbox"/>	
BREVE DESCRIPCIÓN DE LA GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA (INFLUENCIA DE FALLAS Y DISCONTINUIDADES)					

Fuente: El consorcio, 2022

Por otro lado, se desarrolló una encuesta con comunidades, la cual indaga sobre el tipo y localización de los eventos amenazantes, fecha de ocurrencia, frecuencia, daños o afectaciones y medidas implementadas para la mitigación de los efectos generados.

Figura 2.8. Formato acompañamiento ruta veredal

POMCA  **RÍO YAGUARÁ**
FORMULACIÓN

Ruta veredal
Gestión del riesgo
N° 1

20 07 2023 **FASE DE DIAGNÓSTICO**

Ruta Veredal del Gestión del Riesgo

Nombre y/u organización	Mariluz Sanchez Abde JAC Potrero grande		
Municipio	Tesutca	Vereda	Potrero grande
Teléfono			

¿Qué tipo de evento se ha presentado en su territorio?

Avenida torrencial	Movimiento en masa	X	Inundación	
Vendaval	Incendio de la cobertura vegetal	X	Sequía	X
Sismo	Otro	X		

Afectaciones del evento

¿Cuándo se presentó el evento?	¿En qué lugar se presentó el evento?			
→ Vive aquí hace 7 años y se generan grietas en la casa en época seca.	→ Toda la vereda de Potrero grande.			
→ En enero sintieron el último temblor.	→ Sismos. Continuamente se mueven los letreros.			
→ En un año volvieron a salir grietas en la vivienda reparada.				
¿El evento se repite? ¿Cada cuánto?	¿Cuáles fueron las pérdidas o daños causados?			
→ Temporada seca	Viviendas	Vías	Servicios	Vidas
→ Las grietas son cada vez más grande.	X			
	Heridos	Puentes	Cultivos	Otro
				X - Potreros.

¿Qué acciones correctivas se tomaron?

→ No se han hecho visitas ni implementado medidas al respecto.

→ Sequía → Junio a Agosto → 11 Familias → Racionamiento de agua por disminución del recurso en la quebrada

→ Incendios en el Cerro Potrero grande / 2021-2020 → Rayo cayó en el Cerro y la incendio - temp. seca.

En caso de que el evento corresponda a **INUNDACIÓN y/o AVENIDA TORRENCIAL** responda: **Se requirió helicóptero para su tratamiento**





Inundación

¿Qué nivel alcanzó la inundación?

Avenida torrencial

¿De qué tamaño o dimensión eran las rocas arrastradas por el evento?

Carrera 51B N° 82 - 254. Piso 2, Oficina 26.
C.C. Bahía, Barranquilla D.E.I.P.
Tel: 300 667 07 40
Correo electrónico: yaguara@ecodalt.com

Fuente: El consorcio, 2022

Los soportes del desarrollo de la ruta, se presentan en el anexo 3.

2.2. Consolidación catálogo histórico de eventos amenazantes

La información citada en el numeral anterior, se sistematizó siguiendo los lineamientos contenidos en el Protocolo para la incorporación de la Gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, a través de un formato compuesto por los siguientes campos:

Tabla 2.3. Campos catálogo de eventos amenazantes

Campo	Atributo	Descripción
Evento	ID Evento	Código de identificación del evento
	Tipo de Evento	Indica el tipo de fenómeno amenazante reportado (Ej. Movimiento en Masa, Incendio Forestal, Inundación, Avenida Torrencial, Otro).
	Fecha de evento	Hace referencia al día, mes y año en el cual se presentó el evento amenazante.
	Fecha de reporte	Hace referencia al día, mes y año en el cual se reportó el evento amenazante.
Localización geográfica	Departamento	Departamento dónde se localiza el evento
	Municipio	Municipio dónde se localiza el evento
	Vereda	Vereda dónde se localiza el evento
	Coordenada Este	Coordenada Este del punto, debe ser calculada en el sistema de referencia oficial (Magna Sirgas origen único)
	Coordenada Norte	Coordenada norte del punto, debe ser calculada en el sistema de referencia oficial (Magna Sirgas Origen único)
Características de los eventos	Mecanismo reportado	Tipo de movimiento en masa (ej. Deslizamiento, reptación, caída, entre otros)
	Edad	Tiempo de ocurrencia del movimiento en masa
	Estilo	Identifica si el movimiento en masa es complejo, compuesto, múltiple, sucesivo o único.
	Estado	Condición del movimiento en masa (ej. Activo, reactivado, latente, estabilizado, entre otros)
	Distribución	Identifica si el movimiento en masa es retrogresivo, avanzado, ensanchado, confinado, creciente, decreciente o móvil.
	Magnitud	Medida cuantitativa del tamaño sismo; valor expresado acorde con la escala de Richter.
	Profundidad	Medida desde la superficie de la tierra en el punto llamado epicentro hasta el punto exacto donde se produjo el sismo; su valor expresa en Km
	Fuente	Origen de la información del evento
	Detonante	Elemento que dio origen al evento amenazante.
	Vidas	Número de vidas
Afectación	Heridos	Número de heridos
	Desaparecidos	Número de personas desaparecidas por causa del evento
	Personas Damnificadas	Número de afectados por causa del evento

Campo	Atributo	Descripción
	Familias Damnificadas	Número de familias afectadas
	Viv. Destruídas	Número de viviendas que resultaron destruidas como consecuencia del evento amenazante.
	Viv. Averiadas	Número de viviendas que resultaron afectadas como consecuencia del evento amenazante.
	Vías	Número de vías destruidas y/o afectadas
	Servicios	Señala la existencia o no de afectaciones sobre el servicio de acueducto y/o alcantarillado
	Puentes vehiculares y/o peatonales	Número de puentes vehiculares y/o peatonales afectados
	Bosques y/o cultivos	Hectáreas de cultivos y/o bosques que han sido destruidas a causa de un evento amenazante.
	Semovientes	Número de cabezas de ganado perdidas por causa del evento.
	C. Educativos	Número de centros educativos afectados
	C. Salud	Número de centros de salud y/o hospitales afectados.
	C. Comunitario	Número de centros comunitarios afectados.
	Otros	Expresa las afectaciones a los bienes, infraestructura o elementos que no están clasificados dentro de las anteriores categorías.
Observaciones		Información adicional y/o ampliación de las características del suceso amenazante.

Fuente: El consorcio, 2022

El consolidado de los eventos históricos amenazantes se presenta en el Anexo 1. Este instrumento denota la ocurrencia de 245 sucesos amenazantes, en el periodo comprendido entre 1953 y 2022, siendo los movimientos en masa e incendios de la cobertura vegetal, los fenómenos más recurrentes; los cuales, además presentan las mayores pérdidas asociadas.

2.3. Análisis de la localización y frecuencia de los eventos amenazantes

De acuerdo con el análisis de los eventos registrados en el área de jurisdicción de la cuenca hidrográfica del río Yaguará, se identificaron en el periodo de análisis (1953-2022) un total de 245 eventos; siendo los movimientos en masa e incendios de la cobertura vegetal, los fenómenos con mayor recurrencia en el territorio en ordenación con 96 y 99 registros respectivamente.

En relación con la división política –administrativa, el municipio de Yaguará concentra el 32,91% de los eventos registrados en el catálogo, el 25,74% se presentan en el municipio de Teruel y el 41,35% restante se exhiben en las otras entidades territoriales.

Los periodos de ocurrencia de los fenómenos amenazantes, denota mayor registro en los últimos 15 años, siendo el periodo comprendido 2008 y 2018, el que agrupa el 53,16% de los fenómenos amenazantes identificados en el territorio en ordenación.

2.3.1. Incendios de la cobertura vegetal

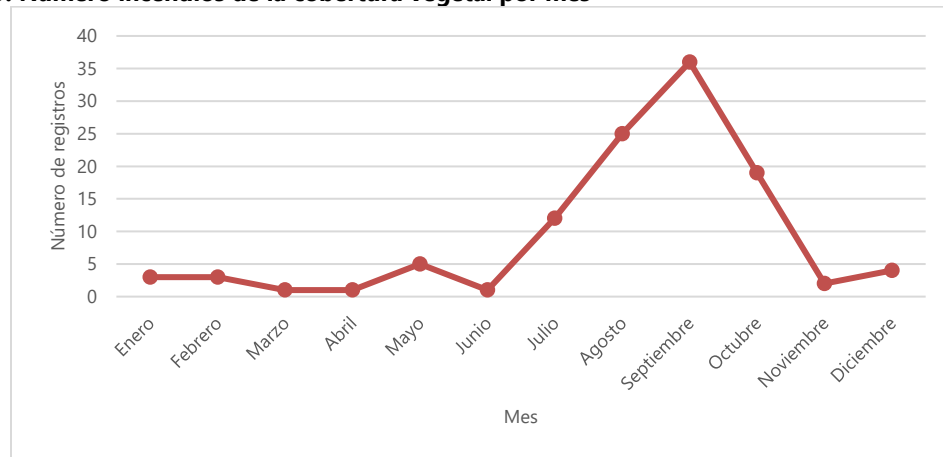
En la revisión documental, se encontraron 99 eventos amenazantes relacionados con incendios de la cobertura vegetal, con poca información relacionada con los factores detonantes de dicha amenaza; sin embargo, los habitantes de la cuenca, afirman que este tipo de eventos son frecuentes en las temporadas de baja precipitación, como consecuencia de la quema de basuras, quema para la adecuación del terreno y altas temperaturas.

Las implicaciones económicas y ambientales de este tipo de amenaza, tienen repercusión directamente en el nivel de vida de los habitantes; ya que su aparición y extensión se asocia principalmente con el tipo de cobertura vegetal presente en la zona (Ej. Cultivos). Para la cuenca del río Yaguará, la ocurrencia de incendios de la cobertura vegetal, ha causado la destrucción de aproximadamente 1.703 hectáreas de cultivos y/o Bosques naturales.

Como resultado de la revisión de información y acercamientos con los actores estratégicos de la cuenca, se evidenció que los sectores con mayores reportes son: Estambul, Mesón, Alto de la Hocha, Potrerogrande, Espinal, Rapayucos, Yuyos, Vergel, Jaho, Ibirco, San Francisco, Recreo, Alto Carmelo, Triunfo, Hondura, Teniente, Vilu, El Viso, Flandes, y centros poblados de Pacarní y Valencia La Paz (Ver Figura 2.10)

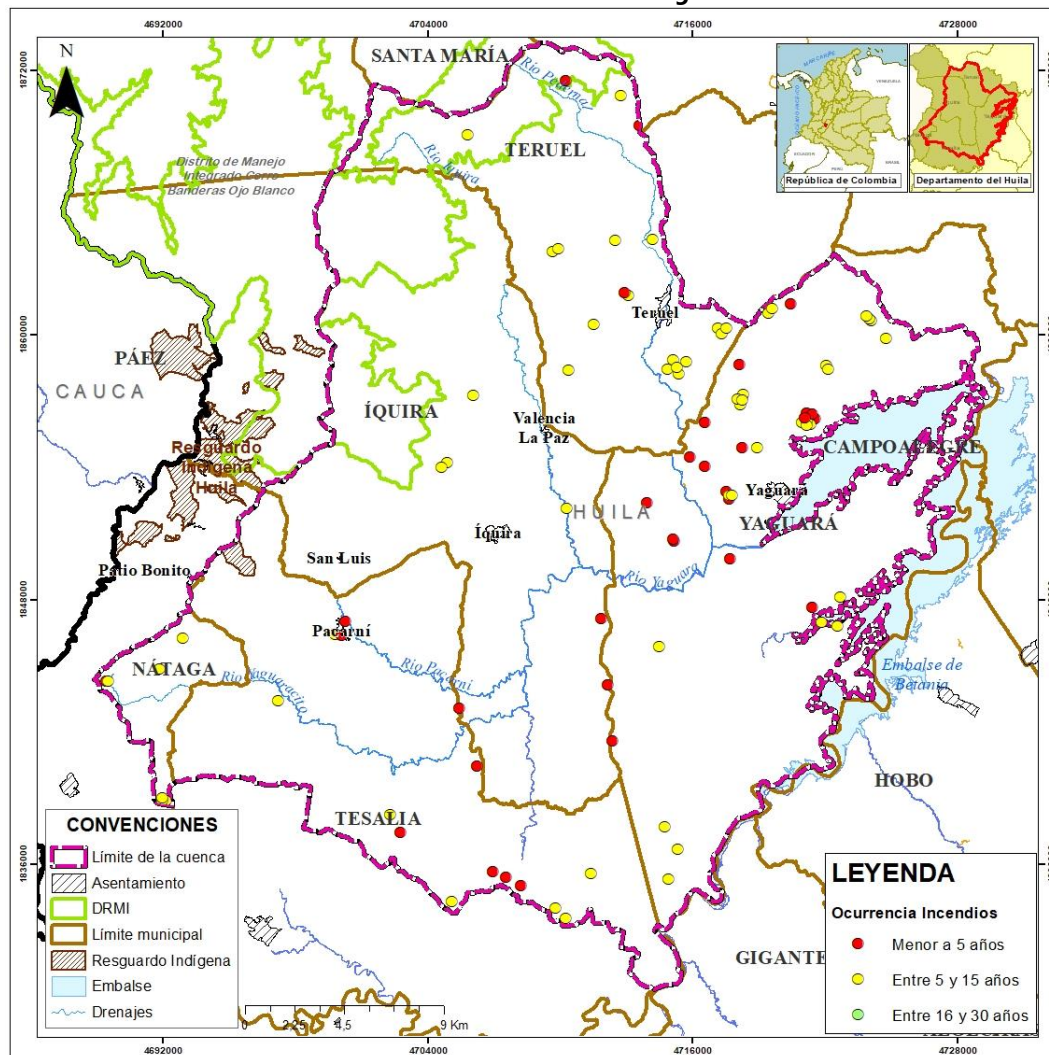
Debido a las características físicas y climáticas del territorio, los incendios se presentan con mayor frecuencia en el periodo comprendido entre julio y octubre (ver Figura 2.9); eventos que se han incrementado en los últimos años.

Figura 2.9. Número incendios de la cobertura vegetal por mes



Fuente: El Consorcio, 2022

Figura 2.10. Localización eventos de incendios de la cobertura vegetal



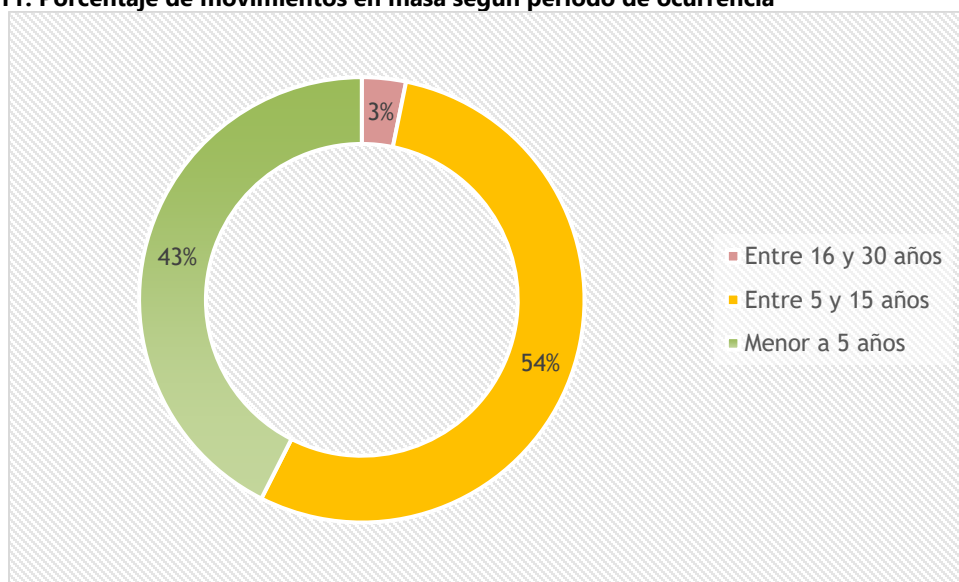
Fuente: El Consorcio, 2022

El mapa con la localización de los eventos de incendios de la cobertura vegetal se presenta en el Anexo/07_cartografia_Tematica/01_Mapas/01_EVENTOS/02_EVENTO_IF

2.3.2. Movimientos en masa

En la cuenca del río Yaguará, los registros históricos revelan la ocurrencia de 96 eventos asociados a movimientos en masa en el periodo comprendido entre 1979 y 2021; denotando incrementos notorios en la frecuencia de ocurrencia. En la Figura 2.11, se aprecia que el 96,81% de los eventos reportados, se han presentado en los últimos 15 años, siendo el reporte más reciente, el acontecido el 29 de noviembre de 2021.

Figura 2.11. Porcentaje de movimientos en masa según periodo de ocurrencia

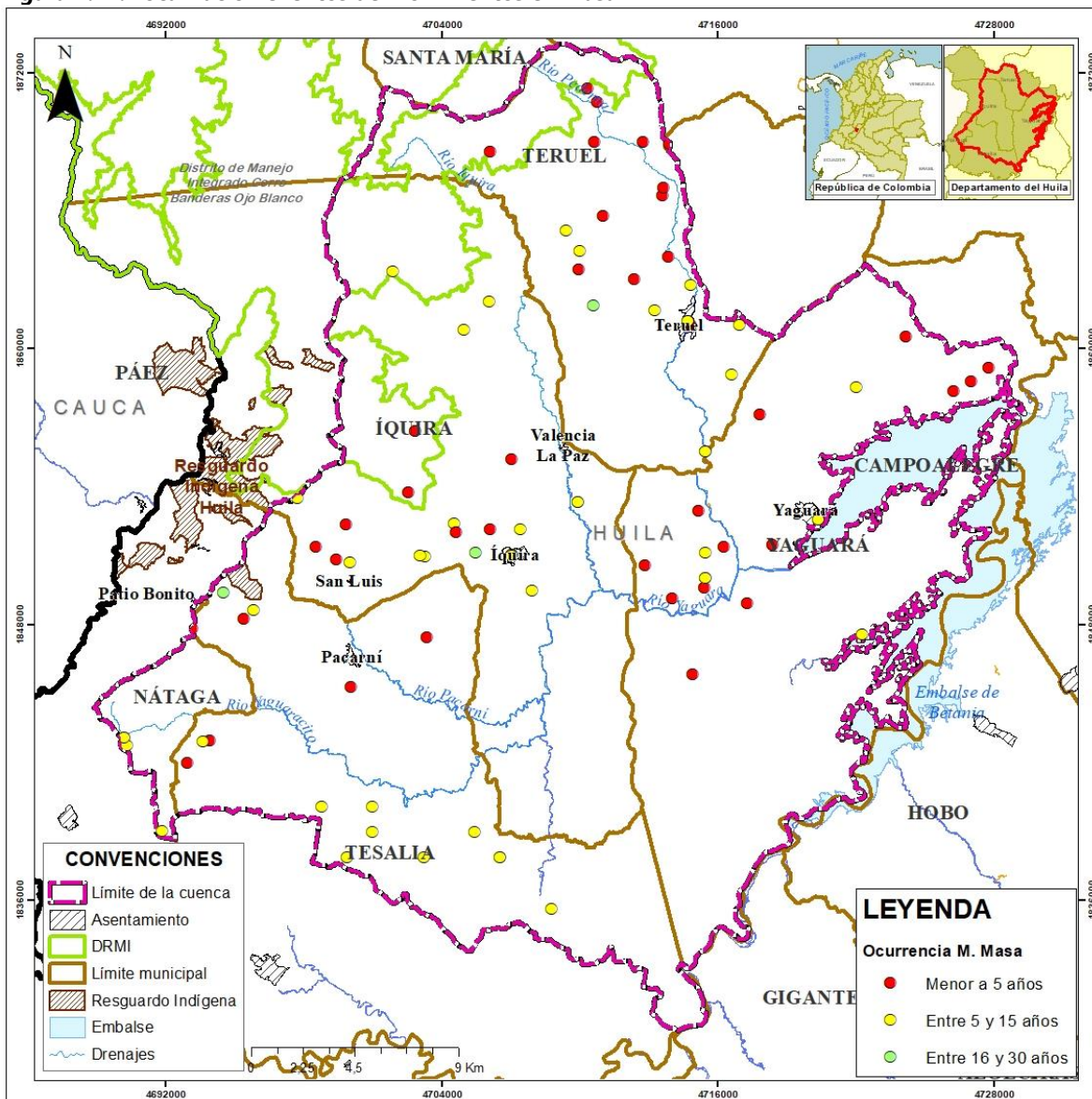


Fuente: El Consorcio, 2022

Los instrumentos de planificación territorial, señalan áreas con alta probabilidad de ocurrencia de fenómenos asociados a deslizamiento, en las veredas de San Luis, Almorzadero, Las Herreras, Yarumal, Estambul, Primavera, Pedernal, Palmito, Moral, Potrero grande, Vergel, Sinaí. Vilú, Arenoso, Floresta, La Paz Juancho, San isidro, San Francisco Buenos Aires, Rionegro, Nazareth, Laureles, Honduras, Yatumal, Teniente y Mercedes.

Asimismo, durante los espacios de participación, los habitantes de la cuenca, señalaron que los sectores con mayores afectaciones son los siguientes: Buena Vista, Honduras, Ambica, Ibirco, Potreritos, Juancho, Villa María, Pedernal, Portachuelo, Corrales, La Floresta, Letrán y Upar. En la Figura 2.12, se presentan los eventos por movimientos en masa, que cuentan con geoposición definida.

Figura 2.12. Localización eventos de movimientos en masa



Fuente: El Consorcio, 2022

Los movimientos en masa ocurridos en la cuenca durante el periodo de análisis, han dejado un total de 101 viviendas destruidas, 361 viviendas afectadas y dos (2) puentes vehiculares con algún tipo de daño. Asimismo, los eventos han ocasionado la pérdida de ocho (8) vidas humanas y ha dejado más de 2.611 damnificados.

De acuerdo con lo anterior, los movimientos en masa se configuran como el fenómeno amenazante más recurrente en la cuenca en ordenación, con amplias repercusiones en el desarrollo socioeconómico de la región. Su zonificación se detalla en los numerales 3.2 y 4.2.

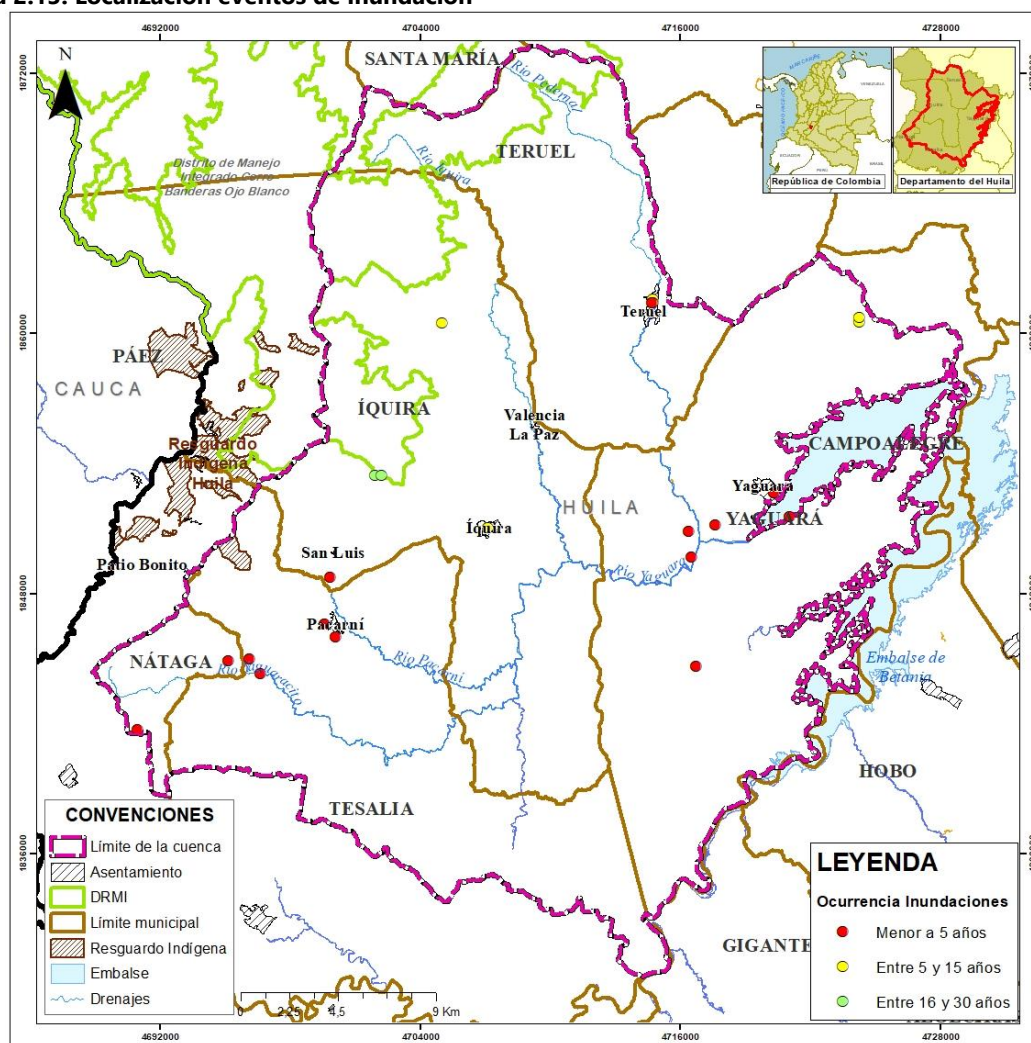
El mapa con la localización de los eventos de movimientos en masa se presenta en el Anexo//07_cartografia_Tematica/01_Mapas /01_EVENTOS/02_EVENTO_MM

2.3.3. Inundaciones

De acuerdo con la información secundaria y los aportes de los actores, en la cuenca del río Yaguará, se han registrado 23 eventos de inundación entre 1953-2022. El análisis de la frecuencia indica que, estos fenómenos se presentan con mayor recurrencia en el primer semestre del año, durante los meses de marzo y abril.

Estos procesos están asociados principalmente a las dinámicas fluviales de los ríos Yaguará, Pedernal, Íquira y Callejón y las quebradas Chichayaco, La Murcielaga y La Caraguasa; los cuales causan afectaciones de gran magnitud en las comunidades que habitan en cercanías a estos afluentes. En la Figura 2.13, se aprecia la localización de los eventos de inundación.

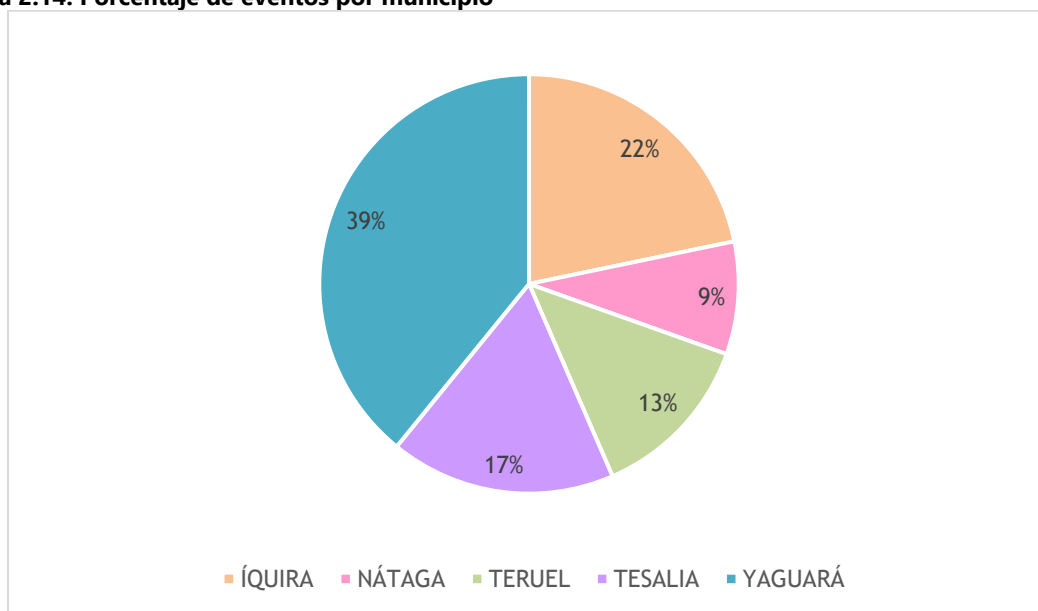
Figura 2.13. Localización eventos de inundación



Fuente: El Consorcio, 2022

En relación con el contexto político –administrativo, se denota que el 39,13% de los eventos se registraron en el municipio de Yaguará, el 21,74% en el municipio de Íquira y el 17,39%, 13,04% y 8,70% en los municipios de Tesalia, Teruel y Nátaga respectivamente. Se resalta que el 60,87% de los registros (14 registros) acontecieron durante los últimos cinco (5) años.

Figura 2.14. Porcentaje de eventos por municipio



Fuente: El Consorcio, 2022

La magnitud y frecuencia de los eventos de inundación están asociadas a las épocas con mayores índices de pluviosidad, siendo las lluvias intensas, el factor detonante que predomina en el área de estudio. Adicionalmente, los registros constatan que la ocurrencia de este tipo de eventos, causan diversas afectaciones en el entorno, dejando hasta la fecha 155 viviendas destruidas, 258 viviendas averiadas, tres (3) centros educativos afectados y siete (7) vías obstruidas.

El mapa con la localización de los eventos de inundaciones se presenta en el Anexo/07_cartografia_Tematica/01_Mapas /01_EVENTOS/03_EVENTO_IN

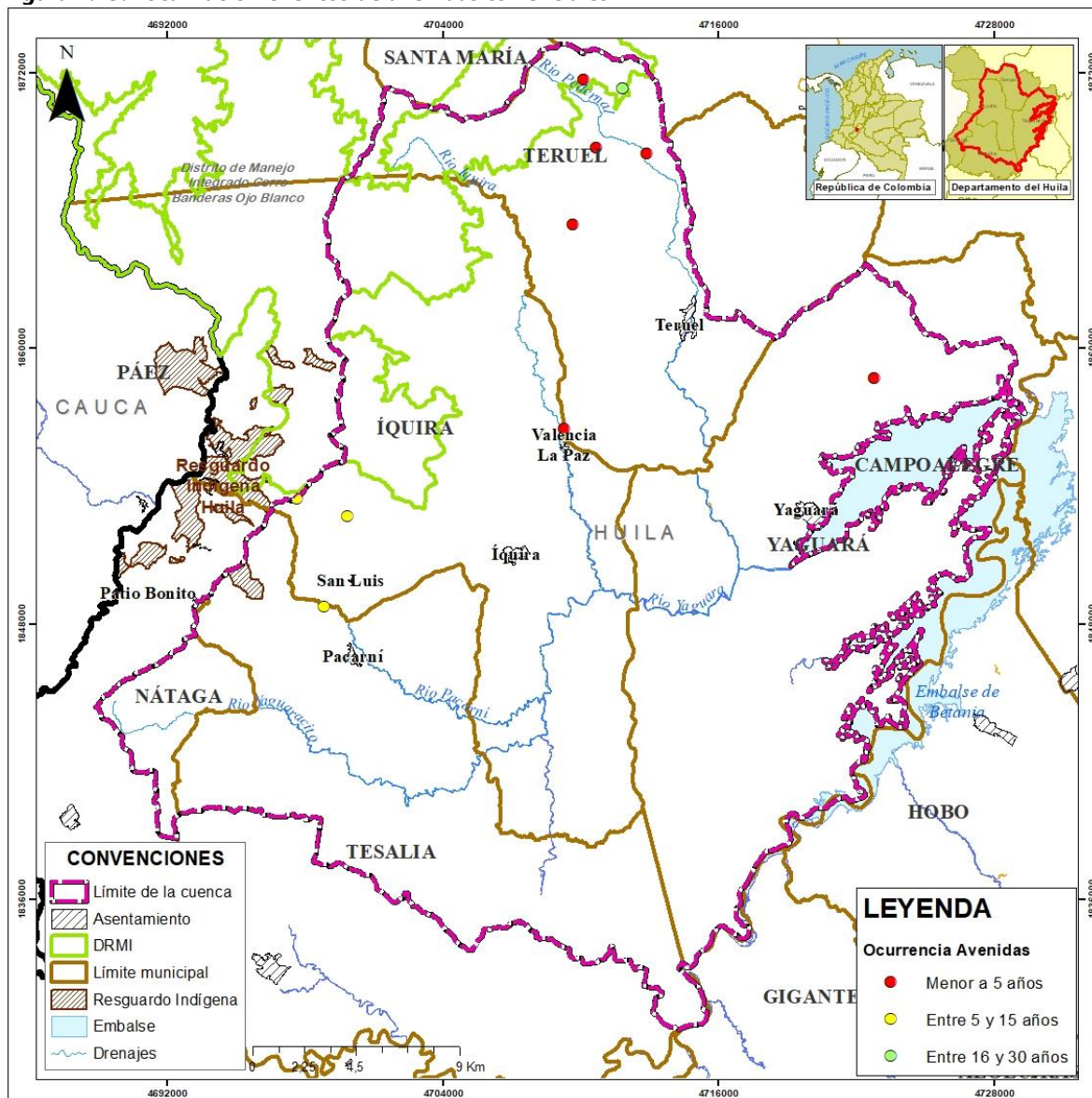
2.3.4. Avenidas Torrenciales

Las avenidas torrenciales son fenómenos que, si bien poseen una ocurrencia relativamente baja, causa grandes pérdidas de vidas humanas e infraestructura, siendo relevante su inclusión dentro de los instrumentos de planificación territorial

En el caso de la Cuenca Hidrográfica del río Yaguará, se ha registrado once (11) avenidas torrenciales entre 1995 y 2020, las cuales han generado afectaciones en los municipios de

Teruel e Íquira, dentro de la jurisdicción de las veredas de Corrales, Pedernal, Herrera, Rionegro, El Tote, Villamaría y San Luis (Ver Figura 2.15).

Figura 2.15. Localización eventos de avenidas torrenciales



Fuente: El Consorcio, 2022

Durante los acercamientos participativos realizados en la etapa de aprestamiento; la comunidad manifestó la relevancia de este fenómeno amenazante, dado los daños y afectaciones generadas en el territorio, que incluso ha conllevado a la pérdida de vidas humanas. Se estima que las avenidas torrenciales han dejado un total de tres (3) viviendas destruidas, 336 viviendas afectadas y una (1) vía con algún tipo de daño. Asimismo, los eventos han ocasionado la pérdida de tres (3) vidas humanas y ha dejado alrededor de 1.629 damnificados.

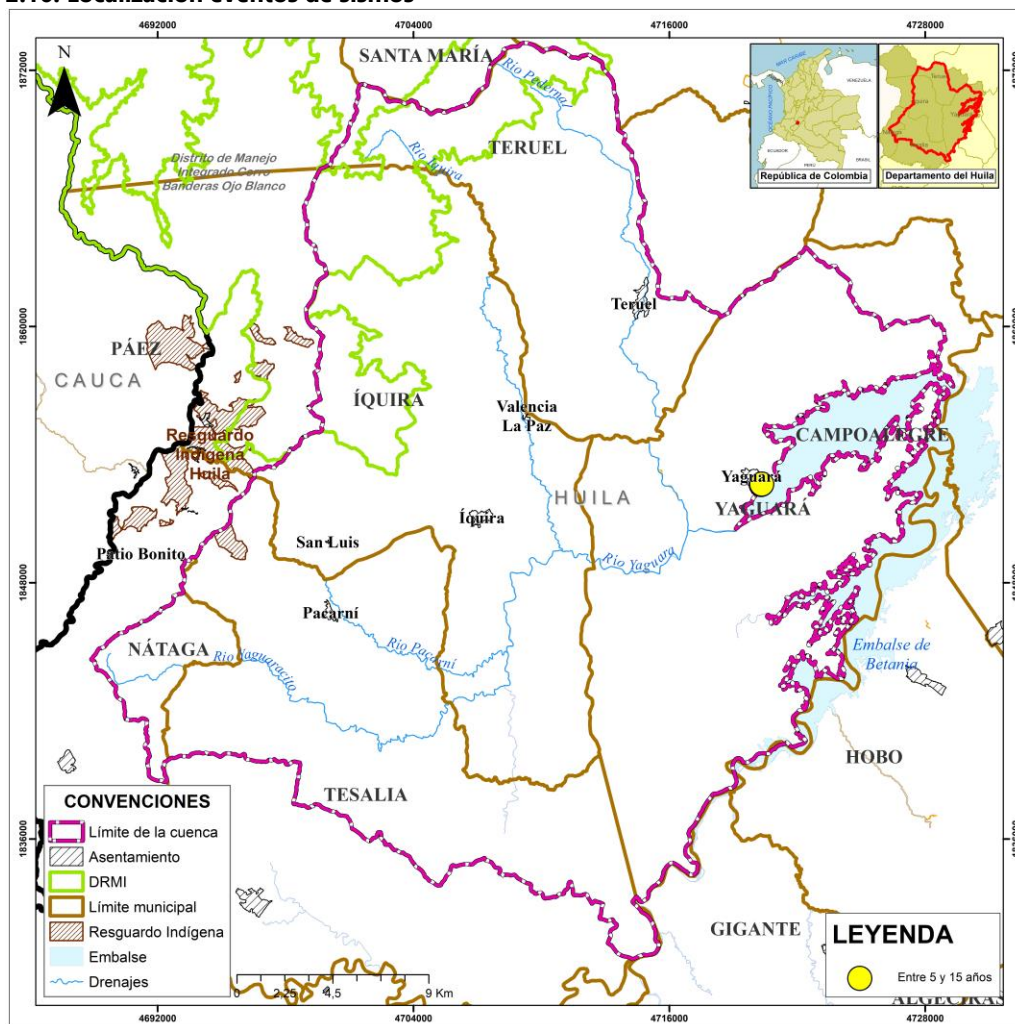
El mapa con la localización de los eventos de avenidas torrenciales se presenta en el Anexo/07_cartografia_Tematica/01_Mapas /01_EVENTOS/01_EVENTO_AT

2.3.5. Otros eventos

Se identificaron por medio de la información secundaria y los aportes de los actores en el taller de Aprestamiento otros tipos de eventos, como sequías, tormentas eléctricas, sismos y vendavales. En total se presentaron 16 eventos en el periodo de análisis entre 1986 al 2022.

En la cuenca hidrográfica objeto de ordenación se registraron dos (2) eventos de sismos en total, ubicados en el municipio de Yaguará en la zona urbana; en uno de los eventos se reportó cinco (5) personas damnificadas, una (1) familia damnificada, una (1) vivienda averiada, un (1) cultivo perjudicado, y una (1) afectación estructural de la estación de bomberos.

Figura 2.16. Localización eventos de sismos

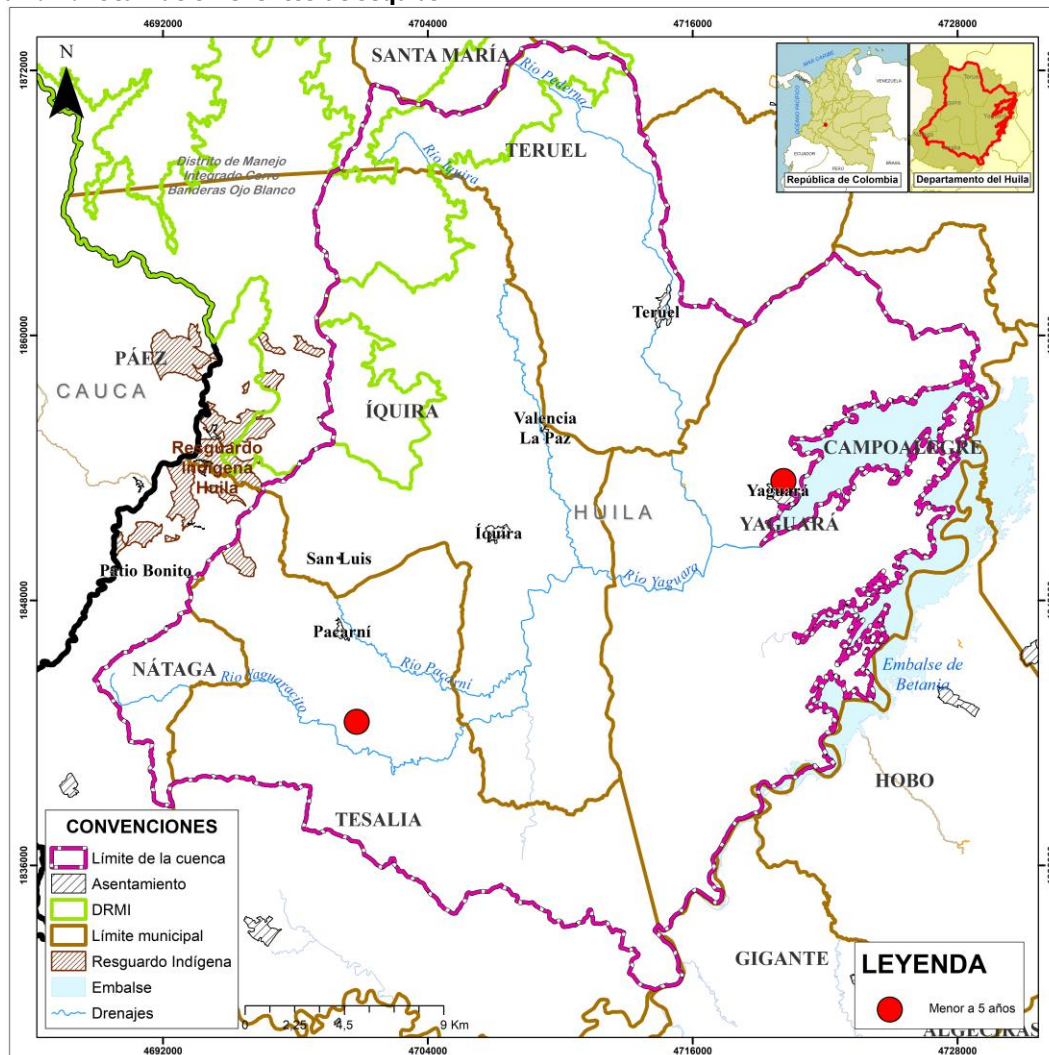


Fuente: El Consorcio, 2022

Se identificaron dos (2) eventos por sequía sobre el área de la cuenca, estos eventos se presentaron en el año 2016 en el municipio de Tesalia en las veredas Piedra Gorda y El Viso. La comunidad reportó afectación sobre los cuerpos de agua, generando la disminuyendo del caudal; de igual manera afectó cultivos de café y áreas de pastos.

La magnitud y frecuencia de los eventos de sequía están asociadas a las épocas con menor precipitación, siendo detonante la ausencia de lluvias y el incremento de la temperatura.

Figura 2.17. Localización eventos de sequías



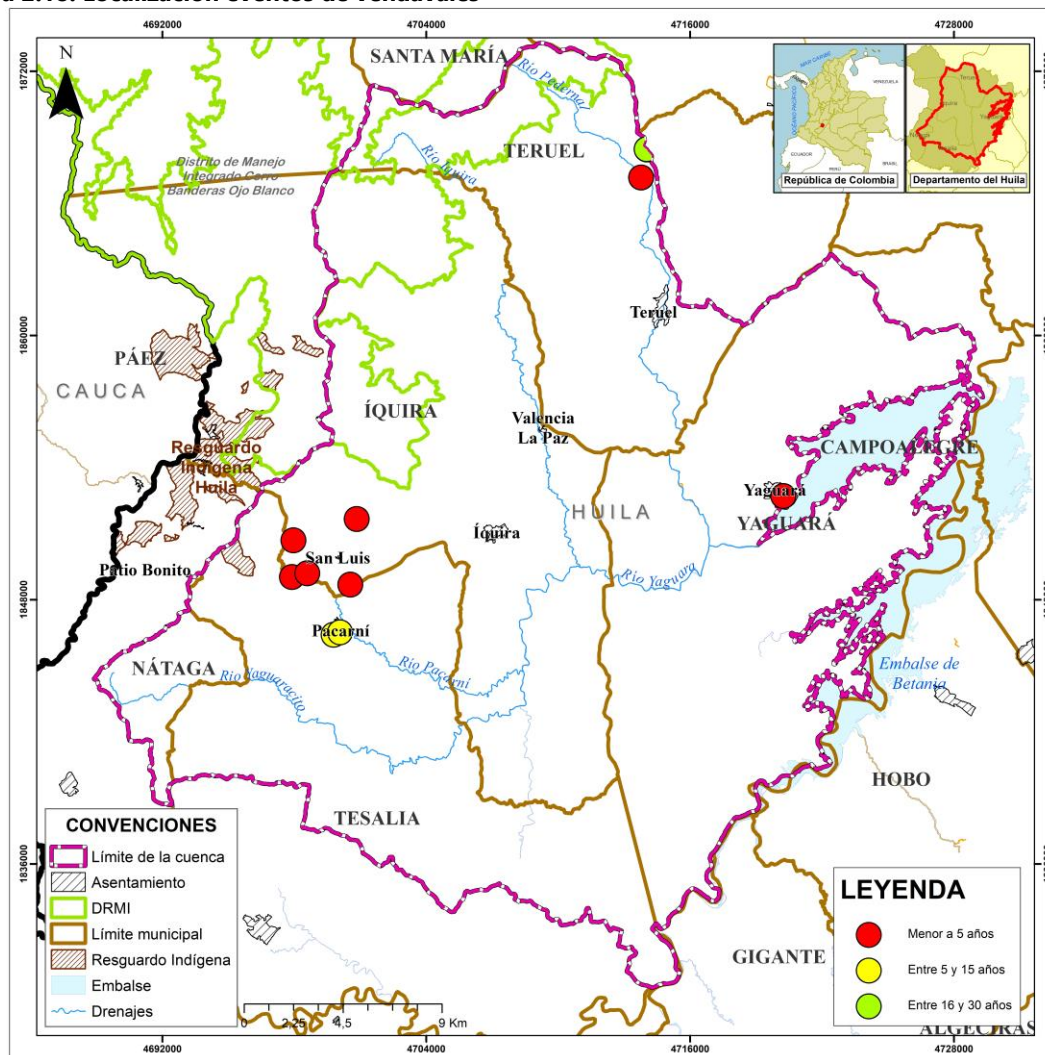
Fuente: El Consorcio, 2022

Entre los registros históricos y los aportes de los actores dados en el taller de aprestamiento, se pudieron identificar un total de once (11) eventos de vendavales en la cuenca, entre 1986 al 2022. En el municipio de Iquira, mayor número de eventos a comparación de los otros municipios, con un total de cuatro (4) eventos en las veredas Garvanzal, Cerro Damitas y El Tote. En cuanto a los municipios

de Teruel y Tesalia, se presentaron tres (3) eventos respectivamente; por último, en Yaguará se presentó un (1) solo evento.

Los vendavales son generados por el cambio de la presión atmosférica y la temperatura del aire, los cuales se presentan en épocas de altas precipitaciones. Se estima que este tipo de evento ha generado las siguientes afectaciones: ciento quince (115) personas damnificadas, veintitrés (23) familias damnificadas, treinta (30) viviendas averiadas, también la afectación a especies arbóreas y daños en la estructura de los postes de luz.

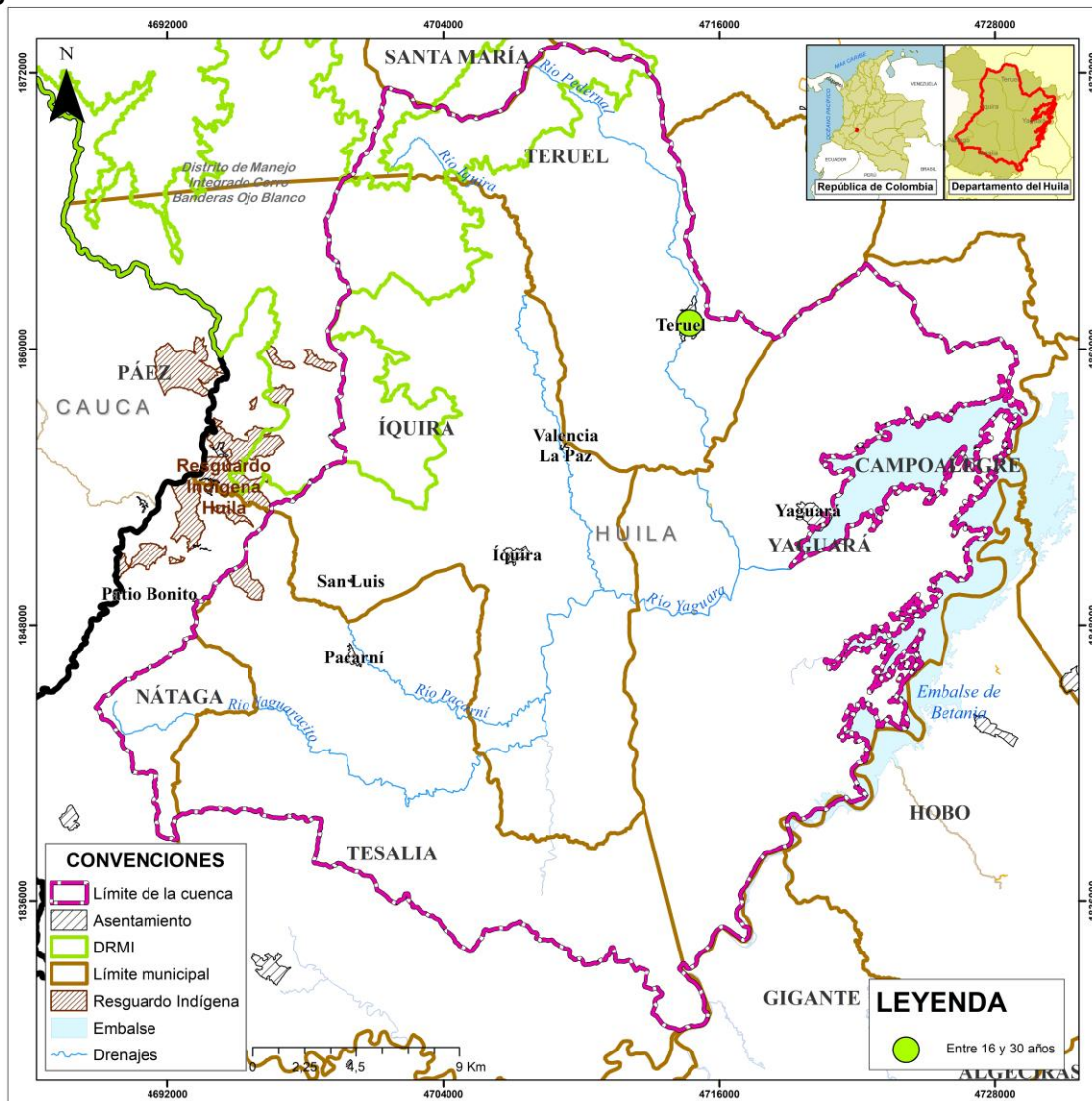
Figura 2.18. Localización eventos de vendavales



Fuente: El Consorcio, 2022

El registro de eventos históricos reporta un (1) evento de tormenta eléctrica en el área urbana del municipio de Teruel en el año 1986, generó afectación en la estructura del techo de cuarenta y cinco (45) viviendas, y el desbordamiento de ríos y quebradas. Este evento fue detonado posterior a una fuerte precipitación.

Figura 2.19. Localización eventos de tormentas eléctricas



Fuente: El Consorcio, 2022

Los mapas con la localización de los otros eventos se presentan en el Anexo/07_cartografia_Tematica/01_Mapas/01_EVENTOS/05_EVENTO_SM - /06_EVENTO_SQ - /07_EVENTO_TM - /08_EVENTO_VD

3. EVALUACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD

3.1. Incendios de la cobertura vegetal

El incendio de cobertura vegetal es la ocurrencia de fuego, el cual utiliza como combustible la biomasa y se propagada sin control; puede ser iniciado de forma natural (cambios climáticos) o por actividades antrópicas (prácticas agrícolas) (IDEAM, 2011). Este tipo de evento puede provocar impactos graves en el área de afectación, causando pérdida de biodiversidad, erosión del suelo, pérdida de nutrientes en el suelo, mineralización, incremento del pH del suelo, procesos de desertificación, disminución en el caudal de los cuerpos de agua, alteración de la calidad del aire, afectación económica y de la salud de las personas (UNGRD, 2019).

La evaluación a la susceptibilidad de incendios de cobertura vegetal considera la probabilidad de combustión sobre la biomasa, de acuerdo con las características físicas del área de estudio, como la cantidad de combustible disponible, su distribución y el grado de combustibilidad (Universidad Autónoma del Occidente, 2011).

3.1.1. Metodología

La susceptibilidad de los incendios de la cobertura vegetal correspondiente a la cuenca del río Yaguará, es determinada por el equipo técnico tomando como referencia la metodología establecida en el *Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal* del IDEAM (Figura 3.1).

Se evalúa la susceptibilidad con la capa de cobertura vegetal, como insumo inicial; para establecer mediante reclasificación las siguientes tres variables: tipo de combustible, duración del combustible y la carga total del combustible. Posterior a la reclasificación, se aplica la siguiente ecuación establecida por protocolo del IDEAM (2011), para determinar la susceptibilidad de incendios de la cobertura vegetal de la cuenca.

$$SUSC = CAL(tc) + CAL(dc) + CAL(ct) \quad (1)$$

Donde:

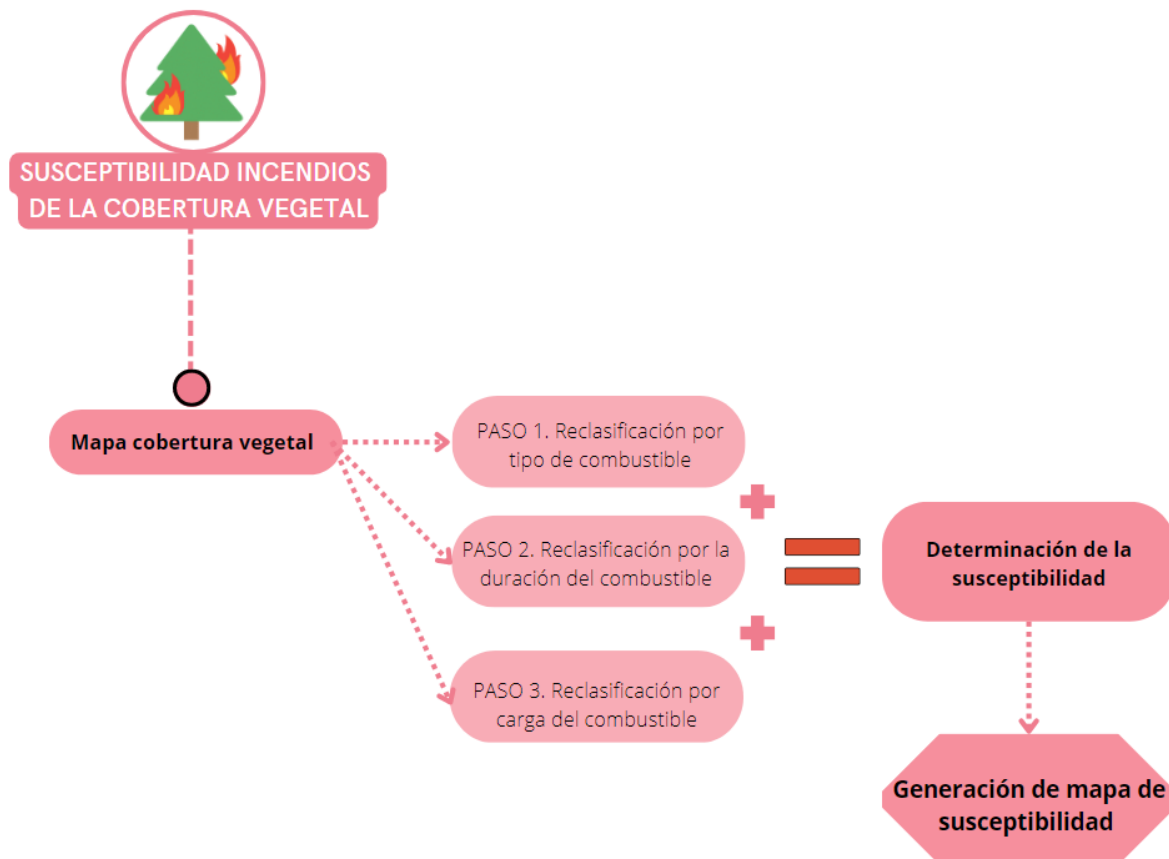
SUSC: Susceptibilidad de la vegetación (susceptibilidad bruta)

CAL(tc): Calificación del tipo de combustible

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

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

Figura 3.1. Diagrama de la metodología para susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022, adaptado del IDEAM (2011).

3.1.2. Variables utilizadas

3.1.2.1. Tipo de combustible

El tipo de combustible depende de las características pirogénicas que tenga el tipo de vegetación. Esta variable se determina mediante la capa de Coberturas, según el tipo de cobertura vegetal (nivel 3) que predomina en la Cuenca del río Yaguará.

Siguiendo los lineamientos del protocolo del IDEAM (2011) se realiza la reclasificación asignándole una respectiva categoría y calificación, como se observa en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Reclasificación por tipo de combustible

TIPO DE COBERTURA NIVEL 3	TIPO DE COMBUSTIBLES	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
Afloramientos rocosos, Zonas glaciares y nivales, Lagunas, lagos y ciénagas naturales	No combustibles	Muy baja	1
Tejido urbano continuo, Tejido urbano discontinuo	Áreas urbanas	Muy baja	1

TIPO DE COBERTURA NIVEL 3	TIPO DE COMBUSTIBLES	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
Bosque fragmentado, Bosque de galería y ripario, Bosque denso y Bosque fragmentado	Árboles	Baja	2
Vegetación secundaria alta	Árboles y arbustos	Moderada	3
Bosque denso, Arbustal	Arbustos	Alta	4
Mosaico de cultivos, Herbazal	Hierbas	Alta	4
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, Mosaico de pastos con espacios naturales, Mosaico de pastos y cultivos, Mosaico de pastos con espacios naturales	Pastos / Hierbas	Muy alta	5
Pastos enmalezados, Pastos limpios	Pastos	Muy alta	5

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022, adaptado del IDEAM (2011).

3.1.2.2. Duración del combustible

La duración del combustible es el tiempo de combustión de la biomasa, esto se puede determinar con el mapa de cobertura vegetal (nivel 3) de la Cuenca del río Yaguará; teniendo en cuenta los lineamientos del protocolo del IDEAM (2011) se realiza la reclasificación asignándole una respectiva categoría y calificación, como se observa en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Reclasificación de la duración del combustible

TIPO DE COBERTURA NIVEL 3	DURACIÓN DEL COMBUSTIBLE	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
Afloramientos rocosos, Zonas glaciares y navales, Lagunas, lagos y ciénagas naturales	No combustible	Muy baja	1
Tejido urbano continuo, Tejido urbano discontinuo	Áreas urbanas	Muy baja	1
Bosque fragmentado, Bosque de galería y ripario, Bosque denso, Arbustal	100 horas (predominio de árboles)	Baja	2
Mosaico de cultivos, Herbazal	10 horas (predominio de arbustos y hierbas)	Moderada	3
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, Mosaico de pastos con espacios naturales, Mosaico de pastos y cultivos, Mosaico de pastos con espacios naturales, Pastos enmalezados, Pastos limpios	1 hora (predominio de pastos)	Muy alta	4

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022, adaptado del IDEAM (2011).

3.1.2.3. Carga total del combustible

La carga total del combustible se refiere al contenido de biomasa de cada una de las coberturas predominantes (Ton/ha) en el área de estudio. Esta variable es determinada por las áreas ocupadas por tipo de cobertura vegetal (nivel 3) que predomina en la Cuenca del río Yaguará; teniendo en cuenta los lineamientos del protocolo del IDEAM (2011) se realiza la reclasificación asignándole una respectiva categoría y calificación, como se observa en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Reclasificación de la carga total del combustible

TIPO DE COBERTURA NIVEL 3	CARGA TOTAL DE COMBUSTIBLE	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
Afloramientos rocosos, Zonas glaciares y nivales, Lagunas, lagos y ciénagas naturales	No combustibles	Muy baja	1
Tejido urbano continuo, Tejido urbano discontinuo	Áreas urbanas (menos de 1 Ton/ha)	Muy baja	1
Pastos enmalezados, Pastos limpios, Mosaico de cultivos, Herbazal	Baja (1-50 Ton/ha)	Baja	2
Bosque denso, Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, Mosaico de pastos con espacios naturales, Mosaico de pastos y cultivos, Mosaico de pastos con espacios naturales	Media (50-100 Ton/ha)	Moderada	3
Bosque fragmentado, Bosque de galería y ripario, Bosque denso, Arbustal	Muy alta (más de 100 Ton/ha)	Muy alta	4

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022, adaptado del IDEAM (2011).

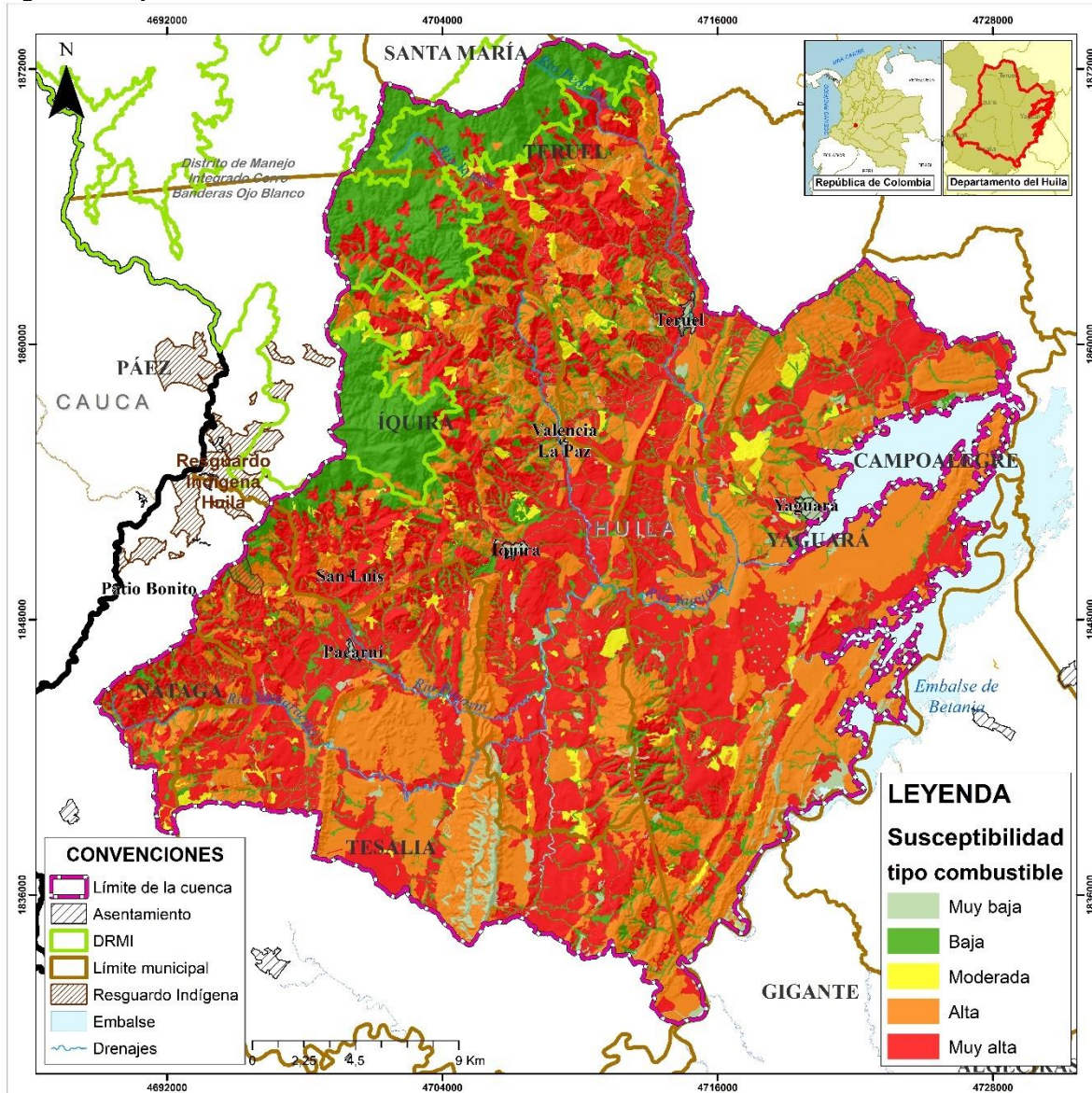
3.1.3. Resultados obtenidos

Posterior a la reclasificación del tipo de cobertura vegetal (nivel 3) presente en la Cuenca del río Yaguará, se analiza la susceptibilidad por el tipo de combustible, la duración del combustible y la carga total del combustible; como se observa a continuación.

3.1.3.1. Tipo de combustible

En la Tabla 3.4 se puede observar que el tipo de cobertura vegetal predominante en la cuenca del río Yaguará corresponde a los pastos. Este tipo de cobertura se considera como un combustible que presenta un nivel amenaza muy alta, abarcando una extensión de 37.026,59 ha, correspondiendo al 41,38% del área total de objeto de ordenación. Seguido del tipo de cobertura de árboles que abarcan el 20,19% del área total (18.065,67 ha); no obstante, al ser una cobertura vegetal con una amenaza baja, esta es susceptible de reaccionar ante situaciones de combustión. La cobertura vegetal de hierbas presenta una amenaza alta, ocupa un área de 16.284 ha, cubriendo el 18,20% del área total de la cuenca.

Figura 3.2. Tipo de combustible



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

La espacialización de la susceptibilidad a incendios forestales se puede observar en la Figura 3.2, la cual permite evidenciar que las zonas con mayor probabilidad a incendiarse se distribuyen en gran parte de la cuenca.

Tabla 3.4. Susceptibilidad a incendios por tipo de combustible

TIPO DE COMBUSTIBLE	CATEGORÍA	ÁREA	
		ha	%
No combustibles	Muy baja	2.223,24	2,48
Áreas urbanas	Muy baja	660,04	0,74

TIPO DE COMBUSTIBLE	CATEGORÍA	ÁREA	
		ha	%
Árboles	Baja	18.065,67	20,19
Árboles y arbustos	Moderada	2.325,39	2,60
Arbustos	Alta	12.891,68	14,41
Hierbas	Alta	16.284,00	18,20
Pastos / Hierbas	Muy alta	8.109,72	9,06
Pastos	Muy alta	28.916,87	32,32
TOTAL		89.476,61	100

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

3.1.3.2. Duración del combustible

Se puede apreciar en la Tabla 3.5 que la duración de combustión más influyente en la cuenca del río Yaguará corresponde a una (1) hora, abarcando el 41% del área de la cuenca (37.026 ha). Le sigue la duración de diez (10) horas en un 35% (31.501 ha) y cien (100) horas en un 20% (18.065 ha).

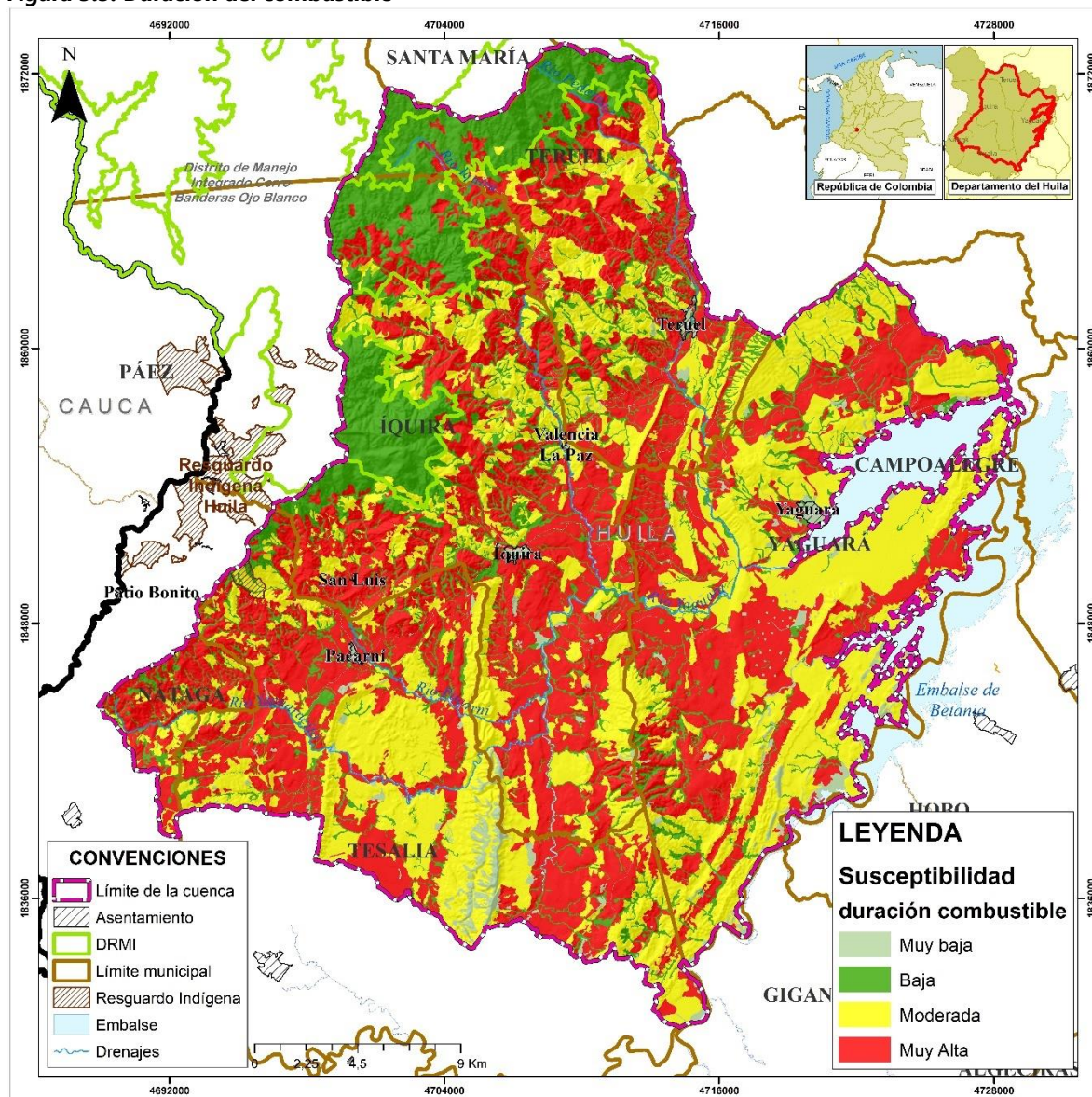
Tabla 3.5. Susceptibilidad a incendios por duración del combustible

DURACIÓN DEL COMBUSTIBLE	CATEGORÍA	AREA	
		ha	%
No combustible	Muy baja	2.223,24	2,48
Áreas urbanas	Muy baja	660,04	0,74
100 horas	Baja	18.065,67	20,1
10 horas	Moderada	31.501,08	35,21
1 hora	Muy alta	37.026,59	41,38
TOTAL		89.476,61	100

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

La Figura 3.3 ilustra como prevalece en la cuenca una amplia extensión de áreas susceptibles a un tiempo de combustión del material vegetal mayor a una hora, predominado por la cobertura vegetal (nivel 3) de pastos, arbustos, hierbas y árboles.

Figura 3.3. Duración del combustible



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

3.1.3.3. Carga total del combustible

Las áreas con biomasa entre una (1) a cincuenta (50) Ton/ha abarcan 45.200 ha, correspondiente al 50,52% del área objeto de estudio, como se puede observar en la Tabla 3.6. Esta carga total de combustible se clasifica como amenaza baja, y está conformada por dos tipos de coberturas vegetales: hierbas y pastos.

La carga de combustible media (50-100 Ton/ha) y muy alta (≥ 100 Ton/ha) representan el 46% del área de la cuenca, un total de 41.392 ha. Estas áreas presentan coberturas con árboles, arbustos, pastos y hierbas.

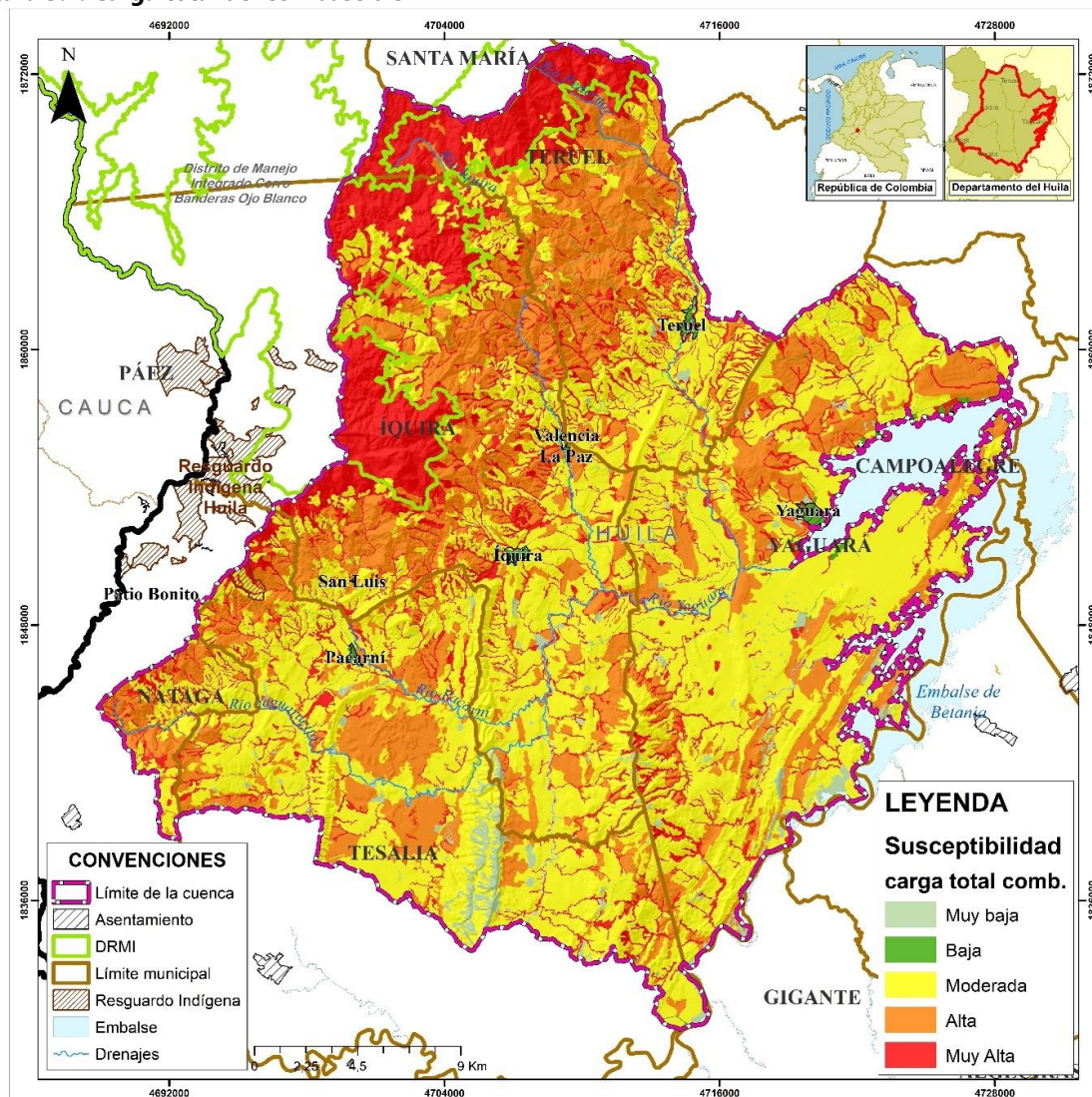
Se observa en la espacialización de este tipo de susceptibilidad (Figura 3.4) que la distribución de la biomasa con carga total del combustible es uniforme en la cuenca.

Tabla 3.6. Susceptibilidad a incendios por carga total del combustible

CARGA TOTAL DE COMBUSTIBLE	CATEGORÍA	ÁREA	
		ha	%
No combustibles	Muy baja	2.223,24	2,48
Áreas urbanas (menos de 1 Ton/ha)	Muy baja	660,04	0,74
Baja (1-50 Ton/ha)	Baja	45.200,87	50,52
Media (50-100 Ton/ha)	Moderada	23326,79	26,07
Muy alta (más de 100 Ton/ha)	Muy alta	18.065,67	20,19
TOTAL		89.476,61	100

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

Figura 3.4. Carga total del combustible



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

3.1.3.4. Susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal

La susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal de la cuenca del río Yaguará se determinó mediante el análisis de las características de la vegetación frente a la ocurrencia de un incendio.

Se evidencia en la Tabla 3.7 y la Figura 3.5, la categoría de susceptibilidad muy alta predomina sobre el área objeto a ordenación, abarcando 37.026 ha, lo que equivale al 41% de la cuenca. Estas áreas cuentan con cobertura vegetal de pastos y hierbas, cuentan con un tiempo de ignición de una (1) hora, además de presentar una carga de combustible entre uno (1) a cien (100) ton/ha.

Las categorías que le siguen son las de susceptibilidad moderada y baja, correspondiendo al 21% y al 20% respectivamente. La susceptibilidad moderada presenta una cobertura de hierbas, árboles y arbustos, cuentan con un tiempo de ignición de diez (10) horas, además de presentar una carga de combustible entre uno (1) a cien (100) ton/ha. La susceptibilidad baja presenta una cobertura vegetal de árboles, el tiempo de ignición es de cien (100) horas y presenta una carga de combustible mayor a cien (100) ton/ha.

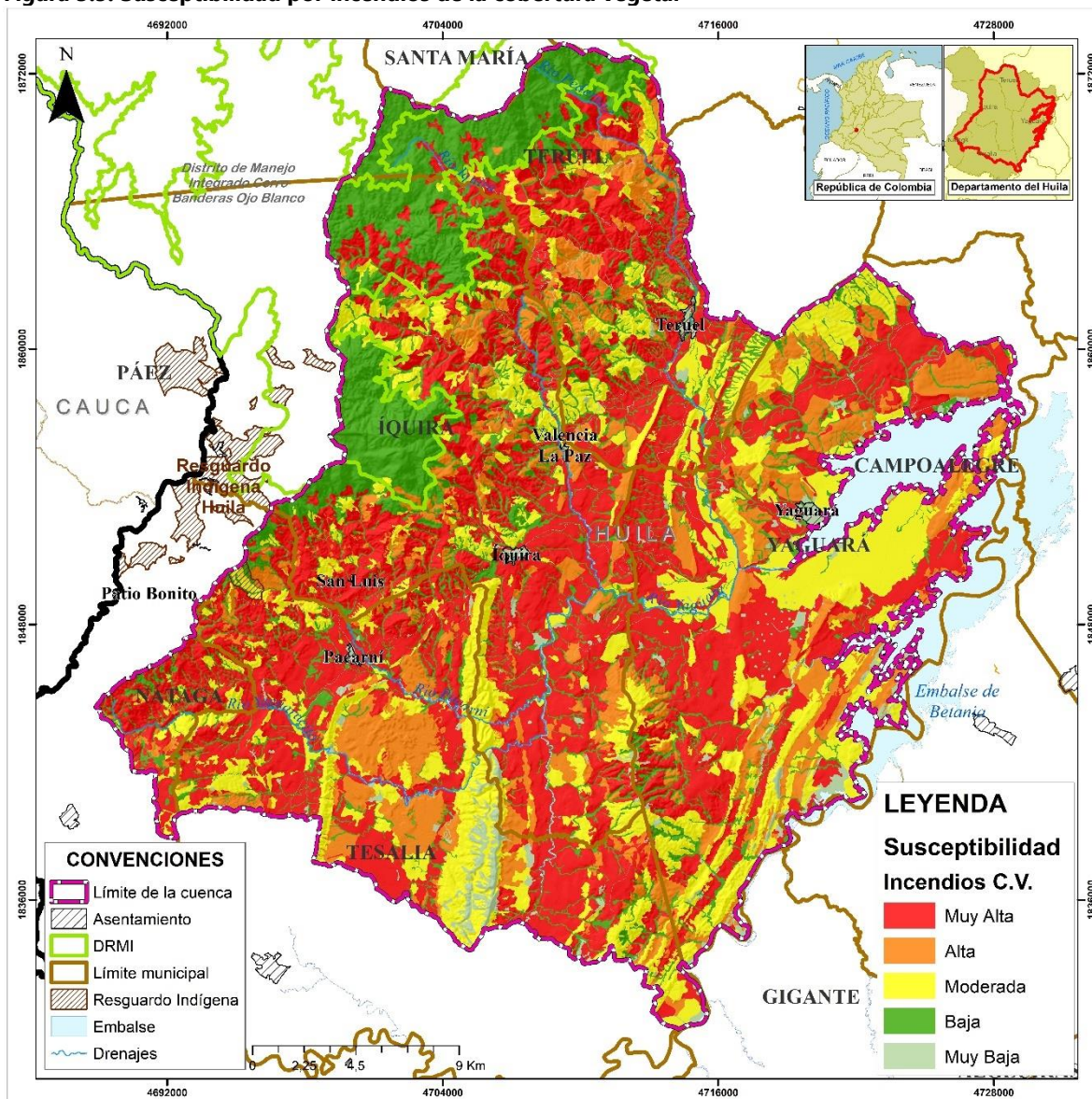
En menor medida, se presenta susceptibilidad alta y muy baja. La susceptibilidad alta abarca el 15% del área total de la cuenca (12.891 ha), cuenta con cobertura vegetal de arbustos, su tiempo de ignición es de diez (10) horas y su carga total esta entre los cincuenta (50) y cien (100) ton/ha. La susceptibilidad muy baja corresponde a un 3%, conformado por cobertura vegetal no combustible y de áreas urbanas, con una carga total menor a una (1) ton/ha.

Tabla 3.7. Categoría de susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal

SUSCEPTIBILIDAD	CATEGORÍA	ÁREA	
		ha	%
Zonas con cobertura vegetal tipo pasturas, las cuales cuentan con un tiempo de ignición de 1 hora y presentan una carga de combustible que puede variar entre 1 y 100 ton/ha.	Muy Alta	3.7026,59	41,38
Zonas con cobertura vegetal tipo pasturas, las cuales cuentan con un tiempo de ignición de 1 hora y presentan una carga de combustible que puede variar entre 1 y 100 ton/ha.	Alta	12.891,68	14,41
Zonas con cobertura vegetal arbustiva o herbácea, con un tiempo de combustión alrededor de 10 horas, las cuales presentan un contenido de biomasa que oscila entre 1 y 100 ton/ha.	Moderada	18.609,39	20,80
Áreas con vegetación arbórea, con una carga total de combustible superior a las 100 ton/ha, las cuales presentan un tiempo de ignición de 100 Horas.	Baja	18.065,67	20,19
Áreas Urbanas y zonas no combustibles tales como: Ríos, quebradas, áreas pantanosas y tierras erosionadas.	Muy Baja	2.883,28	3,22
TOTAL		89.476,61	100

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

Figura 3.5. Susceptibilidad por incendios de la cobertura vegetal



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

El mapa de susceptibilidad por incendio de la cobertura vegetal se presenta en el Anexo/07_cartografía_Tematica/01_Mapas/02_SUSCEPTIBILIDAD/02_SUSCEPTIBILIDAD_IF

3.2. Movimientos en masa

Los movimientos en masa son procesos geológicos que generan desplazamientos cuesta abajo de material litológico, como masas de roca o de tierra (Cruden, 1991). Este tipo de evento depende de algunas características presentes en los factores naturales, como la topografía, la litología, el clima (lluvias intensas) y las placas tectónicas; de igual manera se deben tener en cuenta los procesos antropogénicos que ejercen presión al componente de

suelo, por ejemplo, el desarrollo de actividades de ganadería, deforestación para cambiar el uso del suelo, excavaciones, entre otros (UPB, 2020).

Los movimientos en masa generan impactos negativos sobre el ecosistema, ocasionando afectación o pérdidas de vidas humanas y de propiedades, erosión del suelo, bloqueos de valles enteros, y desbordamiento de cuerpos de agua (Mergili et al, 2014).

Los movimientos en masa se clasifican en los siguientes tipos:

1. **Caída:** Este tipo de movimiento consiste en la separación de una masa desde un talud empinado, descendiendo por a través del aire, principalmente en caída libre, rebotando o rodando. Se presenta principalmente en suelos cohesivos o rocas en la pata de laderas con fuerte pendiente, por erosión de corrientes o alguna acción semejante (SGC, 2017).
2. **Volcamiento:** El volcamiento comprende la rotación hacia delante de la masa en una ladera, alrededor de un pivote o eje. Hay tres tipos de volcamiento: (1) volcamiento de bloques de roca, (2) volcamientos de bloques aislado liberados por tensión, y (3) volcamiento de detritos (SGC, 2017).
 - Volcamiento de bloques de roca: Este tipo de desprendimiento de material puede ser de tipo bloque individual o múltiple de bloques, causado por la pérdida de estabilidad sucesiva desde el extremo exterior del bloque o conjunto de bloques, consecuencia de socavación (SGC, 2017).
 - Volcamiento de bloques aislado liberados por tensión: Es el desprendimiento accionado por agrietamientos de tensión en la parte superior de la ladera, que permite su liberación (SGC, 2017).
 - Volcamiento de detritos: Es el desprendimiento de masas tabulares de detritos, en un mecanismo retrogresivo, por ejemplo, desde la corona de un deslizamiento, o el barranco de orilla de un cauce (SGC, 2017).
3. **Flujo de tierra:** Son los movimientos continuos con superficies de corte efímeras y estrechas, la velocidad de desplazamiento de la masa se asemeja a un líquido viscoso (SGC, 2017).
4. **Deslizamientos:** El deslizamiento se considera como un movimiento ladera abajo de una masa a lo largo de una superficie de ruptura, este se desarrolla de manera simultánea, iniciando con el agrietamiento del terreno en la parte superior de la ladera. Hay tres tipos de deslizamientos: (1) deslizamiento rotacional (2) deslizamiento traslacional y (3) deslizamiento compuesto (SGC, 2017).
 - Deslizamiento rotacional: Desplazamiento de la masa vertical, la superficie de rotura es curva y cóncava (SGC, 2017).

- Deslizamiento traslacional: Desplazamiento de la masa a lo largo de la intersección de dos discontinuidades estructurales (SGC, 2017).
 - Deslizamiento compuesto: Desplazamiento rotacional y traslacional, se presenta una rotura con un escarpe principal muy pendiente, que puede suavizarse en profundidad y que remata con una sección casi plana; la pata puede llegar a inclinarse en sentido contrario del movimiento y en la zona de corona pueden presentarse bloques desplazados en graben (SGC, 2017).
- 5. Propagación lateral:** Es el desplazamiento de terreno en sentido lateral de un suelo cohesivo o masa de roca blanda, combinado de material fracturado (Vargas, 2000). Puede presentarse en las actividades sísmicas, de dos formas:
- Propagación lateral en bloque: Movimiento lento que se presenta el fragmento de bloques grandes provocando la extrusión de material blando por las fracturas (SGC, 2017).
 - Propagación lateral por licuación: La licuación se genera en un suelo húmedo, como arcilla sensitiva o limo cubierto por suelo firme (SGC, 2017).
- 6. Hundimientos:** Los hundimientos son movimientos de terrenos con desplazamientos subverticales, lentos y progresivos; causados por una ablandación profunda (Vargas, 2000).
- 7. Reptación:** Este término hace referencia al movimiento superficial, lento y continuo de los suelos, con materiales de baja cohesión, favorecidos por el agua (Vargas, 2000).
- 8. Avenidas torrenciales:** Es la ocurrencia súbita de uno o varios movimientos en masa que caen en un cauce, generando una masa semilíquida de bloques y lodo que se precipita pendiente abajo, con gran velocidad y poder de arrastre (Vargas, 2000).
- 9. Movimientos complejos:** Este tipo de desplazamiento es cuando se presentan diferentes tipos de mecanismos de ruptura o falla, y la combinación de dos o más movimientos en masa (Vargas, 2000).

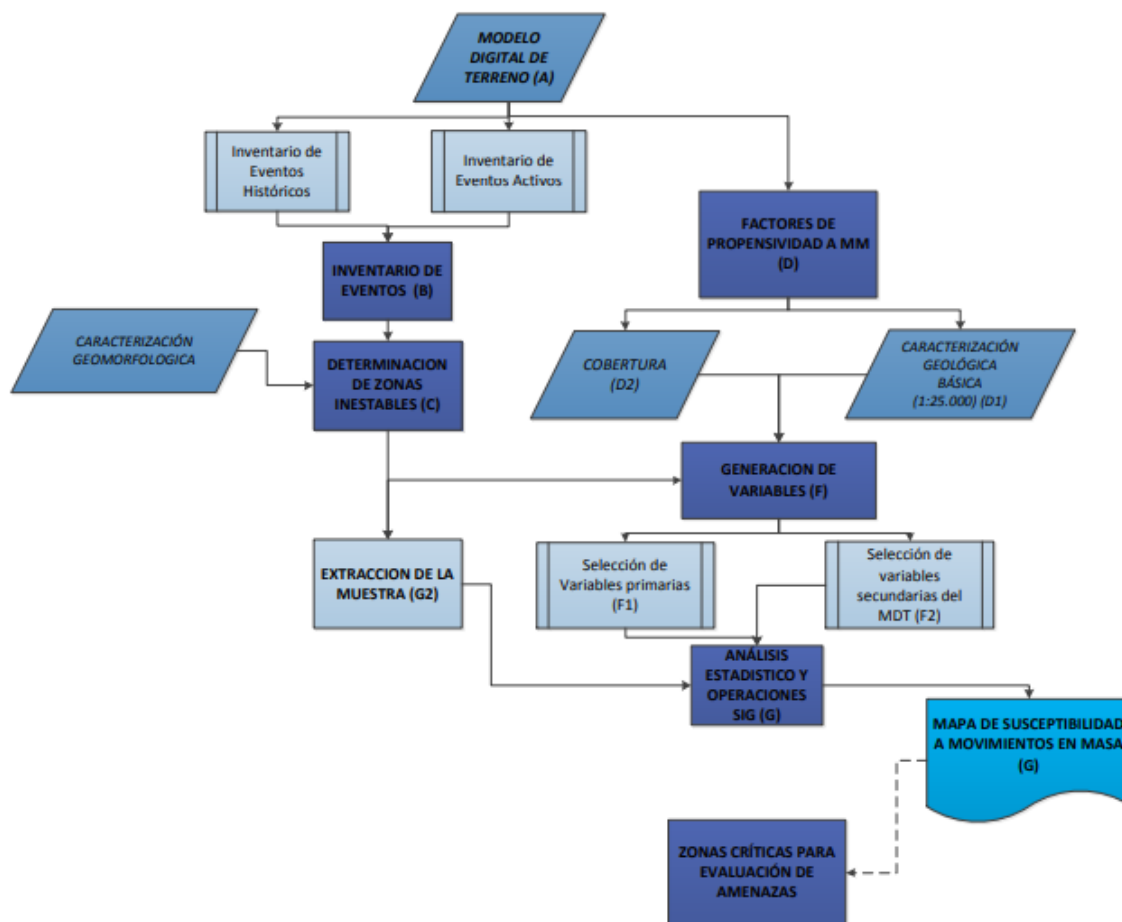
3.2.1. Metodología

La susceptibilidad de los movimientos en masa correspondiente a la cuenca del río Yaguará, es determinada por el equipo técnico tomando como referencia la metodología establecida en el *Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuenca hidrográficas* del MINAMBIENTE.

La evaluación de susceptibilidad a este tipo de eventos se realiza mediante el análisis del modelo digital de terreno escala 1:25.000 de la cuenca, junto al inventario de eventos (históricos y eventos activos) consultados en las plataformas pertinentes, para generar y

seleccionar las variables que permitan conocer las zonas de inestabilidad del área, estas proporcionaran la malla regular discriminante que permitirá la generación del mapa de susceptibilidad (Figura 3.6).

Figura 3.6. Diagrama de la evaluación de susceptibilidad de los movimientos en masa



Fuente: MINAMBIENTE, 2014.

Los alcances técnicos del protocolo establecen los siguientes pasos para la aplicación del método con los principales elementos:

- **Paso A:** El modelo digital de terreno (MDT) se obtiene a partir de la cartografía base.
- **Paso B:** Inventario de eventos de los diferentes movimientos en masa en la cuenca, obtenidos del catálogo de eventos y del inventario obtenido en campo (eventos activos).
- **Paso C:** Determinación de zonas inestables a partir del inventario de eventos, y la delimitación cartográfica geomorfológica que delimita zonas homogéneas a nivel de

subunidad. Las zonas inestables se convierten en la variable de agrupación que se usará para el análisis estadístico y la selección de muestra.

- **Paso D:** Factores de propensividad obtenidos de la caracterización de los productos cartográficos de geológica básica y coberturas, se establecen polígonos reclasificados que entran al modelo estadístico.
- **Paso F:** Generación y selección de variables de los parámetros geológicos, geomorfológicos, cobertura y uso del suelo y geométricos; de acuerdo a su papel ejercido sobre la inestabilidad del área de terreno, como:
 1. Modelo digital del terreno.
 2. Pendiente.
 3. Orientación de laderas.
 4. Insolación.
 5. Distancia de vías y carreteras.
 6. Distancia a cauces.
 7. Densidad de drenaje.
 8. Tamaño de la cuenca.

En la Figura 3.7 se puede observar los factores de propensividad a la generación de movimientos en masa y las variables asociadas.

- **Paso G:** Análisis estadístico de las variables independientes, que serán seleccionadas si tiene una distribución normal multivariante con igual matriz de varianza – covarianza para cada unidad de valuación, se aplica posteriormente el análisis discriminante para definir la susceptibilidad del evento (alta, media y baja) y la generación de su respectivo mapa.

Figura 3.7. Factores de propensividad



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022, adaptado de MINAMBIENTE (2014).

3.2.2. Variables utilizadas

Las variables que se tendrán en cuenta para evaluar la susceptibilidad de movimientos de masa en el área de la cuenca son seleccionadas de acuerdo con su contribución e influencia en la ocurrencia de este tipo de eventos. Se dividen en tres tipos: variables categóricas, variables derivadas del modelo digital de terreno y otras variables.

3.2.2.1. Variables categóricas

- a) **Roca – suelo:** La variable establece la presencia de diferentes tipos de roca y suelo en la cuenca; para el análisis de movimientos en masa de la cuenca se evidenciaron depósitos sedimentarios, sedimentarias, ígneo intrusivo y vulcano – sedimentarias.

Tabla 3.8. Calificación de roca - suelo

ROCA/SUELO	CALIFICACIÓN
Depósitos sedimentarios	1
Sedimentarias	0
Ígneo intrusivo	0
Vulcano – sedimentarias	0

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

- b) Espesor:** Es la estructura que indica el grosor de los horizontes del perfil del suelo; según sea su espesor se podrá conocer las características, como el tipo de material y la capacidad de retención de agua (Tarbuck, et al., 2005). La clasificación de la variable se puede observar en la Tabla 3.9, calificando de 1 a 3 los espesores, correspondiendo el 3 al mayor espesor, debido a que este es profundo y tiene mayor capacidad de retención de agua.

Tabla 3.9. Calificación de espesor

ESPESOR (Metros)	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
10 - 20	Baja	1
20 - 30	Media	2
>30	Alta	3

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

- c) Origen:** Esta variable hace referencia al origen y composición de los depósitos del suelo de la cuenca, dependiendo del comportamiento mecánico de los materiales, como la resistencia y la deformación (MINAMBIENTE, 2014). El análisis de esta variable se calificará de 1 a 3, siendo 1 la litología de la formación superficial cuya resistencia es mayor y con una meteorización que ocurre a un mayor tiempo, seguido de las rocas de alto grado de meteorización, y, por último, la 3 corresponde a las rocas con meteorización considerable, por ser rocas con baja resistencia al corte y fracturación considerable.

Tabla 3.10. Calificación de origen

ORIGEN	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
Aluvión compacto permeable; calizas permeables; rocas intrusivas ligeramente fisuradas, basaltos, ignimbritas, andesitas; bajo grado de meteorización, niveles freáticos bajos, poco fisuradas y alta resistencia al corte.	Baja	1
Rocas de alto grado de meteorización de las litologías que conforman los depósitos aluviales; baja resistencia al corte y fracturas de cizalla; rocas sedimentarias intrusivas, metamórficas y volcánicas considerablemente meteorizadas; suelos regolíticos arenosos compactos; fracturación considerable y nivel freático fluctuante.	Media	2
Rocas Meteorización considerable, alteración hidrotermal de cualquier clase de rocas; rocas fuertemente fracturadas y con fisuras llenas de arcilla; suelos piroclásticos y fluviolacustres pobremente compactados; niveles freáticos poco profundos	Alta	3

ORIGEN	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
extremadamente alterados; suelos residuales, coluviales y aluviales con baja resistencia cortante y presencia de niveles freáticos profundos.		

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

- d) UGS:** La UGS es la variable que define la profundidad del depósito del suelo. De acuerdo con la profundidad se conocerá las características dominantes del área de la cuenca, como la permeabilidad (capacidad del medio poroso en transmitir los fluidos), y la conductividad hidráulica (Baridón, 2019); a mayor profundidad mayor será la capacidad de retención de agua; favoreciendo las condiciones que incrementan la ocurrencia de movimientos en masa.

Tabla 3.11. Calificación de UGS

UGS	CALIFICACIÓN
Baja	1
Media	2
Alta	3

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

- e) Densidad de fracturamiento:** El fracturamiento en las rocas es el resultado de la fuerza ejercida de las propiedades mecánicas (procesos tectónicos) generando discontinuidad macroscópica planar generando deformaciones como los depósitos, teniendo un efecto positivo o negativo en la capacidad de permitir el flujo de fluido a través de la roca (Spikermann, 2010, Stearns, 1990). La Tabla 3.12 muestra la clasificación de la variable de densidad de fracturamiento.

Tabla 3.12. Calificación de densidad de fracturamiento

DENSIDAD DE FRACTURAMIENTO	CALIFICACIÓN
Baja	1
Media	2
Alta	3

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

- f) Vegetación:** Esta variable clasifica la vegetación o cobertura vegetal presente en la cuenca; se tiene en cuenta para el análisis de la susceptibilidad del evento, por lo que se relaciona con la estabilidad del terreno, el nivel freático, y el tipo de material que lo compone (Villegas, 2004). La Tabla 3.13 muestra la clasificación de la variable de vegetación.

Tabla 3.13. Calificación de vegetación

TIPO DE COBERTURA	CALIFICACIÓN
Arbustal	2
Bosque de galería y/o ripario	3
Bosque denso	3
Bosque fragmentado	3
Cuerpos de agua artificiales	1



TIPO DE COBERTURA	CALIFICACIÓN
Cultivos agroforestales	2
Cultivos confinados	1
Cultivos permanentes arbustivos	2
Herbazal	1
Mosaico de cultivos	2
Mosaico de cultivos y espacios naturales	2
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	2
Mosaico de pastos con espacios naturales	2
Mosaico de pastos y cultivos	2
Pastos arbolados	2
Pastos enmalezados	1
Pastos limpios	1
Tejido urbano continuo	1
Tejido urbano discontinuo	1
Tierras desnudas y degradadas	1
Zonas de extracción minera	1
Zonas industriales o comerciales	1

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

- g) Geomorfología:** La geomorfología es el estudio de la forma del relieve terrestre y los fenómenos dinámicos que se presentan en el área. Para el análisis de los movimientos en masa se tienen cuenta esta variable para identificar la sedimentación en los relieves erosionales y relieves deposicionales (Universidad de Cartagena, 2018). La Tabla 3.14 muestra la clasificación de la variable de origen.

Tabla 3.14. Calificación de origen

SUSCEPTIBILIDAD POR GEOMORFOLOGÍA	CARACTERIZACIÓN	CALIFICACIÓN
Alta	Clasificación geomorfológica en región estructural o denudacional con unidades de escarpes, espinazos, crestas y crestones; comúnmente presentan procesos de derrumbes, desplomes, soliflucción, escurrimiento y diferentes clases de erosión superficial.	3
Media	Región geomorfológica fluvial, con unidades de glacia, taludes y abanicos aluviales; presentan procesos de deslizamiento, derrumbes y escurrimiento	2
Baja	Región geomorfológica denudacional en unidades de cimas, lomas, escarpes, glacia; presentan normalmente derrumbes, escurrimientos y desplomes.	1
Nula	Clasificación geomorfológica en región fluvial y denudacional en unidades de llanura de inundación, terrazas bajas, lomas y conos de deyección; con procesos propios de las zonas topográficamente más bajas como encharcamientos, inundaciones y erosión superficial.	0

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

- h) Movimientos en MM:** Esta variable establece la presencia o ausencia de deslizamientos, de acuerdo con la consulta previa de los eventos históricos en la cuenca y los movimientos inventariados durante los recorridos de campo (Anexo 4).

3.2.2.2. Variables derivadas del MDT

- a) Pendiente:** La pendiente es uno de los parámetros principales que se tiene en cuenta, esta variable indica el grado de inclinación del terreno, y poseer una gran influencia en los procesos gravitatorios (Valdivia, 2014). El evento de movimiento en masa puede ser coaccionado cuando una pendiente demasiado empinada e inestable (Johnson et al., 2017).

La Tabla 3.15 muestra la clasificación de la variable de pendientes.

Tabla 3.15. Categoría de pendientes

RANGO (°)	CATEGORÍA	TIPO DE PENDIENTE
Menor a 2,5	1	Plana
2,5 – 5	2	Suavemente inclinada
5 – 10	3	Inclinada
10 – 20	4	Muy inclinada
20 – 30	5	Abrupta
30 – 45	6	Muy abrupta
45 - 60	7	Escarpada
Mayor a 60	8	Muy escarpada

Fuente: SGC (2013).

- b) Orientación de las laderas:** La orientación es el ángulo o dirección de exposición de las laderas en el plano horizontal con un rango de valores de 1 a 360 grados (SGC, 2013), esta variable indica, de manera indirecta, la cantidad de humedad en el componente de suelo, debido a que se relaciona con la radiación solar que llega al área de la cuenca (Moragues, 2019).

La Tabla 3.16 muestra la clasificación de la variable de orientación de laderas.

Tabla 3.16. Categoría de orientación de laderas

RANGO (°)	CATEGORÍA	ORIENTACIÓN
0 – 22,5	1	Norte
22,5 – 67,5	2	Noreste
67,5 – 112,5	3	Este
112,5 – 157,5	4	Sureste
157,5 – 202,5	5	Sur
202,5 – 247,5	6	Suroeste
247,5 – 292,5	7	Oeste
292,5 – 337,5	8	Noroeste
337,5 - 360	9	Norte

Fuente: SGC (2013).

- c) **Curvatura:** Esta variable representa la tasa de cambio de la pendiente; de acuerdo al grado de la curvatura esto influirá en la dirección del flujo, en áreas cóncavas ocurre aceleración y en áreas convexas ocurre desaceleración (Moragues, 2019). Se relaciona los movimientos en masa con las áreas cóncavas, debido a que en este tipo de área se presenta erosión y deslizamientos (Landínez y Beltrán, 2019).

La Tabla 3.17 muestra la clasificación de la variable de orientación de laderas.

Tabla 3.17. Categoría de curvaturas

RANGO	CATEGORÍA	GRADO CURVATURA
-63,59778595 a -11,55093698	1	Muy convexo
-11,55093697 a -5,107041393	2	Convexo
-5,107041392 a 1,336854194	3	Rectilíneo
1,336854195 a 5,798012677	4	Cóncavo
5,798012678 a 62,80170441	5	Muy cóncavo

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

- d) **Insolación:** La insolación o radiación es la energía solar que llega a la superficie con diferentes intensidades de acuerdo con la longitud de onda (Pinzao, 1995). Existen tres tipos de radiación (Landínez, 2019):

- (1) Global: Es toda la radiación que llega a la tierra y que se mide sobre una superficie horizontal en un ángulo de 180 grado;
- (2) Directa: Es la radiación sin difusión ni reflexión, los rayos solares no cambian de dirección;
- (3) Difusa: Es la radiación que en la atmosfera interactúa con las partículas o nubes, y se dispersa cambiando la dirección del rayo.

Esta variable está relacionada con las condiciones de humedad superficial presente en el área de la cuenca; si no se presenta transpiración favorecerá la inestabilidad del suelo por la cantidad de humedad entre los poros y fisuras del componente, ejerciendo presión en la ocurrencia de movimientos en masa (SGC, 2013).

La Tabla 3.18 muestra la clasificación de la variable de insolación.

Tabla 3.18. Categoría de radiación

RANGO	CATEGORÍA	NIVEL DE RADIACIÓN
289.432,4688 a 702.288,2653	1	Muy baja
702.288,2654 a 796.655,3045	2	Baja
796.655,3046 a 1.041.419,813	3	Media

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

- e) **Acuena:** El área de la cuenca es la variable en la cual se evidencia el comportamiento de los cuerpos de agua, proporcionando información de las áreas que se genera infiltración y escorrentía; para evaluar los aportes del recurso sobre el suelo,

indicando un detonante que pueda generar un deslizamiento (Alcaldía de Medellín, 2013). Esta es una variable cuantitativa, cuya salida es generada a partir de la cartografía base (escala 1:25.000) de la cuenca del río Yaguará.

3.2.2.3. Otras variables

- a) Distancia de cauces:** La distancia de cauces se analiza para determinar la incidencia de los cuerpos lenticos sobre los procesos erosivos que puedan generar socavamiento en el área de la cuenca, estos procesos favorecen a la ocurrencia de deslizamientos (Guisao, 2015).

Esta es una variable cuantitativa generada a partir de la cartografía base (escala 1:25.000) de la cuenca Yaguará, que se analizará de acuerdo con la categoría establecida (Tabla 3.19).

Tabla 3.19. Categoría de distancia de cauces

RANGO (m)	NIVEL DE SUSCEPTIBILIDAD
0 – 50	Alta
51 – 100	Media
> 100	Baja

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

- b) Distancia a vías:** La incidencia de la red vial sobre el movimiento en masa es indirecta, cuando se presenta este tipo de evento incide en la generación de roturas por los cortes viales (Villamil, 2018).

Esta es una variable cuantitativa generada a partir de la cartografía base (escala 1:25.000) de la cuenca Yaguará, que se analizará de acuerdo con la categoría establecida (Tabla 3.20).

Tabla 3.20. Categoría de distancia de vías

RANGO (m)	NIVEL DE SUSCEPTIBILIDAD
0 – 50	Alta
51 – 100	Media
> 100	Baja

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

- c) Densidad de drenaje:** La densidad de drenaje es la relación entre la longitud total de los cursos de agua que tributan al río principal y el área de la cuenca (Álzate, 2019). Esta variable indica el estado erosivo de la cuenca (por arrastre de gránulos, abrasión o disolución), y la respuesta ante los eventos lluviosos, ya que estima el estado de drenaje de los cuerpos de agua que lo componen; en el caso de que no se genere un buen drenaje se incrementa la ocurrencia de movimientos en masa por la cantidad de agua contenida en el suelo (Pérez y Rojas, 2005).

Esta es una variable cuantitativa generada a partir de la cartografía base (escala 1:25.000) de la cuenca Yaguará.

3.2.3. Resultados obtenidos

3.2.3.1. Variables categóricas

a) Roca – suelo

Sobre la cuenca del río Yaguará destacan las rocas de tipo sedimentario, seguido de depósitos sedimentarios, ígneo intrusivo y vulcano – sedimentarios; correspondiendo a depósitos de diferentes espesores. Se puede observar en la Figura 3.8 que los depósitos sedimentarios se localizan en zonas morfológicamente bajas.

Tabla 3.21. Calificación de la variable de Roca - Suelo

Unidad geológica	Nombre	CALIFICACIÓN
Qal	Depósitos aluviales	1
Qtp	Terrazas pumíticas	1
KPgs	Formación Seca	0
Ko	Grupo Olini	0
Ngh	Grupo Honda	0
Pgd	Formación Doima	0
Pgpo	Formación Potrerillo	0
Pgt	Formación Tesalia	0
Pgb	Formación Bache	0
Js	Formación Saldaña	0
Ji	Batolito de Ibagué	0
Qc	Depósitos coluviales	1
Kh-Kl	Formación Hondita - Formación Loma Gorda	0
Ko-Kt	Formación La Tabla - Grupo Olini	0
Kc	Formación Caballos	0
Pgp	Formación Palermo	0
Jt	Cuarzomonzodiorita de Terual	0
Kh	Formación Hondita	0
Kl	Formación Loma Gorda	0
Kt	Formación La Tabla	0
Kt	Formación La Tabla	0
Qaa2	Abanicos antiguos moderadamente disecados	1
NgQgi	Formación Gigante	0

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

Figura 3.8. Variable de Roca - Suelo



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

b) Espesor

La distribución del espesor de las unidades geológicas presente en la cuenca hidrográfica se puede observar en la Tabla 3.22 y la Figura 3.9.

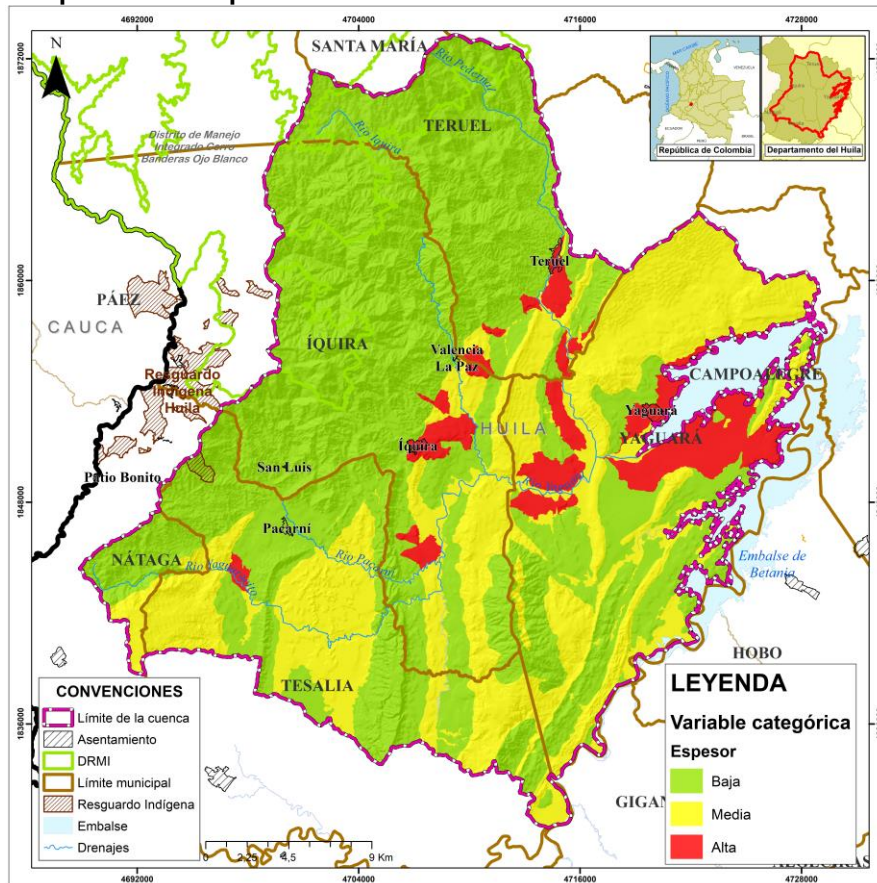
Tabla 3.22. Calificación del espesor de depósitos

Unidad geológica	Nombre	CALIFICACIÓN
Qal	Depósitos aluviales	2
Qtp	Terrazas pumíticas	3
KPgs	Formación Seca	1
Ko	Grupo Olini	2
Ngh	Grupo Honda	1
Pgd	Formación Doima	2
Pgpo	Formación Potrerillo	1
Pgt	Formación Tesalia	1
Pgb	Formación Bache	1
Js	Formación Saldaña	1
Ji	Batolito de Ibagué	1
Qc	Depósitos coluviales	3
Kh-Kl	Formación Hondita - Formación Loma Gorda	2
Ko-Kt	Formación La Tabla - Grupo Olini	2
Kc	Formación Caballos	2
Pgp	Formación Palermo	2

Unidad geológica	Nombre	CALIFICACIÓN
Jt	Cuarzomonzodiorita de Teruel	1
Kh	Formación Hondita	2
Kl	Formación Loma Gorda	2
Kt	Formación La Tabla	2
Kt	Formación La Tabla	2
Qaa2	Abanicos antiguos moderadamente disecados	3
NgQgi	Formación Gigante	1

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

Figura 3.9. Variable espesor de los depósitos



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

c) Origen

La distribución del origen de las unidades geológicas se puede observar en la Tabla 3.23 y la Figura 3.10.

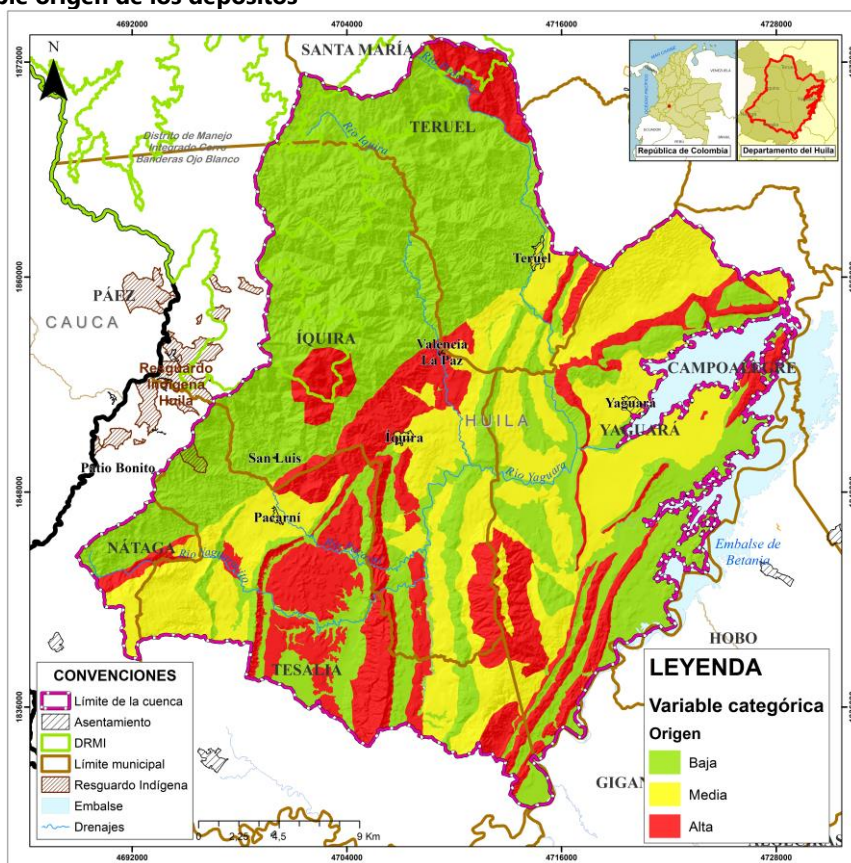
Tabla 3.23. Calificación del origen de depósitos

Unidad geológica	Nombre	CALIFICACIÓN
Qal	Depósitos aluviales	1
Qtp	Terrazas pumíticas	2
KPgs	Formación Seca	2
Ko	Grupo Olini	3

Unidad geológica	Nombre	CALIFICACIÓN
Ngh	Grupo Honda	1
Pgd	Formación Doima	3
Pgpo	Formación Potrerillo	1
Pgt	Formación Tesalia	3
Pgb	Formación Bache	1
Js	Formación Saldaña	3
Ji	Batolito de Ibagué	1
Qc	Depósitos coluviales	3
Kh-Kl	Formación Hondita - Formación Loma Gorda	2
Ko-Kt	Formación La Tabla - Grupo Olini	1
Kc	Formación Caballos	2
Pgp	Formación Palermo	3
Jt	Cuarzomonzodiorita de Terual	3
Kh	Formación Hondita	2
Kl	Formación Loma Gorda	2
Kt	Formación La Tabla	1
Kt	Formación La Tabla	1
Qaa2	Abanicos antiguos moderadamente disecados	1
NgQqi	Formación Gigante	1

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

Figura 3.10. Variable origen de los depósitos



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

d) UGS

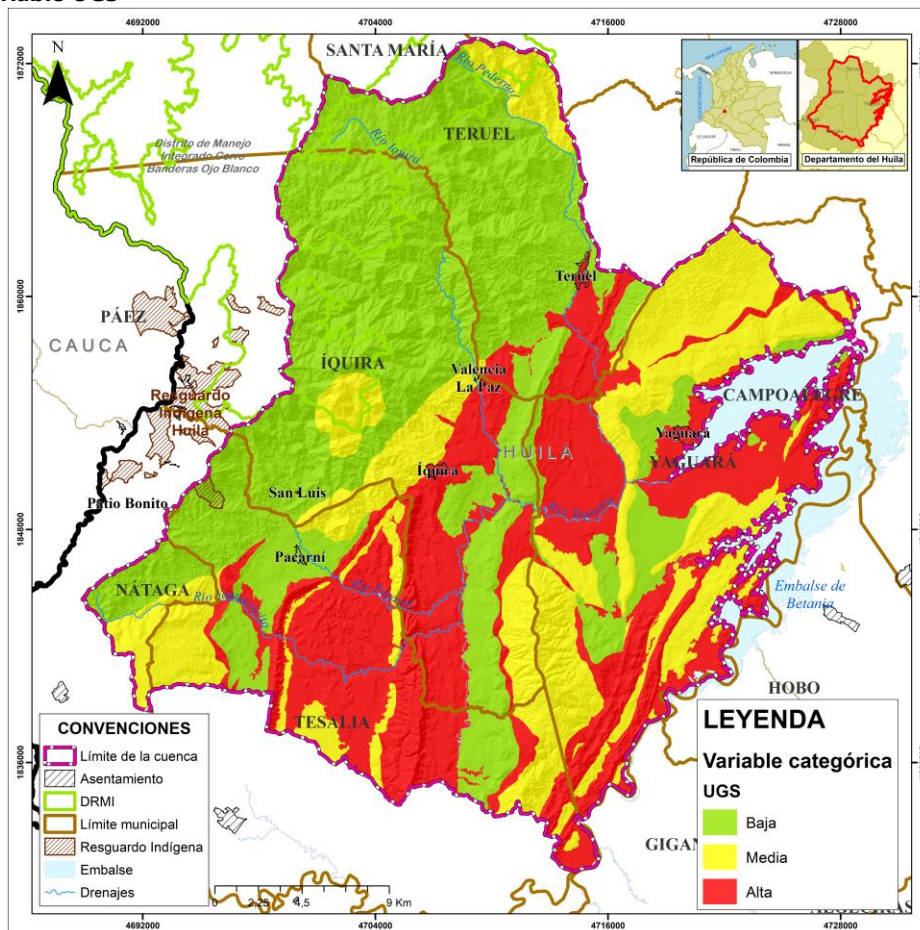
Según las unidades geológicas superficiales presentes en la cuenca hidrográfica, se realiza la respectiva calificación (Tabla 3.24) y espacialización (Figura 3.11), como se muestra a continuación.

Tabla 3.24. Calificación de las unidades geológicas superficiales

Unidad geológica	Nombre	CALIFICACIÓN
Sta	Suelo Transportado Aluvial	3
Stfab	Suelo Transportado de Abanico Aluvial	3
Stv	Suelo Transportado Volcánico	3
Ridji	Roca Ignea Dura Batolito de Ibaqué	1
Rvifs	Roca Volcanosedimentaria Intermedia Formación Saldaña	2
Rsifc	Roca Sedimentaria Intermedia Formación Caballos	2
Rsdgoft	Roca Sedimentaria Dura Grupo Olini - Formación La Tabla	1
Rsbhfl	Roca Sedimentaria Blanda Formación Hondita - Formación Loma Gorda	3
Rsbfd	Roca Sedimentaria Blanda Formación Doima	3
Rsdfs	Roca Sedimentaria Dura Formación Seca	1
Rsifpo	Roca Sedimentaria Intermedia Formación Potrerillos	2
Rsbft	Roca Sedimentaria Blanda Formación Tesalia	3
Rsbfb	Roca Sedimentaria Blanda Formación Bache	3
Rsbfp	Roca Sedimentaria Blanda Formación Palermo	3
Rsigh	Roca Sedimentaria Intermedia Grupo Honda	2
Rsbfgi	Roca Sedimentaria Blanda Formación Gigante	3
Rsdct	Roca Ignea Dura Cuarzomonzodiorita de Teruel	1
Strc	Suelo Transportado Coluvial	3
Rsigo	Roca Sedimentaria Intermedia Grupo Olini	2
Rsita	Roca Sedimentaria Intermedia Formación La Tabla	2
Rsifh	Roca Sedimentaria Intermedia Formación Hondita	2
Rsbfl	Roca Sedimentaria Blanda Formación Loma Gorda	3

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

Figura 3.11. Variable UGS

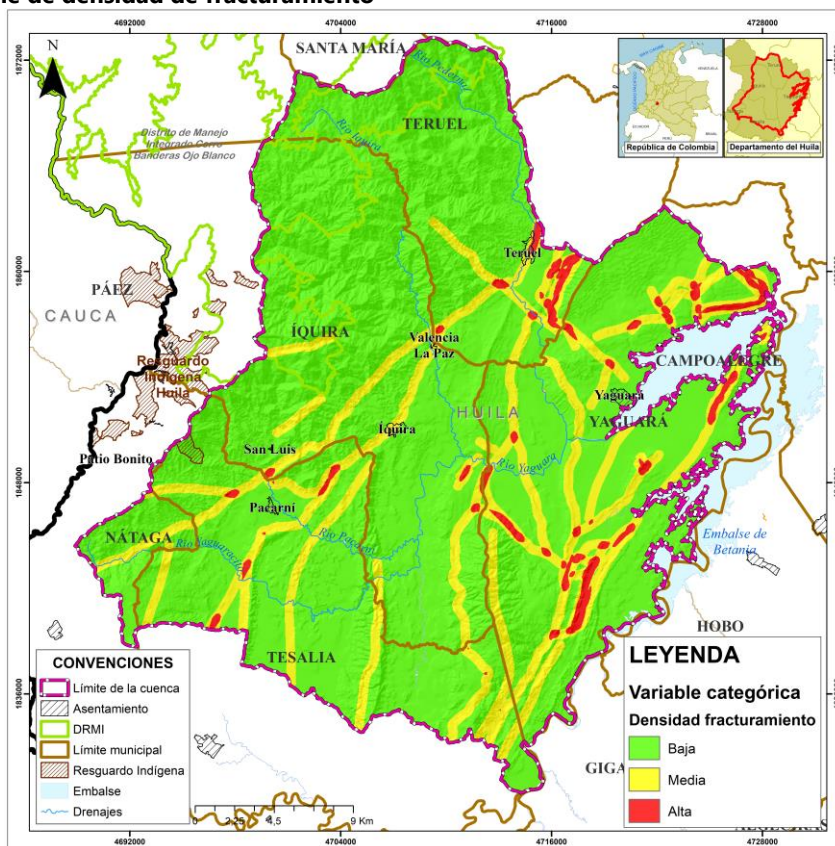


Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

e) **Densidad de fracturamiento**

La densidad de fracturamiento, es una variable semicuantitativa contenida en el mapa geológico básico, para fines de realizar la calificación determinada en la Tabla 3.12, mediante el software ArcGIS se clasifica por intervalos naturales para la consecución de un resultado de la variable.

Figura 3.12. Variable de densidad de fracturamiento



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

f) Vegetación

De acuerdo con la cobertura de la tierra presente en la cuenca hidrográfica, se realiza la respectiva calificación y espacialización, como se muestra a continuación.

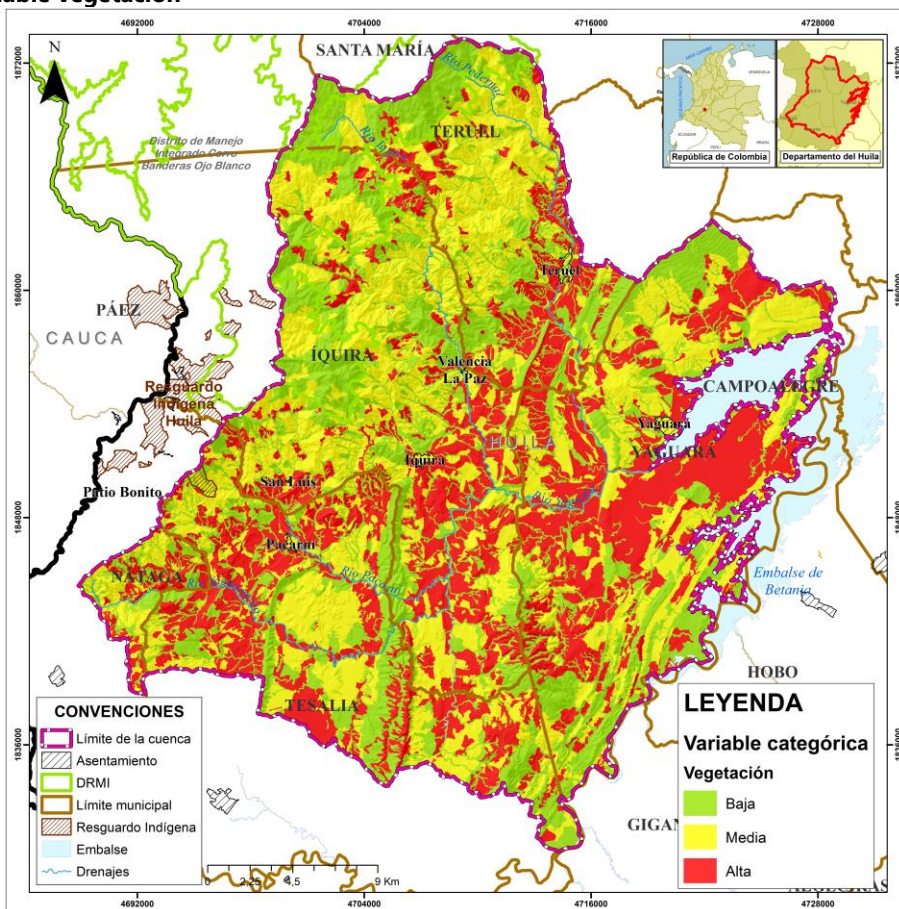
Tabla 3.25. Calificación de la cobertura de la tierra

Nombre	CALIFICACIÓN
1.1.1. Tejido urbano continuo	2
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	2
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	2
1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	2
1.2.5. Obras hidráulicas	2
1.3.1. Zonas de extracción minera	3
1.4.2. Instalaciones recreativas	2
5.1.1. Ríos	1
5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales	1
4.1.1. Zonas pantanosas	1
5.1.4. Cuerpos de agua artificiales	1
2.1.1. Otros cultivos transitorios	2
2.1.2. Cereales	3
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	3
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	2
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	1
2.2.4. Cultivos agroforestales	1

Nombre	CALIFICACIÓN
2.3.1. Pastos limpios	3
2.3.2. Pastos arbolados	2
2.3.3. Pastos enmalezados	2
2.4.1. Mosaico de cultivos	2
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	3
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	2
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	2
2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales	2
3.1.1. Bosque denso	1
3.1.2. Bosque abierto	1
3.1.3. Bosque fragmentado	2
3.1.4. Bosque de galería y ripario	1
3.1.5. Plantación forestal	1
3.2.1. Herbazal	1
3.2.2. Arbustal	2
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	2
3.3.1. Zonas arenosas naturales	1
3.3.2. Afloramientos rocosos	3
3.3.3. Tierras desnudas y degradadas	3

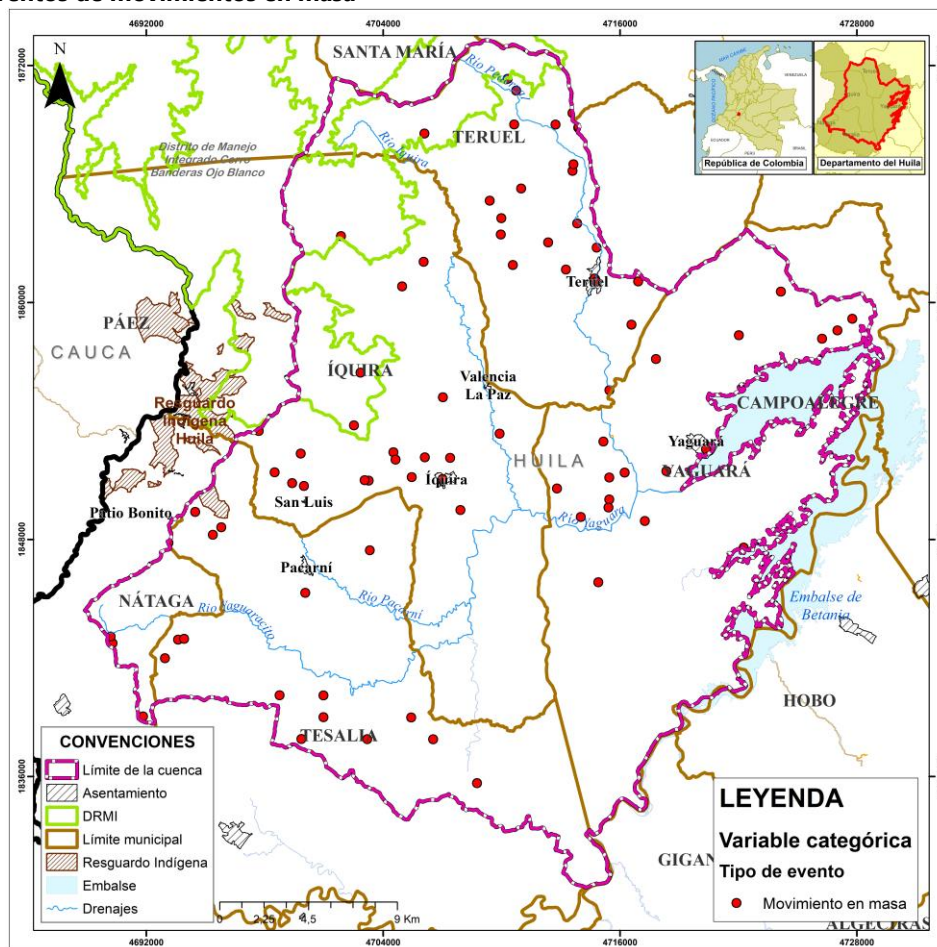
Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

Figura 3.13. Variable vegetación



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

Figura 3.15. Eventos de movimientos en masa



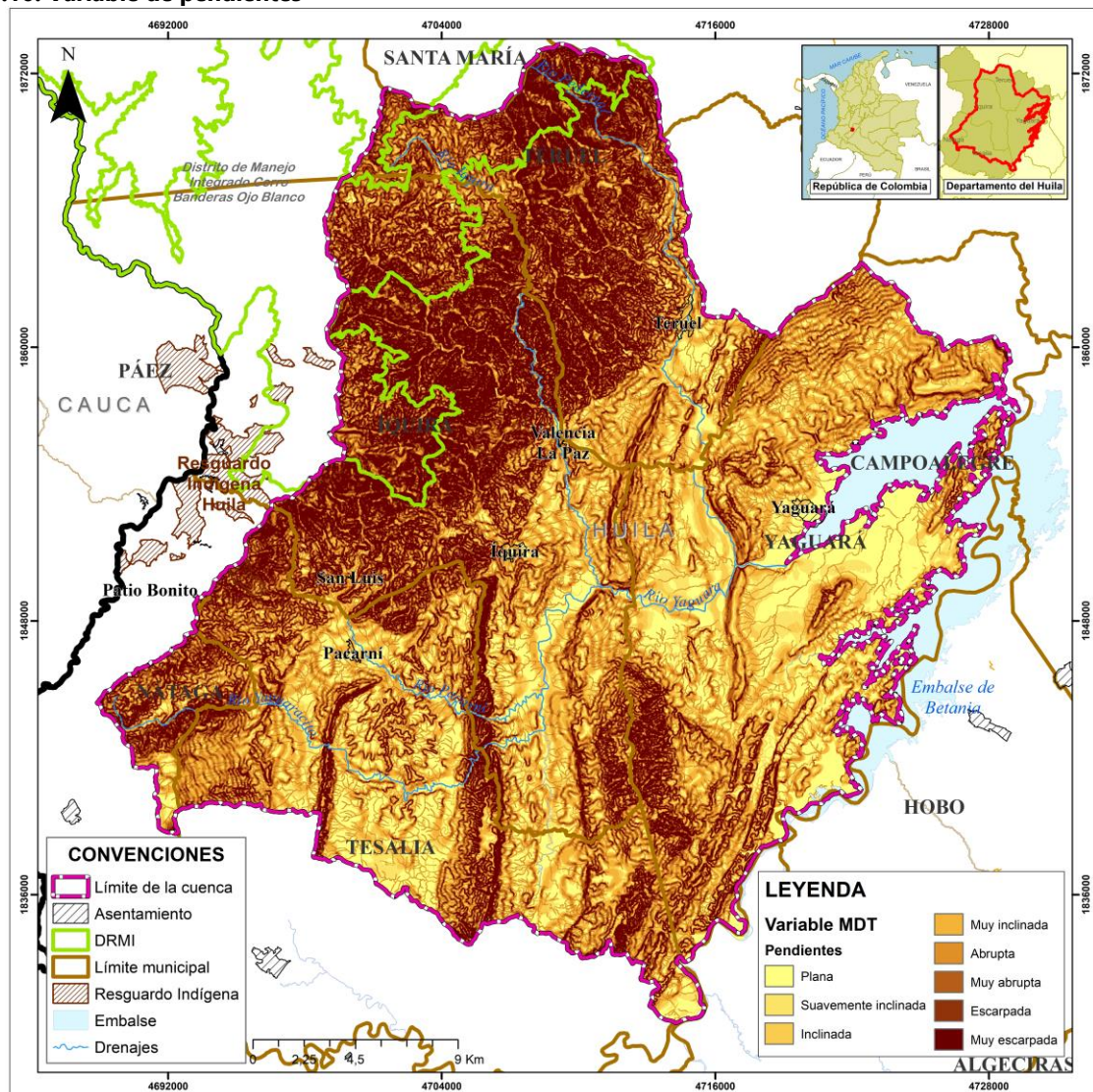
Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

3.2.3.2. Variables derivadas del MDT

a) Pendientes

Para determinar la variable de pendientes se hace uso del mapa de pendientes por grados con el fin de clasificar la variable de acuerdo con la Tabla 3.15, como se observa en la Figura 3.16.

Figura 3.16. Variable de pendientes

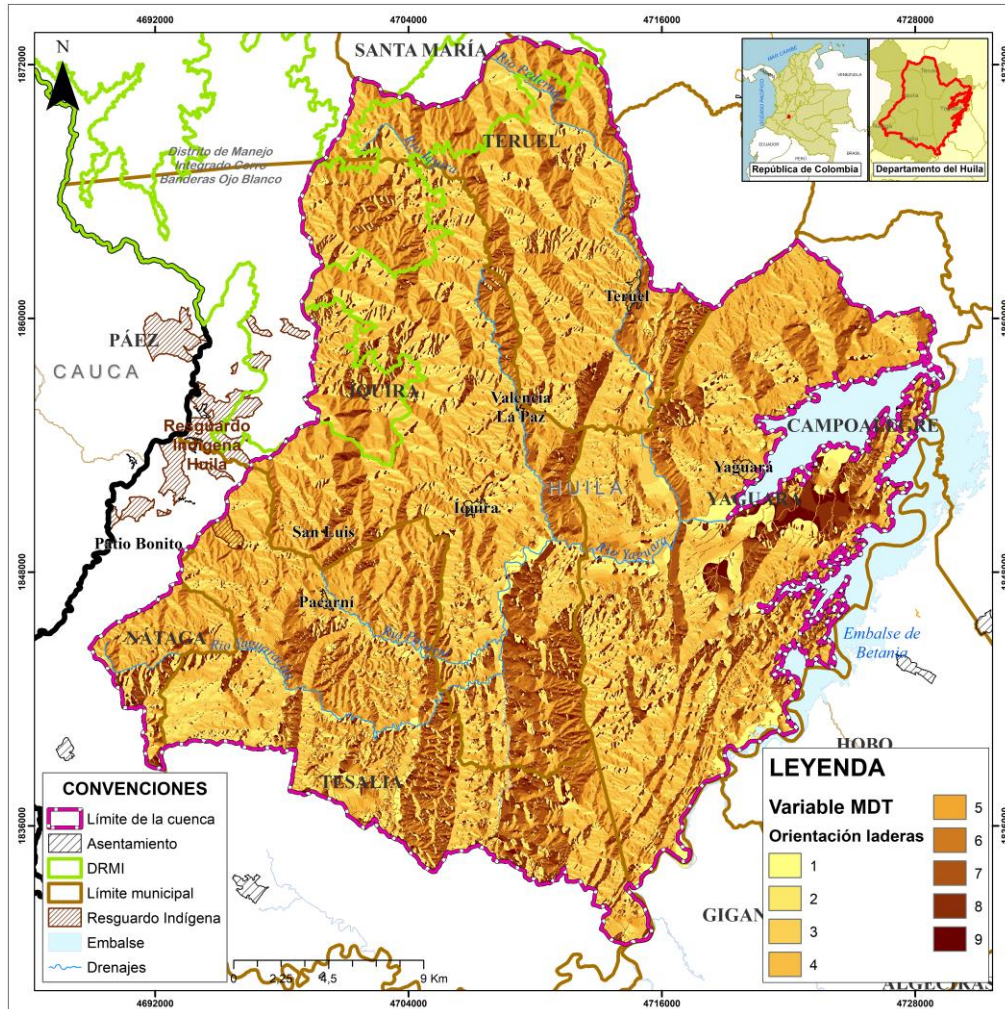


Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

b) Orientación de laderas

La orientación de las laderas es una variable cuantitativa continua, derivada del MDT, se realiza la clasificación de la variable de acuerdo con la Tabla 3.16, como se observa en la Figura 3.17.

Figura 3.17. Variable de orientación de laderas

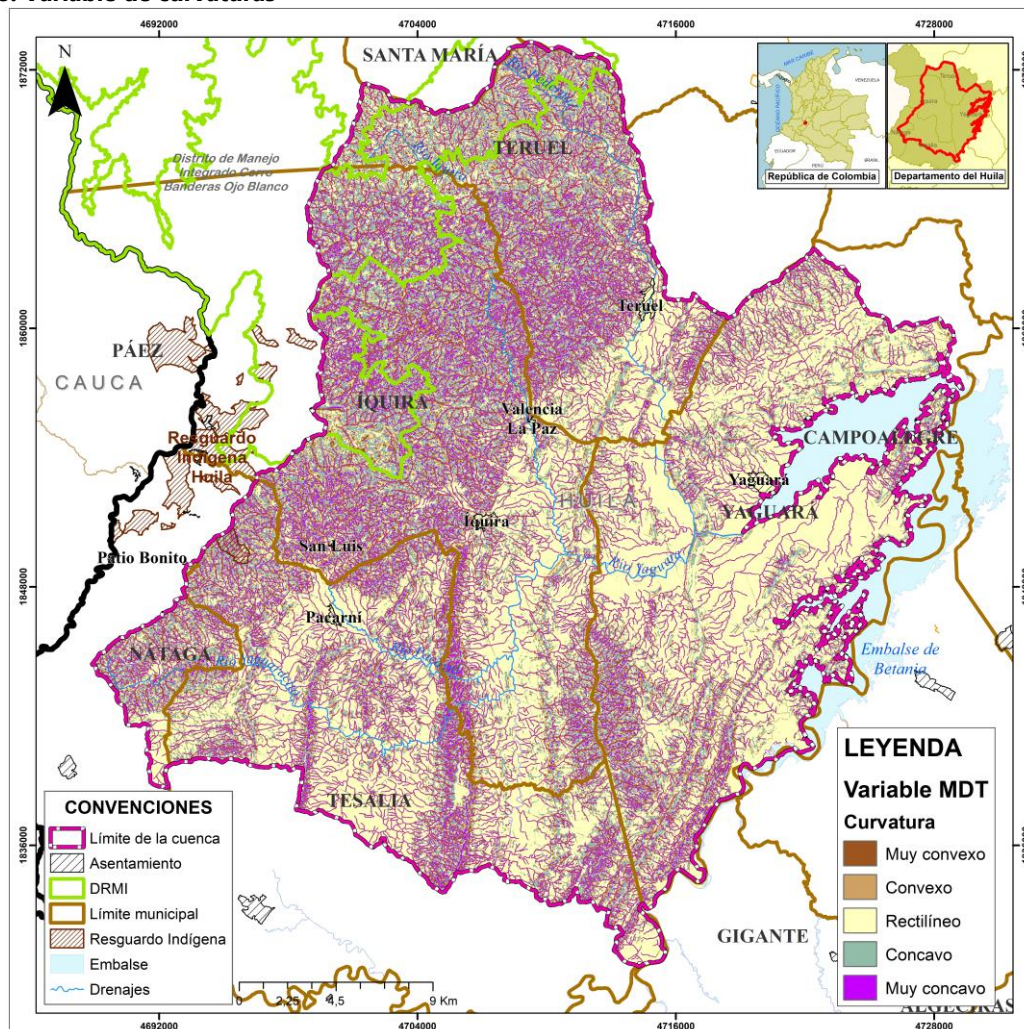


Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

c) Curvaturas

La variable de curvatura es determinada del MDT, al cual se le realiza la respectiva clasificación de acuerdo con la Tabla 3.17, como se evidencia en la Figura 3.18.

Figura 3.18. Variable de curvaturas

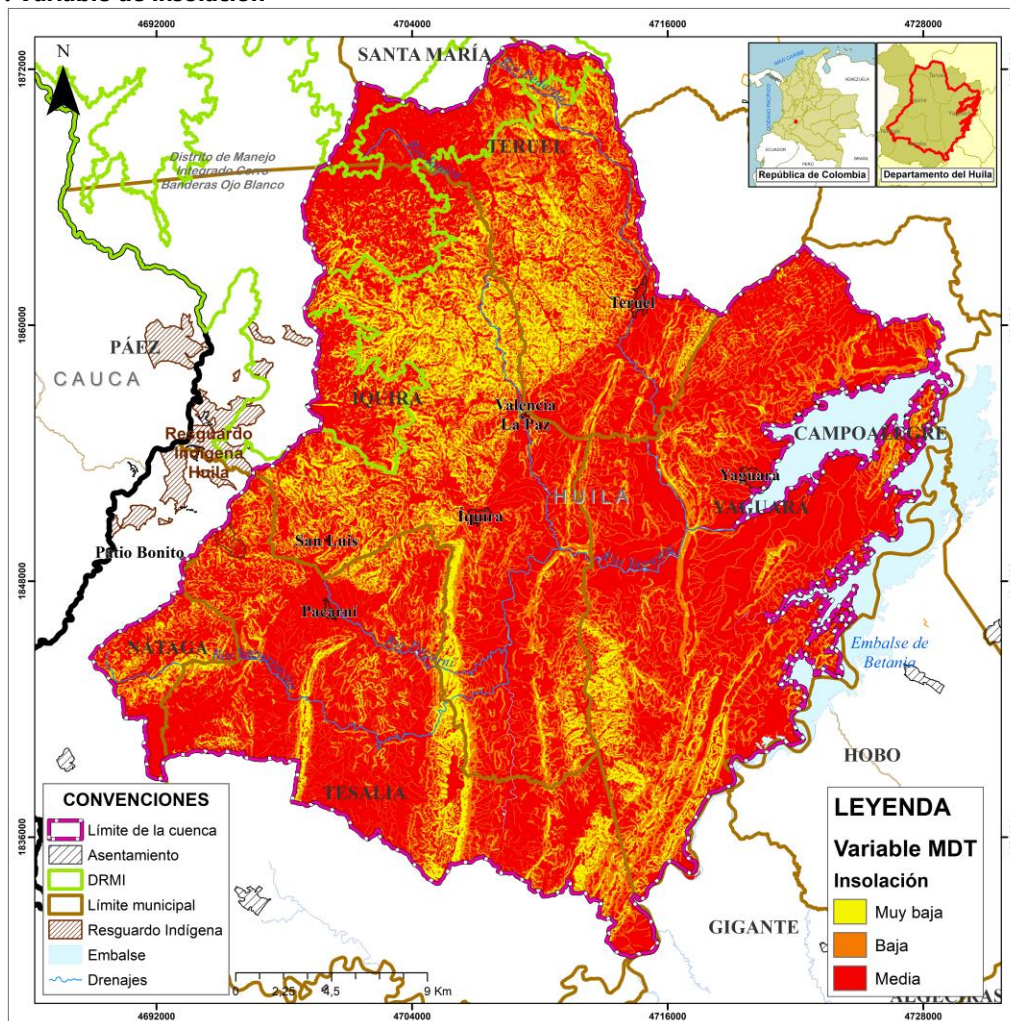


Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

d) Insolación

La variable de insolación se clasifica de acuerdo con la Tabla 3.18, como se observa en la Figura 3.19.

Figura 3.19. Variable de insolación

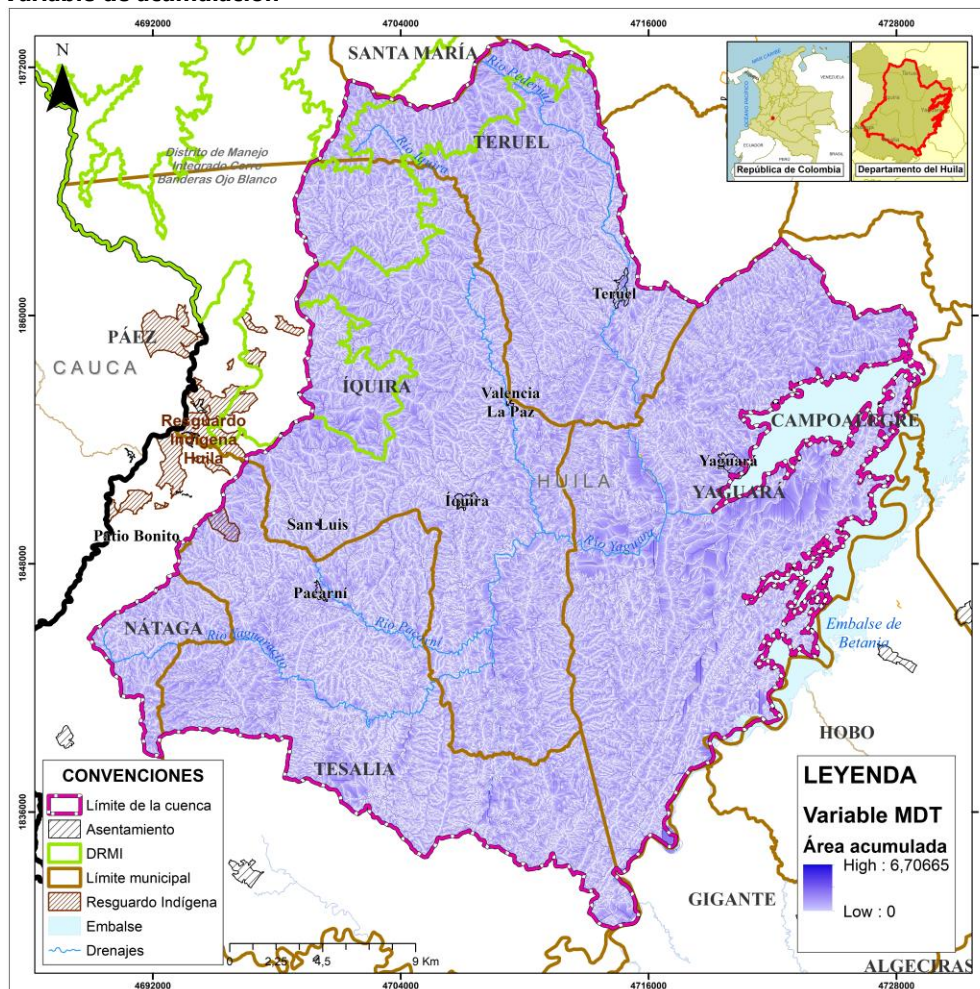


Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

e) Acuencia

A continuación, en la Figura 3.20 se observa las áreas que presentan acumulación hídrica en la cuenca del río Yaguará.

Figura 3.20. Variable de acumulación



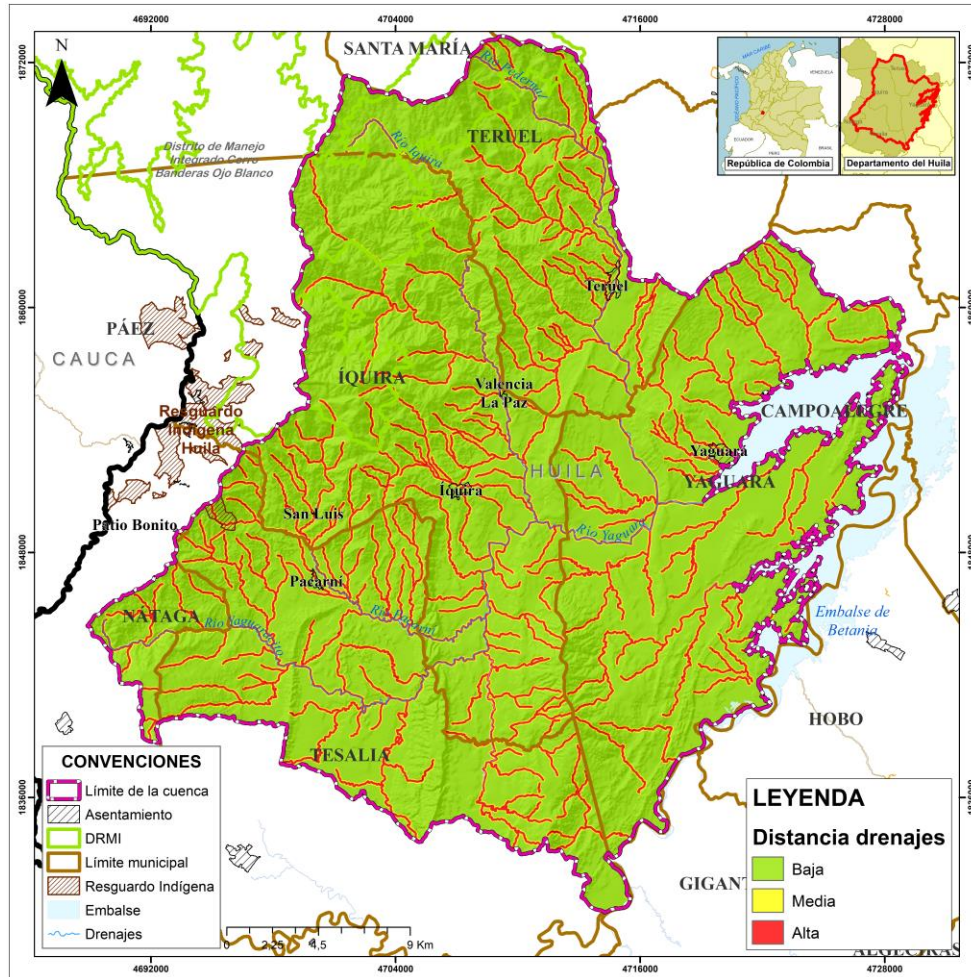
Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

3.2.3.3. Otras variables

a) Distancia de cauce

Esta variable se genera a partir de la cartografía base de la cuenca hidrográfica del río Yaguará, de acuerdo con la clasificación establecida en la Tabla 3.19.

Figura 3.21. Variable de distancia de cauce



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

b) Distancia de vías

La variable que categoriza la distancia de las vías se genera a partir de la cartografía base de la cuenca hidrográfica del río Yaguará, de acuerdo con la clasificación establecida en la Tabla 3.20.

Figura 3.22. Variable de distancia de vías



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

c) Densidad de drenaje

La variable densidad de drenaje se genera a partir de la cartografía base de la cuenca hidrográfica del río Yaguará como se observa en la Figura 3.23.

3.2.3.4. Susceptibilidad por movimientos en masa

Tabla 3.26. Categorías de susceptibilidad a inundación

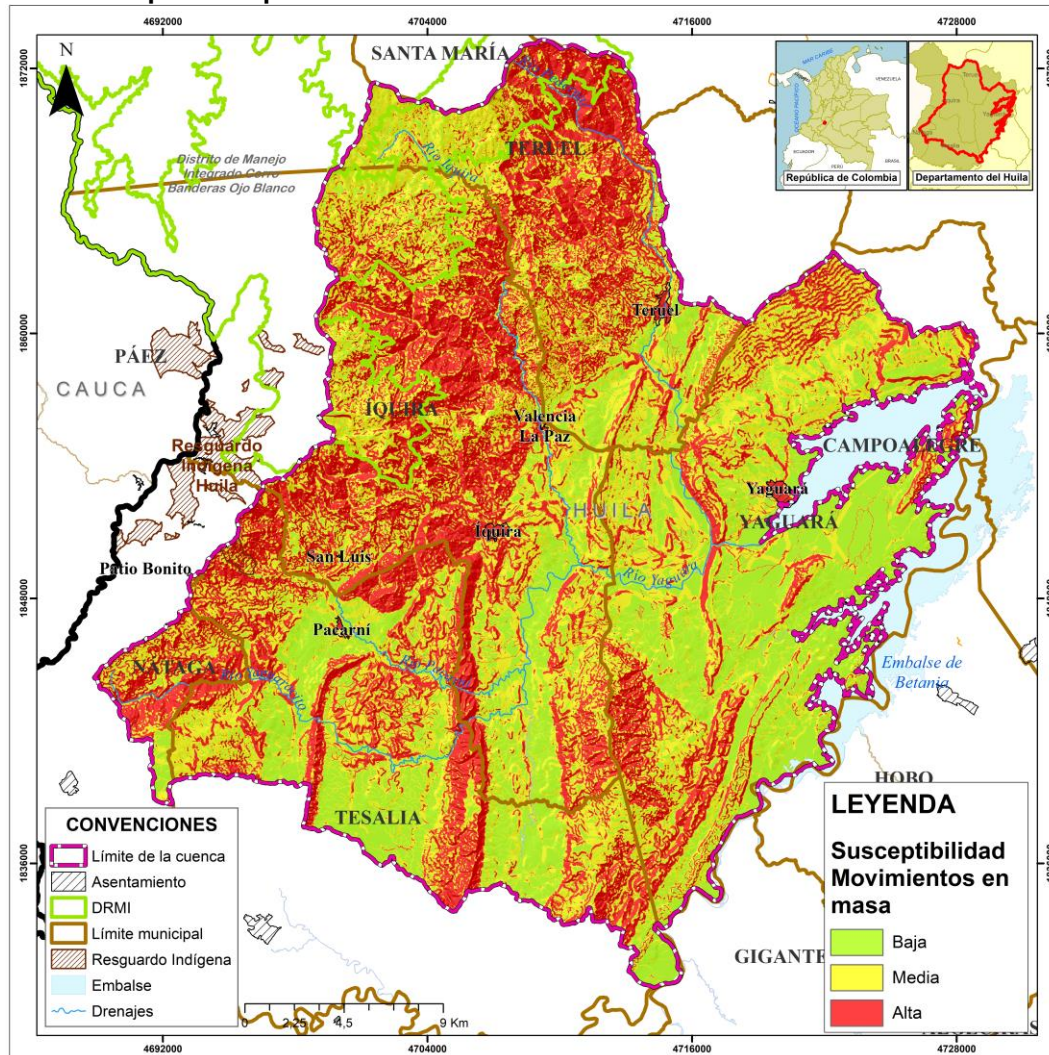
CATEGORÍA	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
Alta	33.206,77	37,11
Media	35.992,02	40,23
Baja	20.277,81	22,66
TOTAL	89.476,61	100

La categoría media predomina en la cuenca, como se puede ver en la Tabla 3.26, distribuyéndose en el 40% del área total, correspondiendo a 35.992 ha. Se observa que esta

categoría se distribuye en tres municipios: en el municipio de Íquira en las veredas Alto Damitas, Cachimbo, Cerro Damitas, El Recreo, El Tote, Garvanzal, Ibirco, Limonar y Potreritos; en el municipio de Nátaga en Las Honduras, Buena Vista, El Alto Carmelo, Los Laureles, Patio Bonito y El Teniente; y en el municipio de Tesalia en El Dave, El Guamal, El Moral, La Florida, Los Yuyos, Piedra Gorda, Potrerogrande, Sinaí, Raspayucos, El Palmito y Los Yuyos.

Seguido por la susceptibilidad alta a movimientos en masa en un 37% del territorio, comprendiendo un área de 33.206,77 ha; esta categoría se presenta en gran parte de los municipios de Teruel, Íquira y Nátaga, como se puede observar en la Figura 3.24. La susceptibilidad baja abarcando el 22% del área de la cuenca (32.168 ha), ubicándose gran parte en el municipio de Yaguará sobre las veredas Alto de la Hocha, Arenoso, Bajo Mirador, El Viso, Flandes, Jaguar, La Floresta, La Paz, Letrán, Upar y Vilú. Por último, la susceptibilidad alta comprende el 25% del área total (22.039 ha).

Figura 3.24. Susceptibilidad por movimientos en masa



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

El mapa de susceptibilidad por movimientos en masa se presenta en el Anexo/07_cartografía_Tematica/01_Mapas/02_SUSCEPTIBILIDAD/04_SUSCEPTIBILIDAD_M M

3.3. Inundaciones

Una inundación es la ocurrencia del crecimiento, desbordamiento y dispersión de las aguas de corrientes superficiales sobre las áreas normalmente secas (IDEAM, 2017), ocasionado por el fenómeno meteorológico de la precipitación extrema junto a acciones humanas, como el cambio de uso del suelo y la ocupación de zonas inundables (Universidad Rovira i Virgili, 2005). Existen tres tipos de inundaciones: la primera es según su origen, la segunda es según su duración y la tercera es por el mecanismo de generación (Sedano, 2012), como se puede observar en la Figura 3.25.

Figura 3.25. Tipología de eventos de inundaciones

ORIGEN	<ul style="list-style-type: none"> • Inundación natural o hidrometeorológica • Inundación socio-natural
DURACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Inundación rápida o dinámica • Inundación lenta o estática
MECANISMO DE GENERACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Inundación pluvial • Inundación fluvial • Inundación por rotura

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022, adaptado de Acuña y Ordoñez (2018).

- **Origen**
 - *Inundación natural o hidrometeorológica:* Aumento progresivo del nivel de las aguas en un cauce, sobrepasando la capacidad de retención o infiltración del suelo (Acuña y Ordoñez, 2018).
 - *Inundación socio-natural:* Incremento del caudal de aguas del drenaje natural del cauce ocasionado por la impermeabilización de la superficie produciendo la disminución del tiempo pico y del tiempo base del hidrograma (Sedano, 2012).
- **Duración**
 - *Inundación rápida o dinámica:* Inundación súbita como resultado de lluvias repentinas e intensas en áreas con altas pendientes, como los ríos de montaña, este tipo de inundación tiene una corta duración (Acuña y Ordoñez, 2018).
 - *Inundación lenta o estática:* Incremento del agua paulatinamente por lluvias persistentes, este tipo de inundación se presenta en zonas planas denominadas llanuras de inundación (Acuña y Ordoñez, 2018).

- **Mecanismo de generación**

- *Inundación pluvial*: Acumulación de agua lluvia sobre una superficie por horas o días, consecuencia de la saturación hídrica del suelo por la falta de infiltración y la poca evaporación (Acuña y Ordoñez, 2018).
- *Inundación fluvial*: Desborde de los ríos sobre la superficie de terrenos cercanos, por el incremento brusco del volumen, siendo mayor al que pueda transportar el cauce o el lecho (Acuña y Ordoñez, 2018).
- *Inundación por rotura*: Falla de un contenedor de agua, ocasionando la salida de grandes volúmenes de agua, lo cual puede provocar afectaciones de gran magnitud a la población (Acuña y Ordoñez, 2018).

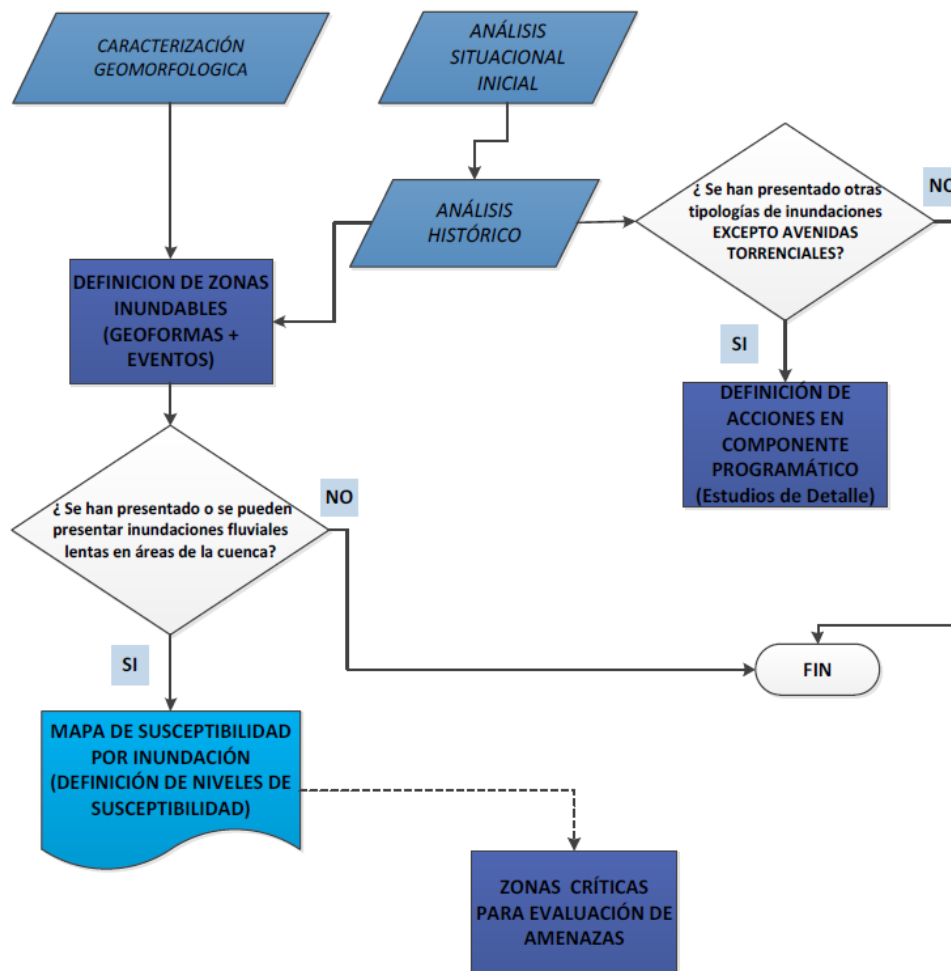
Las inundaciones afectan al ecosistema generando la transformación del paisaje, esto depende de: la velocidad de flujo, la pendiente, la concentración de sedimentos y el nivel del agua; también este evento puede afectar el crecimiento o muerte de muchas especies en las riberas, incrementando la fertilidad del suelo, recarga de acuíferos y limpiando los cauces (Sedano, 2012). Respecto al componente urbanístico, este evento repercute en las actividades productivas y la calidad de vida de la población, por la destrucción o daños sobre las infraestructuras como vías, cultivos, industrias, redes de agua potable, viviendas, sistemas de salud, entre otros.

3.3.2. Metodología

La susceptibilidad de las inundaciones correspondiente a la cuenca del río Yaguará, es determinada por el equipo técnico tomando como referencia la metodología establecida en el *Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuenca hidrográficas* del MINAMBIENTE.

La evaluación de susceptibilidad a este tipo de eventos se realiza mediante el análisis de la salida cartográfica geomorfológica a escala 1:25.000 de la cuenca, e inventarios de eventos (históricos y eventos activos) consultados en las plataformas pertinentes, para generar y seleccionar las variables que permitan conocer las zonas de inestabilidad del área, estas proporcionaran la malla regular discriminante que permitirá la generación del mapa de susceptibilidad (Figura 3.26).

Figura 3.26. Diagrama de la evaluación de susceptibilidad por inundaciones



Fuente: MINAMBIENTE, 2014.

Los alcances técnicos del protocolo establecen los siguientes pasos para la aplicación del método con los principales elementos:

- **Paso A:** Analizar eventos de inundaciones fluviales identificados en el análisis situacional inicial.
- **Paso B:** Analizar los eventos históricos consultado previamente, y contrastarlos con la información obtenida en campo de la fase de diagnóstico.
- **Paso C:** Analizar el componente geomorfológico mediante las dos salidas cartográficas de la cuenca; primero, la salida basada en el método de Carvajal (2011), en el cual se determinan ambientes fluviales con sus unidades; y segundo la salida basada en el método de Zinck (2012) que define paisajes geomorfológicos, tipos de relieve, modelados y geoformas asociados a eventos de inundación.
- **Paso D:** Definir las unidades inundables mediante los puntos o polígonos del análisis de eventos históricos y el análisis geomorfológico.

- **Paso E:** Establecer la propuesta de la tipología de inundaciones.
- **Paso F:** Definir áreas críticas sujetas a evaluación de amenaza se realiza considerando las categorías de susceptibilidad alta y media.

3.3.3. Variables utilizadas

3.3.3.1. Eventos históricos

La información de los eventos históricos de inundaciones recopilada en el análisis situacional y la información de eventos proporcionada por los actores en los talleres, se analizaron y se sintetizaron en una salida cartográfica con puntos o polígonos.

Tabla 3.27. Categorización de la recurrencia de los eventos de avenidas torrenciales

TEMPORALIDAD DEL EVENTO HISTÓRICO	CATEGORÍA	CLASIFICACIÓN
Menor a 15 años	3	Alta
Entre 15 y 50 años	2	Media
Mayor a 50 años	1	Baja

Fuente: MINAMBIENTE, 2014.

3.3.3.2. Geomorfología

La susceptibilidad a inundaciones en la cuenca del río Yaguará se determinó a través de la caracterización geomorfológica con el método de Carvajal (2011) y Zinck (2012), identificando las diferentes morfodinámicas presentes; las cuales permitieron evaluar la susceptibilidad a los procesos de inundación. El *Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los POMCA*, establece los siguientes criterios de clasificación correspondientes a cada área con su respectiva susceptibilidad a inundación.

Tabla 3.28. Susceptibilidad a inundación según la geomorfología de la cuenca

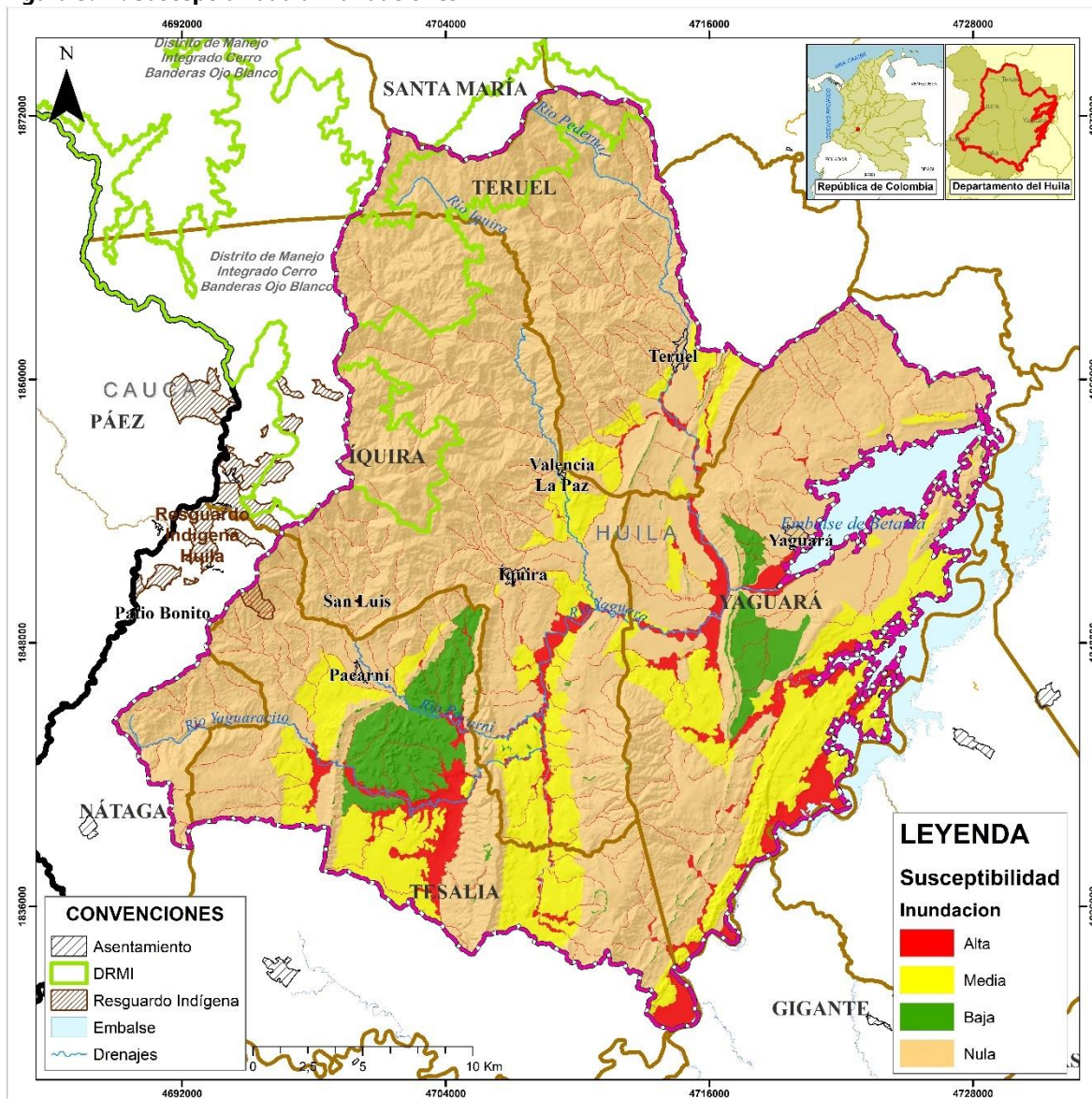
CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA	CATEGORÍA	SUSCEPTIBILIDAD A INUNDACIÓN
Geoformas que denotan procesos activos o inundaciones periódicas (ej. valles aluviales, planos de inundación, terrazas bajas, albardón, trenzado, entre otras) y áreas en donde coincidan dos o más puntos o polígonos de eventos históricos.	3	Alta
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.	2	Media
Geoformas que denotan procesos antiguos (ej. terrazas altas).	1	Baja

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022, adaptado de MINAMBIENTE (2014).

3.3.4. Resultados obtenidos

Posterior al procesamiento de información correspondiente a los eventos históricos y geomorfológicos, mediante la herramienta SIG se obtuvo el mapa de susceptibilidad a inundaciones para la cuenca del río Yaguará, como se puede observar en la Figura 3.27.

Figura 3.27. Susceptibilidad a inundaciones



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

Se evidencia en la Tabla 3.29 que la cuenca presenta predominancia de la categoría nula, representando el 72,7% del total del área del objeto de ordenación. Estas áreas corresponden a centros poblados, sectores con geoformas de cauce aluvial, planicie o llanura de inundación, y plano aluvial confinado. La mayor extensión de la susceptibilidad nula se observa en la zona norte de la cuenca.

La susceptibilidad media representa el 16% del área total de la cuenca, se ubican en áreas con geoformas de escarpe de terraza de acumulación, terrazas de acumulación y montículos y ondulaciones denudacionales. Se ubica en el municipio de Iquira en las veredas Santa

Barbara, Potreritos, Limonar, Santa Lucía y Potreritos; el municipio de Teruel en las veredas La Cañada, Monserrate, en el municipio de Tesalia en las veredas Los Yuyos, Potrerogrande y Piedra Gorda; y el municipio de Yaguará en las veredas Arenoso y La Floresta.

Tabla 3.29. Categorías de susceptibilidad a inundación

CATEGORÍA	ÁREA (Ha)	ÁREA (%)
Alta	6368,73	7,12
Media	13957,90	15,60
Baja	4099,34	4,58
Nula	65050,63	72,70
TOTAL	89.476,61	100,00

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

Las zonas correspondientes a susceptibilidad alta a inundación representan el 7,12% del área de la cuenca, se asocian a sectores próximos a los cauces aluviales, y áreas con geoformas de planicie o llanura de inundación y plano aluvial confinado. La extensión de susceptibilidad alta a inundación se observa concentrada en tres municipios: primero, Yaguará sobre las veredas Arenoso, La Floresta, Vilu, Flandes y El Viso influenciadas por el río Yaguará y Pedernal; segundo, Íquira sobre las veredas El Chaparro, Limonar, La Hocha, Santa Barbara, y Santa Lucía, por la influencia del río Íquira; y tercero, Tesalia en las veredas La Florida, El Guamal, Piedra Gorda, Los Yuyos, El Dave y Potrerogrande debido a la dinámica del río Pacarní y río Yaguaracito.

La susceptibilidad baja se asocia a las geoformas de lomeríos disectados y lomeríos poco disectados. Esta categoría abarca el 4,6% del área total del territorio de la cuenca, se observa en la Figura 3.27 que se ubica en el municipio de Íquira en las veredas de Santa Lucia, Santa Bárbara, Potreritos, Jaho, Las Brisas, Lejanías, El Rosario, Limonar y Cerro Damitas; en el municipio de Nátaga en las veredas Buena Vista, Alto Carmelo, Las Honduras y San Isidro, en el municipio Teruel en las veredas Paraiso, La Cañada, Monserrate, Varas Mesón, Corrales, Sinaí, La Armenia y Pedernal; en el municipio de Tesalia en las veredas de El Moral, Potrerogrande, Piedra Gorda, Los Yuyos, La Florida, La Esperanza y El Guamal; y el municipio de Yaguará en las veredas de Arenoso, La Floresta, Vilú, La Floresta, Flandes y El Viso.

El mapa de susceptibilidad por inundaciones se presenta en el Anexo/07_cartografia_Tematica/01_Mapas/02_SUSCEPTIBILIDAD/03_SUSCEPTIBILIDAD_IN

3.4. Avenidas torrenciales

Las avenidas torrenciales son flujos de masa (agua mezclada con sedimentos y escombros) de corta duración y un largo periodo de retorno, que transitan por los cauces de las cuencas con pendientes longitudinales altas (SGC, 2021); generadas por el efecto de las lluvias intensas, aumentando la cantidad de agua disponible de suelos inestables, cuya capacidad

de agarre esta deteriorado lo cual provoca el escurrimiento de la mezcla de los componentes (Hung et al, 2001). Este tipo de evento también puede ser provocado por ruptura de represamientos, por abundantes deslizamientos sobre la cuenca, sismos o deshielo de nevados y flujos piroclásticos (Desinventar, 2009 y Suárez, 2009).

Los flujos cuando presentan gran cantidad de sedimentos, cambiando las propiedades del flujo y el comportamiento del flujo, se conocen como flujos hiperconcentrados (Wan y Wang, 1994). Hay tres tipos de flujos hiperconcentrados: inundaciones o crecidas de barros, flujos de barro y flujos de detritos (Julien, 2000).

1. **Inundaciones o crecidas de barro**, se caracterizan por una alta concentración de limos y arcillas, cambiando la matriz del fluido, favoreciendo el transporte de piedras o material de gran tamaño. La concentración de sedimento en volumen de la matriz del fluido esta entre el 45% y 55% (Brea y Sapalletti, 2005).
2. **Flujos de barro**, se caracterizan por las altas viscosidades y esfuerzos de cedencia, pueden desplazarse a grandes distancias en pendientes moderadas con bajas velocidades, se depositan en forma lobular en los abanicos aluviales (Brea y Sapalletti, 2005).
3. **Flujos de detritos**, es la mezcla de materiales clásticos, incluyendo piedras de gran tamaño y material vegetal, impartiendo una alta viscosidad, una elevada cohesión, suficiente resistencia para sostener clastos mayores en el flujo, y el flujo se mantiene en condiciones laminares (Brea et al, 2005).

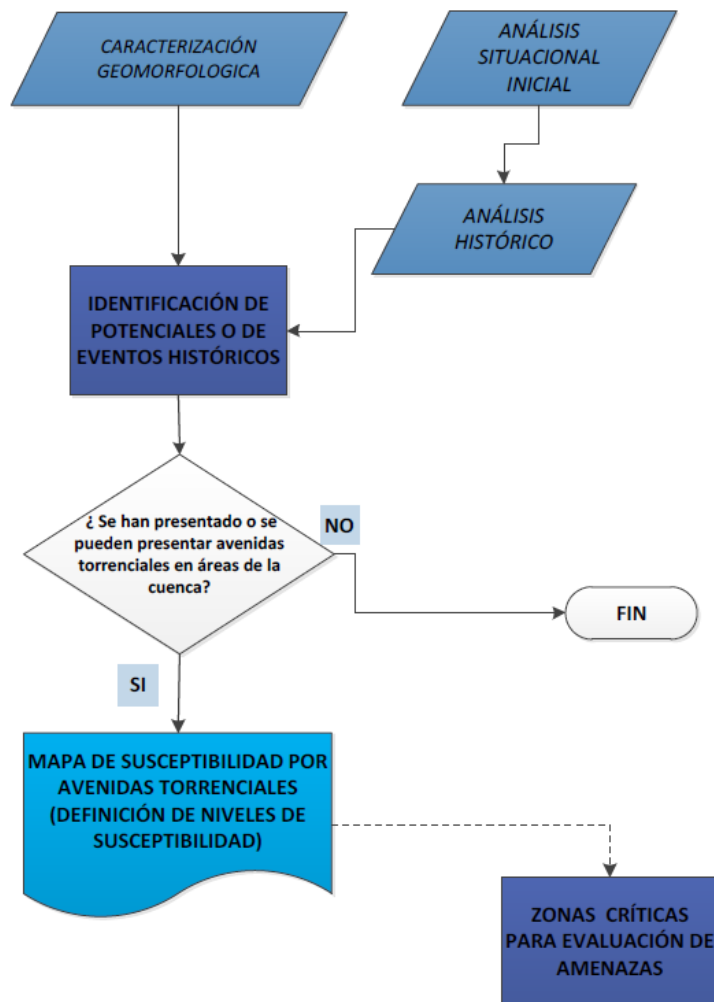
La ocurrencia del presente evento es impredecible, según su magnitud puede causar afectaciones al medio ambiente como la perdida de especies o la alteración de calidad de agua de los cuerpos por donde se desplace la avenida torrencial, y afectaciones socioeconómicas, causando pérdidas de vidas humana y afectaciones a equipamientos e infraestructuras de tipo público o privado (Hung et al, 2001).

3.4.1. Metodología

La susceptibilidad de las avenidas torrenciales correspondiente a la cuenca del río Yaguará, es determinada por el equipo técnico tomando como referencia la metodología establecida en el *Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuenca hidrográficas* del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2014).

La evaluación de susceptibilidad a este tipo de eventos se realiza mediante el análisis de la salida cartográfica geomorfológica a escala 1:25.000 de la cuenca e inventarios de eventos (históricos y eventos activos) consultados en las plataformas pertinentes, para generar y seleccionar las variables que permitan conocer las zonas de inestabilidad del área, estas proporcionaran la malla regular discriminante que permitirá la generación del mapa de susceptibilidad (Figura 3.26).

Figura 3.28. Diagrama de la evaluación de susceptibilidad por avenidas torrenciales



Fuente: MINAMBIENTE, 2014.

Los alcances técnicos del protocolo establecen los siguientes pasos para la aplicación del método con los principales elementos:

- **Paso A:** Contrastar y analizar los eventos de avenidas torrenciales identificados en el análisis situacional inicial, la información obtenida en campo de la fase de diagnóstico, la validación de eventos históricos, y la jerarquización de la magnitud de eventos validados a partir de la precipitación y caudales.
- **Paso B:** Analizar el componente geomorfológico, mediante las dos salidas cartográficas de la cuenca; primero, la salida basada en el método de Carvajal (2011), en el cual se determinan los ambientes del terreno, la salida basada en el método de Zinck (2012) que define paisajes geomorfológicos, tipos de relieve, modelados y geoformas asociados a eventos de avenidas torrenciales.

- **Paso C:** Estimar el Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales – IVET, según los lineamientos definidos por el IDEAM (2013), este índice relaciona las características de la forma de la cuenca con las condiciones hidrológicas.
- **Paso D:** Delimitar las zonas susceptibles de ser afectadas por avenidas torrenciales.

3.4.2. Variables utilizadas

3.4.2.1. Eventos históricos

La información de los eventos históricos de avenidas torrenciales recopilada en el análisis situacional y la información de eventos proporcionada por los actores en los talleres, se analizaron y se sintetizaron en una salida cartográfica con puntos o polígonos.

Tabla 3.30. Categorización de la recurrencia de los eventos de avenidas torrenciales

TEMPORALIDAD DEL EVENTO HISTÓRICO	CATEGORÍA	CLASIFICACIÓN
Menor a 15 años	3	Alta
Entre 15 y 50 años	2	Media
Mayor a 50 años	1	Baja

Fuente: MINAMBIENTE, 2014.

3.4.2.2. Geomorfología

El análisis de esta variable para determinar la susceptibilidad de las avenidas torrenciales se clasificó de acuerdo con las características de la morfología del territorio por subunidad geomorfológica y la probabilidad de ocurrencia de que se presente el evento, como se puede observar en la Tabla 3.31.

Tabla 3.31. Valoración susceptibilidad por avenidas torrenciales según criterios geomorfológicos

REGIÓN	UNIDAD	SUBUNIDAD	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	SUSCEPTIBILIDAD
Ambiente antropogénico	Canteras	Flancos de cantera	Ar	Planos hechos artificialmente con material de relleno para acondicionar terrenos anegadizos para la construcción de viviendas. Técnicamente son de gravas, bloques y arena bien compactados, sin embargo, comúnmente son de escombros y desechos de construcción.	Baja
Ambiente Denudacional	Cerro Residuales	Ladera denudada	Dideal	Son sistemas o conjuntos de lomos o filos ubicados en las partes alta y media de la cuenca, o en zonas con formas alargadas en dirección perpendicular al drenaje principal de las corrientes o quebradas.	Media
			Dlor	Prominencias topográficas con una altura menor de 200 metros sobre su nivel de base local, de morfología alomada y elongada,	Baja



REGIÓN	UNIDAD	SUBUNIDAD	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	SUSCEPTIBILIDAD
				con relieve relativo bajo, de laderas cortas a muy cortas, de forma convexa, Las pendientes varían entre muy inclinadas a muy abruptas, constituidas de suelos residuales con espesor superior a 3 metros, localmente pueden estar cubiertos por delgados depósitos de cenizas volcánicas y delgados niveles de material coluvial. Su origen está asociado a procesos intensos de meteorización y erosión diferencial.	
			Dsd	Prominencias topográficas de morfología montañosa y elongada de laderas largas a extremadamente largas, cóncavas a convexas, con pendientes inclinadas. Su origen se asocia a procesos de erosión acentuada en el sustrato rocoso homogéneo ígneo.	Baja
	Glacis	Conos	Dpa	Superficie de acumulación de sedimentos de longitudes moderadamente largas de formas en montículos redondeados con laderas suavemente inclinadas. Su génesis se asocia a la acumulación del material fino procedente del desgaste y por procesos de erosión intensa de rocas, localmente, de origen ígneo. En la vereda Paraíso la Palma se puede observar un claro ejemplo de este tipo de morfología	Baja
	Llanuras Inundación	Llanuras	Dp	Porción de terreno extensa, plana, no confinada, de posición baja, con índice de relieve relativo muy bajo y pendiente plana a suave, generalmente menores a 5°. Varios ríos contribuyen a formar un sistema fluvial complejo.	Media
	Lóbulos de escombros	Conos	Dco	Geoforma cónica o de lóbulos alomados bajos. Se originan por procesos de transporte y deposición de materiales sobre las laderas y por efecto de	Media

REGIÓN	UNIDAD	SUBUNIDAD	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	SUSCEPTIBILIDAD
				procesos hidrogravitacionales, en suelos saturados y no saturados, están constituidos por bloques y fragmentos heterométricos de rocas preexistentes, embebidos en una matriz generalmente arcillosa a areno limo arcilloso.	
Ambiente estructural	Espinazos	Laderas estructurales	Sflt	Estructura elongada paralela a un sistema de falla, con laderas muy inclinadas a abruptas y perpendicular a estas con forma de faceta triangular. Su origen se debe al truncamiento y desplazamiento vertical o lateral por procesos de fallamiento intenso, se presentan en rocas duras a intermedias.	Media
	Sierras homoclinales	Laderas estructurales	Sshle	Ladera de sierra homoclinal generalmente denudada, definida por la inclinación de los estratos en favor de la pendiente, de longitud corta a moderadamente larga, de formas rectas a convexas y con pendientes escarpadas a muy escarpadas.	Media
	Sierras Sinclinales	Laderas estructurales	Ssslc	Ladera de sierra sinclinal generalmente denudada, definida por la disposición de los estratos inclinados en contra de la pendiente del terreno, de longitud moderadamente larga y de formas convexas a irregulares escalonadas con pendientes abruptas a escarpadas.	Media
			Sssle	Ladera de sierra sinclinal generalmente denudada, definida por estratos inclinados en favor de la pendiente del terreno, conformando una especie de artesa. Generalmente son de longitud corta a moderadamente larga, con forma cóncava y pendientes inclinadas a abruptas. Son producto de procesos de erosión sobre la alternancia de rocas blandas a intermedias de formaciones cretácicas o del Paleógeno, con predominio de drenajes dendríticos a subparalelos	Media



REGIÓN	UNIDAD	SUBUNIDAD	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	SUSCEPTIBILIDAD
Ambiente fluvial	Abanico fluvial	Barras	Fca	Corresponde a un canal de forma irregular excavado por corrientes de agua, dentro de macizos rocosos y/o sedimentos aluviales y que dependiendo de factores como pendiente, resistencia del lecho, carga de sedimentos y caudal, pueden persistir por grandes distancias.	Baja
		Llanuras	Fpac	Franja de terreno de morfología plana, angosta, eventualmente inundable, en forma de "U", limitada por lomas alargadas, que bordean los cauces fluviales, en los cuales se observa el estrangulamiento o estrechamiento del mismo. Constituida por material aluvial (arenas, limos y arcillas). Se encuentran restringidas principalmente a la Formación Saldaña, aunque eventualmente se encuentran en el depósito Fluvio Lacustre y son producto de los procesos erosivos que generaron la disección en estos.	Baja
	Glacis	Conos	Fcdy	Superficie en forma de cono en planta y de 5° - 10° de inclinación de decenas de metros de extensión, ubicados en el punto donde los canales o quebradas llegan a zonas de valles amplios. Se constituyen de tierras, arena y grava, en espesores, en donde los materiales más gruesos se localizan hacia el ápice en la zona de salida y los más finos en la zona distal.	Baja
	Terrazas fluviales	Terrazas fluviales	Ftee	Talud vertical a subvertical o escalonado, que bordean terrazas aluviales de erosión, cuyo origen está relacionado con la incisión y profundización del cauce. La altura de estos escarpes puede variar de pocos a decenas de metros.	Baja
Ambiente volcánico	Cono volcánico	Cuello volcánico	Vd	Colina en forma de cúpula redondeada o elongada, de superficie irregular, con pendientes abruptas a suaves. Su génesis se asocia a la extrusión de	Baja

REGIÓN	UNIDAD	SUBUNIDAD	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	SUSCEPTIBILIDAD
				lava muy viscosa, que en ocasiones puede alcanzar a fluir un poco, conformando lo que se denomina domo colada.	
	Lahar	Conos	Vfla	Lóbulo alomado de aspecto cónico y suavemente inclinado, con escarpes de diferente altura. Su génesis está asociada a la acumulación de productos volcánicos previamente depositados o generados durante la erupción, que han sido mezclados o removidos por cuerpos de aguas superficiales.	Baja
	Lóbulos de escombros	Manto de Piroclastos	Vmp	Geoformas de planos amplios de pendientes inclinadas, localmente aterrazados, de morfología suavemente ondulada debida al suavizado del relieve preexistente por la cobertura de material piroclástico. La génesis de este tipo de geoformas, se asocia a depósitos de piroclastos de caída o al emplazamiento de corrientes de densidad piroclástica.	Baja

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

La descripción completa de las unidades geomorfológicas se encuentra en el Vol 1, capítulo X del presente informe de Diagnóstico.

3.4.2.3. Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales - IVET

El IVET indica la relación existente entre las características de la forma de una cuenca que son indicativos de la torrencialidad en la misma, en relación con las condiciones hidrológicas en dicha cuenca (IDEAM, 2013).

Tabla 3.32. Categorías IVET

ÍNDICE DE VARIABILIDAD	ÍNDICE MORFOMÉTRICO DE TORRENCIALIDAD				
	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Muy baja	Baja	Baja	Media	Alta	Alta
Baja	Baja	Media	Media	Alta	Muy alta
Media	Baja	Media	Alta	Alta	Muy alta
Alta	Media	Media	Alta	Muy alta	Muy alta
Muy alta	Media	Alta	Alta	Muy alta	Muy alta

Fuente: IDEAM (2013).

A continuación, se describe la metodología de obtención del índice de variabilidad y el índice morfométrico de torrencialidad.

3.4.2.3.1. Índice de variabilidad

Este índice muestra el comportamiento de los caudales, definiendo una cuenca torrencial como aquella que presenta una mayor variabilidad, es decir, donde existen diferencias grandes entre los caudales mínimos que se presentan, y los valores máximos. (IDEAM, 2013).

Este índice se determina por la curva de duración de los caudales al ser graficada en escala logarítmica en tendencia lineal, como se observa en la siguiente ecuación.

$$\text{Índice de variabilidad} = (\text{Log}(Q_i) - \text{Log}(Q_f)) / (\text{Log}(X_i) - \text{Log}(X_f)) \quad (2)$$

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

Tabla 3.33. Clasificación del índice de variabilidad

ÍNDICE DE VARIABILIDAD	VULNERABILIDAD
< 10°	Muy baja
10,1° - 37°	Baja
37,1° - 47°	Media
47,1° - 55°	Alta
> 55°	Muy alta

Fuente: IDEAM (2013).

3.4.2.3.2. Índice morfométrico de torrencialidad

Es la relación del coeficiente de compacidad, la pendiente media de la cuenca y la densidad de drenaje, los cuales son indicativos de la forma como se concentra la escorrentía, su rapidez y eficiencia para salir de la cuenca luego de un evento de precipitación; además de evaluar la capacidad de arrastre de sedimentos de la cuenca (Rivas y Soto, 2009).

Para clasificar el índice morfométrico se categorizan tres variables: densidad de drenaje, pendiente media de la cuenca y coeficiente de compacidad (Tabla 3.34). Posterior a la categorización, se correlacionan las variables de la cuenca del río Yaguará, con los valores y clasificación establecidos en por el IDEAM (2013), como se puede observar en la Tabla 3.35.

Tabla 3.34. Categorización del índice morfométrico

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: IDEAM (2013).

Tabla 3.35. Relaciones entre las variables para el índice morfométrico

		PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA						
		1	2	3	4	5		
DENSIDAD DE DRENAJES	1	111	121	131	141	151	1	CONFIDENCIA DE FORMA
		112	122	132	142	152	2	
		113	123	133	143	153	3	
		114	124	134	144	154	4	
		115	125	135	145	155	5	
	2	211	221	231	241	251	1	
		212	222	232	242	252	2	
		213	223	233	243	253	3	
		214	224	234	244	254	4	
		215	225	235	245	255	5	
	3	311	321	331	341	351	1	
		312	322	332	342	352	2	
		313	323	333	343	353	3	
		314	324	334	344	354	4	
		315	325	335	345	355	5	
	4	411	421	431	441	451	1	
		412	422	432	442	452	2	
		413	423	433	443	453	3	
		414	424	434	444	454	4	
		415	425	435	445	455	5	
	5	511	521	531	541	551	1	
		512	522	532	542	552	2	
		513	523	533	543	553	3	
		514	524	534	544	554	4	
		515	525	535	545	555	5	

Muy alta	Alta	Baja	Moderada	Muy baja

Fuente: IDEAM (2013).

3.4.3. Resultados obtenidos

3.4.3.1. Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales - IVET

El cálculo del índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET) se obtiene a partir de la relación entre el índice morfométrico y el índice de variabilidad, como se observa en la Tabla 3.32.

3.4.3.1.1. Índice morfométrico

El índice morfométrico se constituye a partir de las variables de pendiente media, índice de compacidad y densidad de drenaje. La categorización de los parámetros morfométricos correspondientes a la cuenca del río Yaguará se presenta en la Tabla 3.36, siguiendo los lineamientos establecidos por el IDEAM (2011), ver Tabla 3.34.

Tabla 3.36. Categorización de las variables del índice morfométrico

NSS-1	CUENCA	ÁREA (ha)	PENDIENTE MEDIA		ÍNDICE DE COMPACIDAD		DENSIDAD DE DRENAJE	
			(%)	Categoría		Categoría	km/km ²	Categoría
2108-01	Río Yaguará entre R. Pedernal y Embalse Betania	237,39	0,22	1 Accidentado	1,38	2 Oval-redonda a oval-oblonga	0,03	1 Baja
2108-02	Directos a Embalse Betania Sector Noroccidental	7.288,98	10,78	1 Accidentado	2,02	1 Oval-oblonga a Rectangular-oblonga	0,04	1 Baja
2108-03	Río Pedernal	13.697,28	7,76	1 Accidentado	1,55	1 Oval-oblonga a Rectangular-oblonga	0,05	1 Baja
2108-04	Río Íquira	16.690,31	6,83	1 Accidentado	1,45	2 Oval-redonda a oval-oblonga	0,04	1 Baja
2108-05	Río Pacarní	9.050,70	3,78	1 Accidentado	1,59	1 Oval-oblonga a Rectangular-oblonga	0,05	1 Baja
2108-06	Río Yaguaracito	13.687,98	3,53	1 Accidentado	1,71	1 Oval-oblonga a Rectangular-oblonga	0,05	1 Baja
2108-07	Río Macurí	5.011,01	2,34	1 Accidentado	1,30	3 Oval-redonda a oval-oblonga	0,04	1 Baja
2108-08	Directos al Río Magdalena entre R. Páez y Embalse Betania	4.428,32	11,88	1 Accidentado	1,72	1 Oval-oblonga a Rectangular-oblonga	0,04	1 Baja
2108-09	Directos al Embalse Betania Sector Suroccidental	10.408,21	5,59	1 Accidentado	4,04	1 Oval-oblonga a Rectangular-oblonga	0,03	1 Baja
2108-10	Directos al Río Yaguará entre R. Íquira y R. Pedernal	4.985,30	1,28	1 Accidentado	1,31	3 Oval-redonda a oval-oblonga	0,04	1 Baja

NSS-1	CUENCA	ÁREA (ha)	PENDIENTE MEDIA		ÍNDICE DE COMPACIDAD		DENSIDAD DE DRENAJE	
			(%)	Categoría		Categoría	km/km ²	Categoría
2108-11	Directos al Río Yaguará entre R. Pacarní y R. Íquira	3.700,59	0,71	1 Accidentado	1,60	1 Oval-oblonga a Rectangular-oblonga	0,04	1 Baja
2108-12	Directos al Río Yaguará entre R. Macurí y R. Pacarní (md)	290,55	0,68	1 Accidentado	1,26	3 Oval-redonda a oval-oblonga	0,02	1 Baja

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

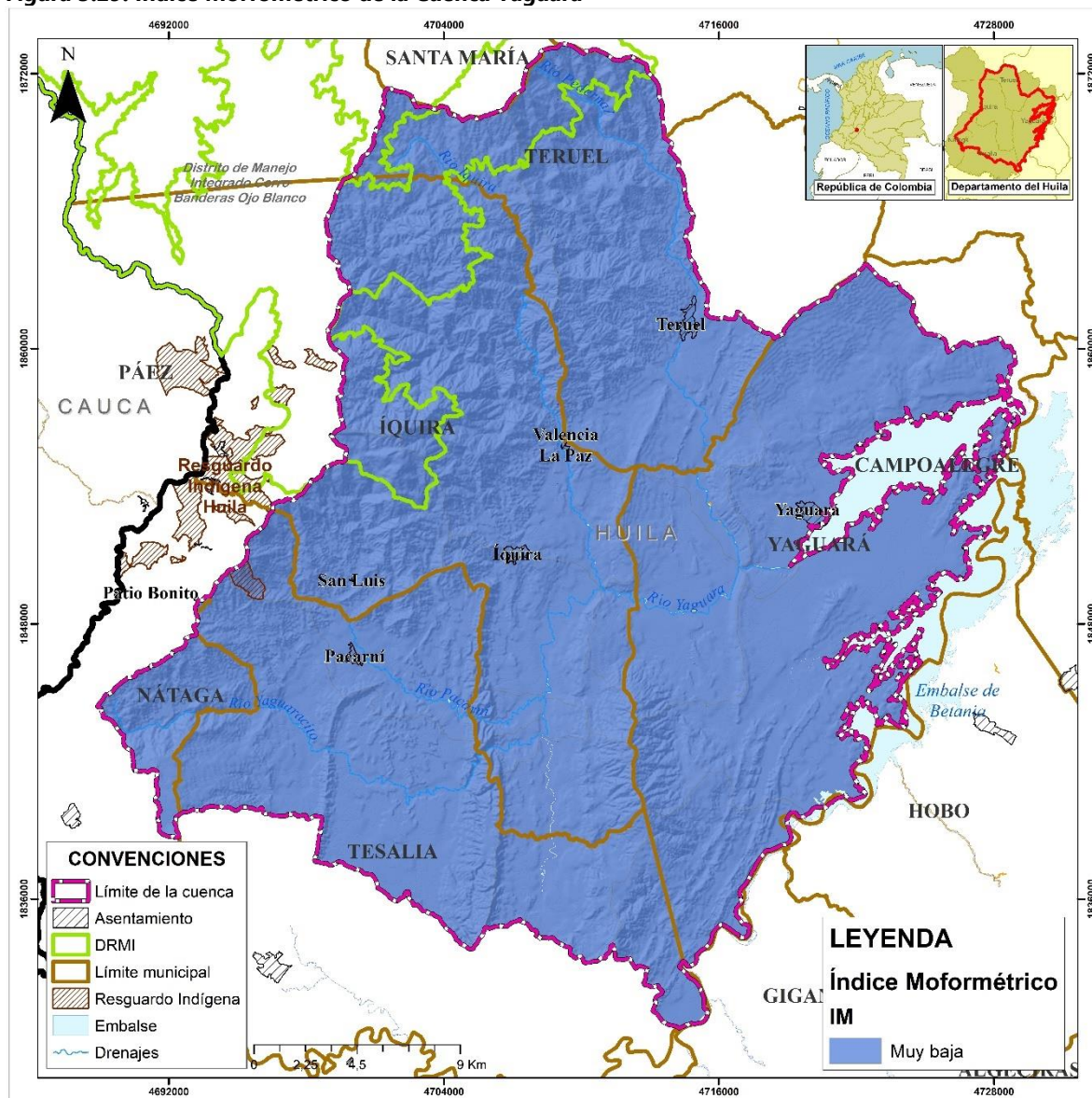
Posteriormente a la categorización, se correlacionan las tres variables para obtener el índice morfométrico de la cuenca. Los resultados de la correlación se observan en la Tabla 3.37 y la Figura 3.29, donde se evidencia que el área objeto de ordenación presenta un índice morfométrico muy bajo, indicando que la cuenca se caracteriza por ser estable y su respuesta ante eventos hidrológicos es buena.

Tabla 3.37. Índice morfométrico

NSS-1	CUENCA	ÍNDICE MORFOMÉTRICO	
		Relación	Categoría
2108-01	Río Yaguará entre R. Pedernal y Embalse Betania	112	Muy baja
2108-02	Directos a Embalse Betania Sector Noroccidental	111	Muy baja
2108-03	Río Pedernal	111	Muy baja
2108-04	Río Íquira	112	Muy baja
2108-05	Río Pacarní	111	Muy baja
2108-06	Río Yaguaracito	111	Muy baja
2108-07	Río Macurí	113	Muy baja
2108-08	Directos al Río Magdalena entre R. Páez y Embalse Betania	111	Muy baja
2108-09	Directos al Embalse Betania Sector Suroccidental	111	Muy baja
2108-10	Directos al Río Yaguará entre R. Íquira y R. Pedernal	113	Muy baja
2108-11	Directos al Río Yaguará entre R. Pacarní y R. Íquira	111	Muy baja
2108-12	Directos al Río Yaguará entre R. Macurí y R. Pacarní (md)	113	Muy baja

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

Figura 3.29. Índice Morfométrico de la Cuenca Yaguará



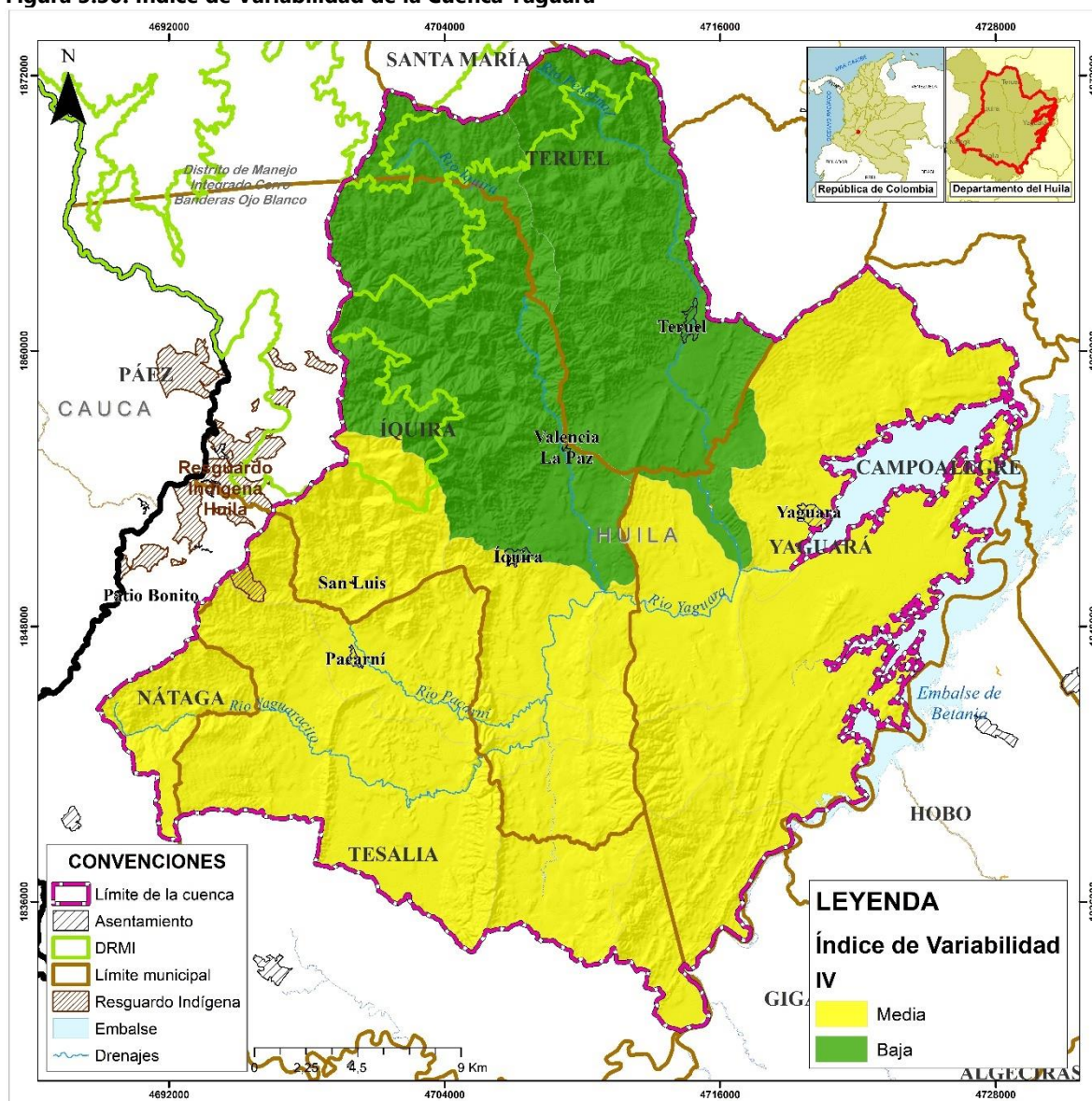
Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

3.4.3.1.2. Índice de variabilidad

El índice de variabilidad de la cuenca hidrográfica se obtiene a partir de la graficación de la curva de duración de caudales en escala logarítmica usando la ecuación (2) y se categoriza según la Tabla 3.33.

Se puede observar en la Tabla 3.38 y Figura 3.30 que la cuenca del río Yaguará presenta un índice de variabilidad media y baja.

Figura 3.30. Índice de Variabilidad de la Cuenca Yaguará



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

Tabla 3.38. Índice de variabilidad

Área homogénea hidrográfica	Estación Hidrológica	m	\bar{m}	NSS-1	IV (°)	Categoría
Río Yaguará	Hacienda El Jardín	-1,0401	-1,0494	2108-05	46,38	Media
	Hacienda Venecia	-1,0588		2108-06		
				2108-07		
				2108-10		
				2108-11		
				2108-12		

Área homogénea hidrográfica	Estación Hidrológica	m	NSS-1		IV (°)	Categoría
Río Íquira	Yerbabuena	-0,4091	-0,4694	2108-04	25,14	Baja
	Bocatoma	-0,5385				
Río Pedernal	Hidroeléctrica	-0,6513	-0,6513	2108-03	33,08	Baja
Directos al Embalse Betania o al Río Magdalena	Diaz Hacienda	-0,9153	-0,9153	2108-01 2108-02 2108-08 2108-09	42,47	Media

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

3.4.3.1.3. IVET

El índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET) se calculó a partir de la determinación de los índices morfométricos y de variabilidad para las cuencas de tercer nivel subsiguiente del área de objeto de ordenación, como se puede observar en la Tabla 3.39 y Figura 3.31.

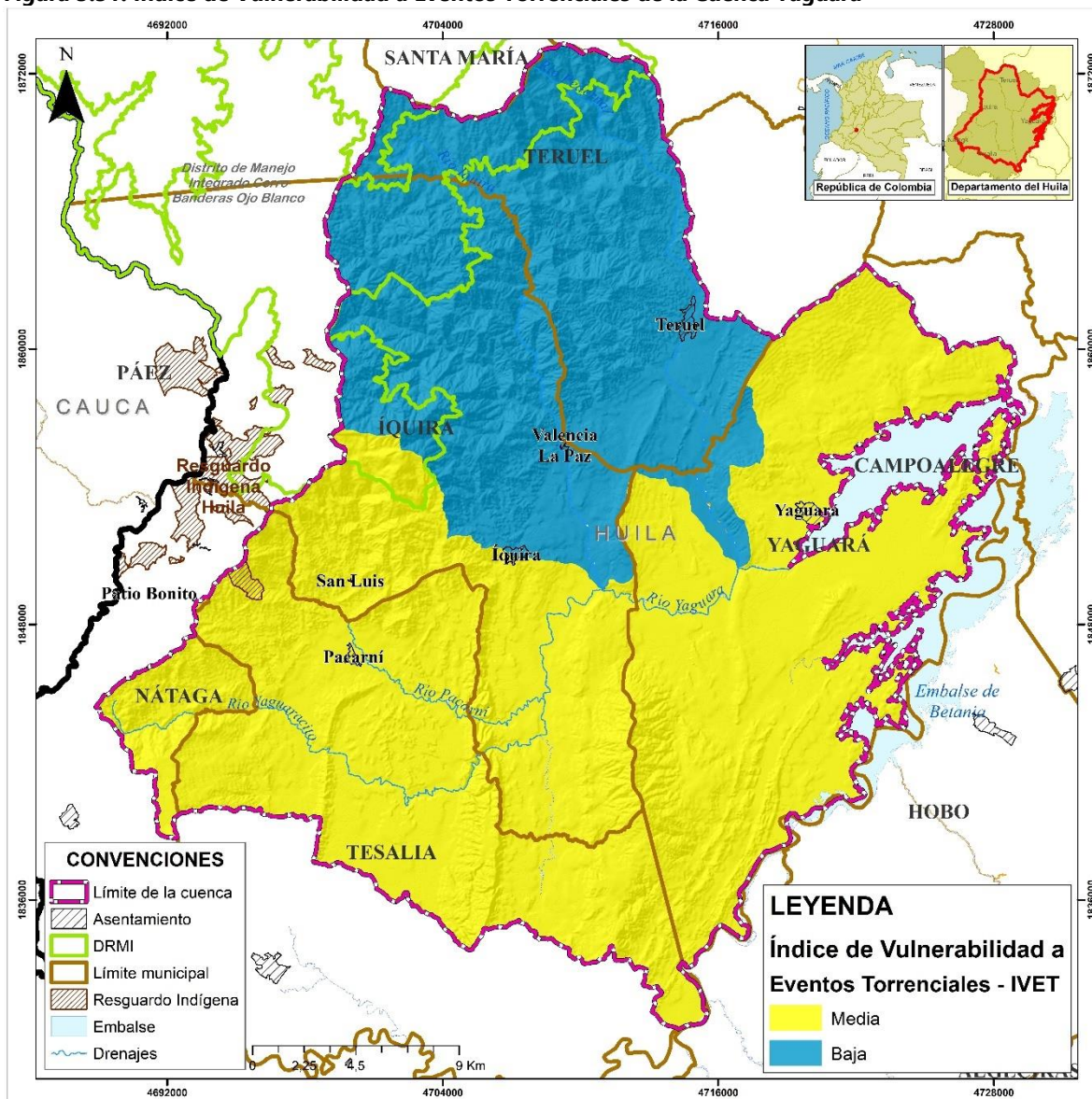
Tabla 3.39. Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales - IVET

NSS-1	Cuenca	IM	IV	IVET
2108-01	Río Yaguará entre R. Pedernal y Embalse Betania	Muy baja	Media	Media
2108-02	Directos a Embalse Betania Sector Noroccidental	Muy baja	Media	Media
2108-03	Río Pedernal	Muy baja	Baja	Baja
2108-04	Río Íquira	Muy baja	Baja	Baja
2108-05	Río Pacarní	Muy baja	Media	Media
2108-06	Río Yaguaracito	Muy baja	Media	Media
2108-07	Río Macurí	Muy baja	Media	Media
2108-08	Directos al Río Magdalena entre R. Páez y Embalse Betania	Muy baja	Media	Media
2108-09	Directos al Embalse Betania Sector Suroccidental	Muy baja	Media	Media
2108-10	Directos al Río Yaguará entre R. Íquira y R. Pedernal	Muy baja	Media	Media
2108-11	Directos al Río Yaguará entre R. Pacarní y R. Íquira	Muy baja	Media	Media
2108-12	Directos al Río Yaguará entre R. Macurí y R. Pacarní (md)	Muy baja	Media	Media

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

El 83% de las subzonas hidrográficas presentan un índice medio, indicando que estas áreas tienden a ser vulnerables ante eventos torrenciales.

Figura 3.31. Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales de la Cuenca Yaguará



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

3.4.3.2. Susceptibilidad por avenidas torrenciales

La zonificación de susceptibilidad por avenidas torrenciales de la cuenca del río Yaguará se obtiene luego de analizar la información del índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales (IVET) y la susceptibilidad geomorfológica, por medio de la relación de los datos resultantes como se muestra en la Tabla 3.40.

Tabla 3.40. Clasificación de susceptibilidad por avenidas torrenciales

Susceptibilidad Geomorfológica	IVET		
	Baja	Media	Alta
Nula	Baja	Baja	Baja
Baja	Baja	Media	Media
Media	Media	Media	Alta
Alta	Media	Alta	Alta

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

Posterior a la integración de información temática obtenida del procesamiento, se obtuvo la zonificación de susceptibilidad por avenidas torrenciales, se puede observar en la Figura 3.32 que la cuenca hidrográfica del río Yaguará se divide en cuatro (4) categorías de susceptibilidad.

Tabla 3.41. Categorías de la susceptibilidad por avenidas torrenciales

CATEGORÍA	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
Alta	5.548,07	6,20
Media	547,44	0,61
Baja	17.605,78	19,68
Nula	65.775,32	73,51
TOTAL	89.476,61	100,00

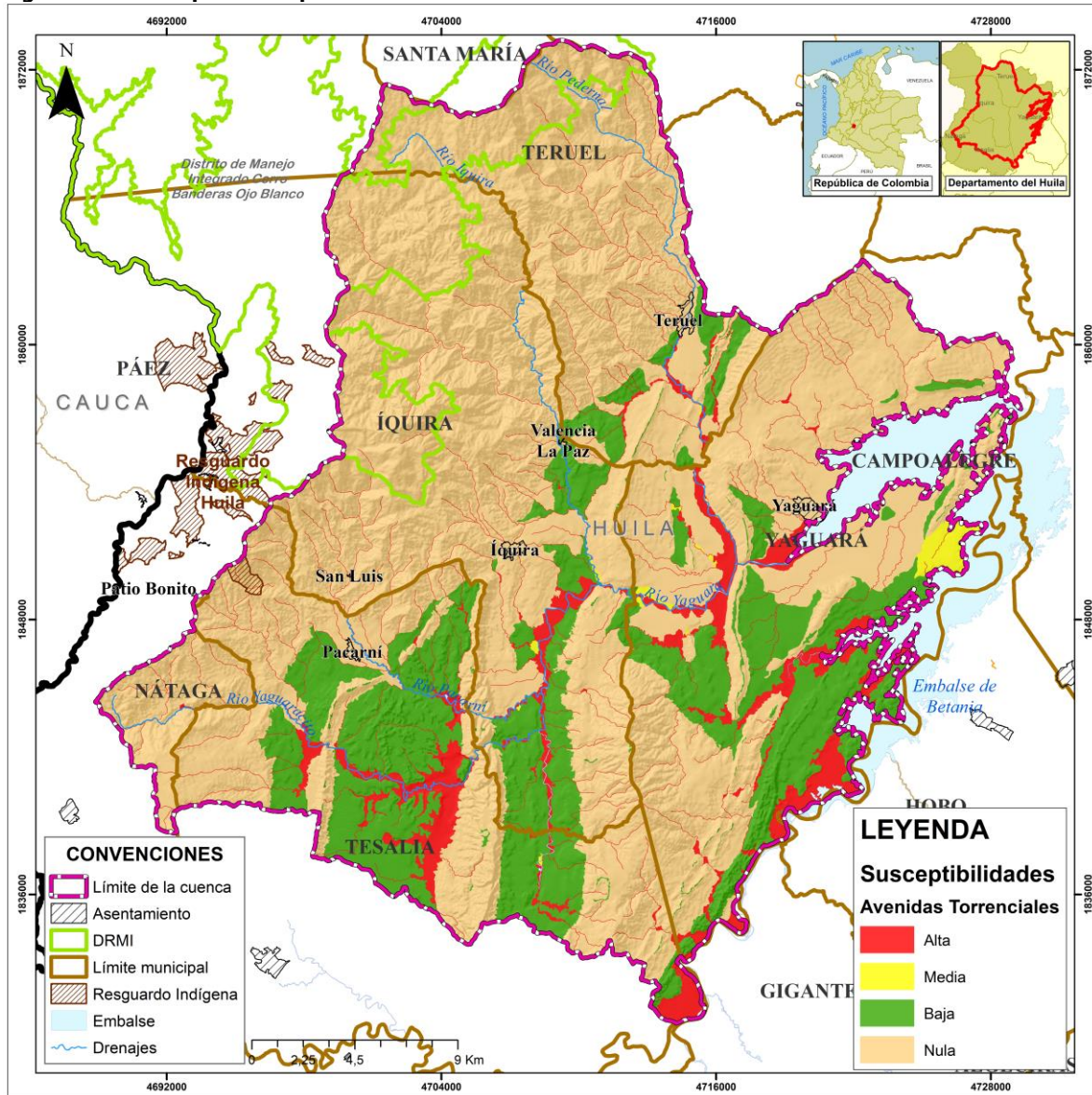
Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

Se puede observar en la Tabla 3.41 que el 73,5% de la cuenca objeto de ordenación no presenta susceptibilidad por avenidas torrenciales. La susceptibilidad baja abarca un área de 17.605 ha, correspondiendo al 19,7% del área total, esta categoría de susceptibilidad se presenta en los municipios de Íquira (veredas Santa Barbara, Potreritos, Limonar, Santa Lucia y Limonar), Teruel (veredas La Cañada, Monserrate y Varas Mesón), Tesalia (veredas Potrerogrande, Los Yuyos, Piedra Gorda y La Esperanza) y Yaguará (vereda La Floresta).

La categoría de susceptibilidad alta, representa el 6,2% del total de la cuenca (5.548 ha), localizándose en los municipios de Íquira en las veredas Santa Barbara, Potreritos, Limonar, Santa Lucia, Jaho, Narvaez, El Rosario, El Chaparro y Limonar; Teruel en las veredas La Cañada, Monserrate y Varas Mesón, Río Íquira, Nevado del Huila y La Armenia; Tesalia en las veredas Potrerogrande, Los Yuyos, Piedra Gorda, La Florida, El Guamal y La Esperanza; Nátaga en las veredas Alto Carmelo, Las Honduras y San Isidro; y Yaguará en las veredas Arenoso, Flandes, La Floresta, Vilú y El Viso.

La susceptibilidad media abarca sólo el 0,6% de la cuenca con un área de 547 ha, ubicándose sobre las veredas Santa Barbara, Santa Lucia, El Chaparro y el Limonar en el municipio de Íquira; la vereda La Cañada en el municipio de Teruel; y las veredas Arenoso y La Floresta en el municipio Yaguará.

Figura 3.32. Susceptibilidad por avenida torrencial



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

El mapa de susceptibilidad por avenidas torrenciales se presenta en el Anexo/07_cartografia_Tematica/01_Mapas/02_SUSCEPTIBILIDAD/01_SUSCEPTIBILIDAD_AT

4. ZONIFICACIÓN DE AMENAZA

4.1. Incendios de la Cobertura Vegetal

La zonificación de amenaza por incendios de la cobertura vegetal es el escenario medioambiental que representa el peligro para la ocurrencia de ignición, de acuerdo a las condiciones presentes en el área de la cuenca habrá una mayor o menor predisposición de que inicie y se propague el fuego (Universidad Autónoma del Occidente, 2011). Los factores que determinan las condiciones para que se genere un incendio son seis: precipitación, temperatura, pendientes, frecuencia, accesibilidad y la susceptibilidad a incendios.

La información para realizar la zonificación se realiza mediante el análisis de información primaria obtenida en la etapa de campo por el consorcio y la información secundaria proporcionada por las entidades competentes.

4.1.1. Metodología

La evaluación de la amenaza de incendios se realiza a partir de la sumatoria de la reclasificación de los factores climáticos, de relieve, históricos y la accesibilidad en el área de estudio, junto a la susceptibilidad determinada anteriormente, como se puede observar en la Figura 4.1.

La fórmula para determinar la amenaza de incendios de la cobertura vegetal según el protocolo del IDEAM (2011) es la siguiente:

$$\text{Amenaza} = SV * (0,17) + Pp * (0,25) + Tm * (0,25) + Pdt * (0,03) + Fc * (0,05) + Ac * (0,03) \quad (3)$$

Donde:

SV: Susceptibilidad de la vegetación

Pp: Precipitación

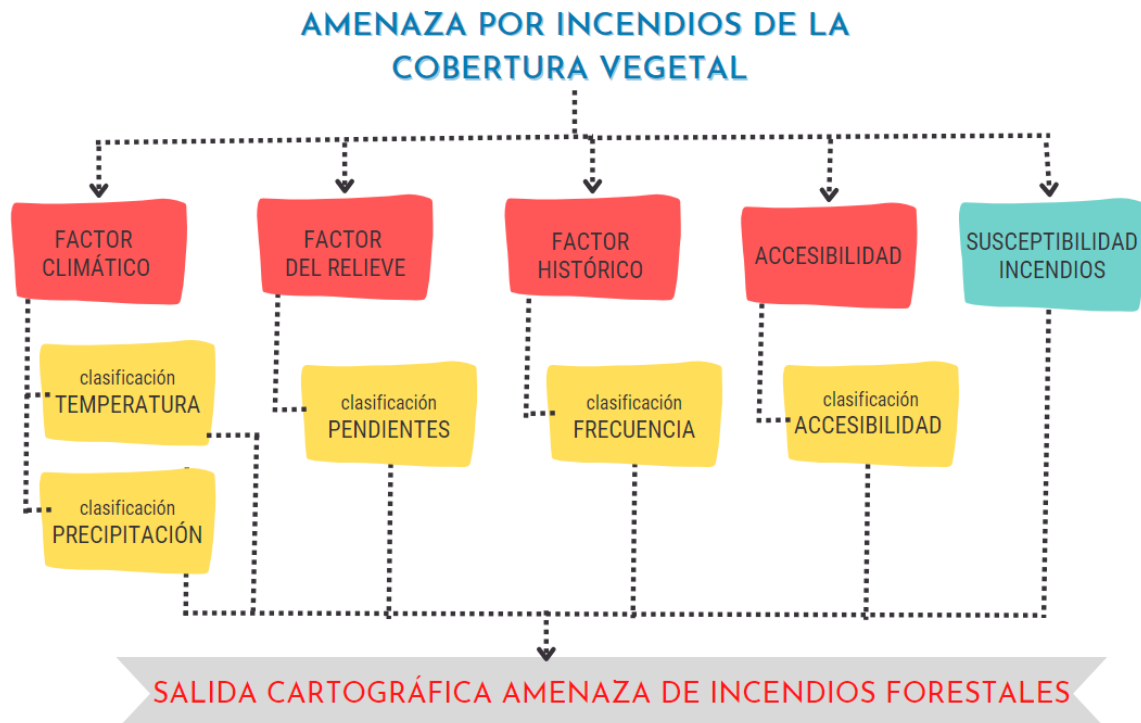
Tm: Temperatura

Pdt: Pendiente

Fc: Frecuencia

Ac: Accesibilidad

Figura 4.1. Diagrama de la metodología para determinar la amenaza de incendios de la cobertura vegetal



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022, adaptado del IDEAM (2011).

4.1.2. Variables utilizadas

4.1.2.1. Susceptibilidad Incendios

La susceptibilidad por amenaza de incendios de cobertura vegetal determinada en el numeral 3.1, se le asignará su correspondiente categoría (Tabla 4.1) siguiendo la metodología propuesta por el protocolo del IDEAM.

Tabla 4.1. Categoría de susceptibilidad a incendios

CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
Muy baja	1
Baja	2
Moderada	3
Alta	4
Muy alta	5

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022, adaptado del IDEAM (2011).

4.1.2.2. Precipitación

La precipitación interviene en el comportamiento de los incendios, de acuerdo a la cantidad de humedad presente en el ambiente, este incrementará o disminuirá la probabilidad de ocurrencia y propagación del fuego (Universidad Autónoma del Occidente, 2011).

La reclasificación de esta variable se determina a partir del mapa de isoyetas correspondiente a la cuenca de Yaguará, se toma como guía los rangos establecidos por el protocolo del IDEAM en el año 2011 (Tabla 4.2). Posteriormente se genera la salida cartográfica de precipitación.

Tabla 4.2. Categoría de amenaza variable precipitación

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

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022, adaptado del IDEAM (2011).

4.1.2.3. Temperatura

La variable de temperatura influye directamente en la ignición, según sea el grado de temperatura está relacionada indirectamente con la cantidad de humedad en el ambiente y su comportamiento afectará la intensidad, velocidad y dirección de propagación del fuego (Universidad Autónoma del Occidente, 2011).

La reclasificación de esta variable se determina a partir del mapa de isotermas correspondiente a la cuenca de Yaguará, se toma como guía los rangos establecidos por el protocolo del IDEAM en el año 2011 (Tabla 4.3). Posteriormente se genera la salida cartográfica de temperatura.

Tabla 4.3. Categoría de amenaza variable temperatura

TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)	CATEGORIA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
Nival ($< 1,5$)	Muy baja	1
Extremadamente frío (1,5 - 6)	Muy baja	1
Muy frío (6-12)	Moderada	2
Frío (12-18)	Moderada	3
Templado (18-24)	Alta	4
Cálido (> 24)	Muy alta	5

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022, adaptado del IDEAM (2011).

4.1.2.4. Relieve

El relieve incide sobre el comportamiento de la ignición, de acuerdo a las características presentes en los diferentes niveles del área. La propagación del fuego se presenta en un escenario con un bajo porcentaje de humedad, velocidad del viento, la exposición de la radiación solar, la dirección del viento que marca el rumbo del fuego y propicia las emisiones de pavesa que da origen a nuevos brotes de fuego, las altas temperaturas y la densidad de especies arbóreas (CENAPRED, 2014).

La reclasificación de esta variable se evalúa a partir del mapa de pendientes correspondiente a la cuenca de Yaguará, se toma como guía los rangos establecidos por el protocolo del IDEAM en el año 2011 (Tabla 4.4). Posteriormente se genera la salida cartográfica de relieve.

Tabla 4.4. Categoría de amenaza variable pendiente

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

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022, adaptado del IDEAM (2011).

4.1.2.5. Accesibilidad

La variable de accesibilidad determina la proximidad que tiene el ser humano a las áreas de cobertura vegetal de acuerdo con la densidad vial presente, este factor indica la probabilidad de ocurrencia de eventos asociados a incendios forestales (IDEAM, 2011).

La reclasificación para esta variable se evalúa a partir del mapa vial correspondiente a la cuenca de Yaguará, realizando un buffer sobre las vías primarias, secundarias y terciarias. Se toma como guía los rangos establecidos por el protocolo del IDEAM en el año 2011 (Tabla 4.5). Posteriormente se genera la salida cartográfica de accesibilidad.

Tabla 4.5. Categoría de amenaza variable accesibilidad

DISTANCIA DE LA VÍA (GROSOR DEL BUFFER en m)	CATEGORIA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
Más de 2000	Muy baja	1
1500-2000	Baja	2
1000-1500	Moderada	3
500-1000	Alta	4
0-500	Muy alta	5

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022, adaptado del IDEAM (2011).

4.1.2.6. Frecuencia

La frecuencia será determinada por el catálogo histórico de eventos correspondiente al área de la cuenca, permitiendo identificar la frecuencia de ocurrencia y causalidad de los eventos de incendios. Siguiendo los lineamientos del protocolo del IDEAM (2011) se calcula el índice de frecuencia (3) y el índice de causalidad (4).

$$fi = \frac{1}{a} \sum_{i=1}^a ni \quad (4)$$

Donde

fi : Frecuencia de incendio

a : Número de años

ni : Número de incendios de cada año

$$Ci = \frac{1}{a} \sum_{i=1}^a \frac{\sum_{n=1}^n C_{nic}}{ni} \quad (5)$$

Donde

Ci: Índice de causalidad

a: Número de años

ni: Número de incendios de cada año

C: Causa específica de cada incendio

nic: Número de incendios por cada causa por cada año

4.1.3. Resultados Obtenidos

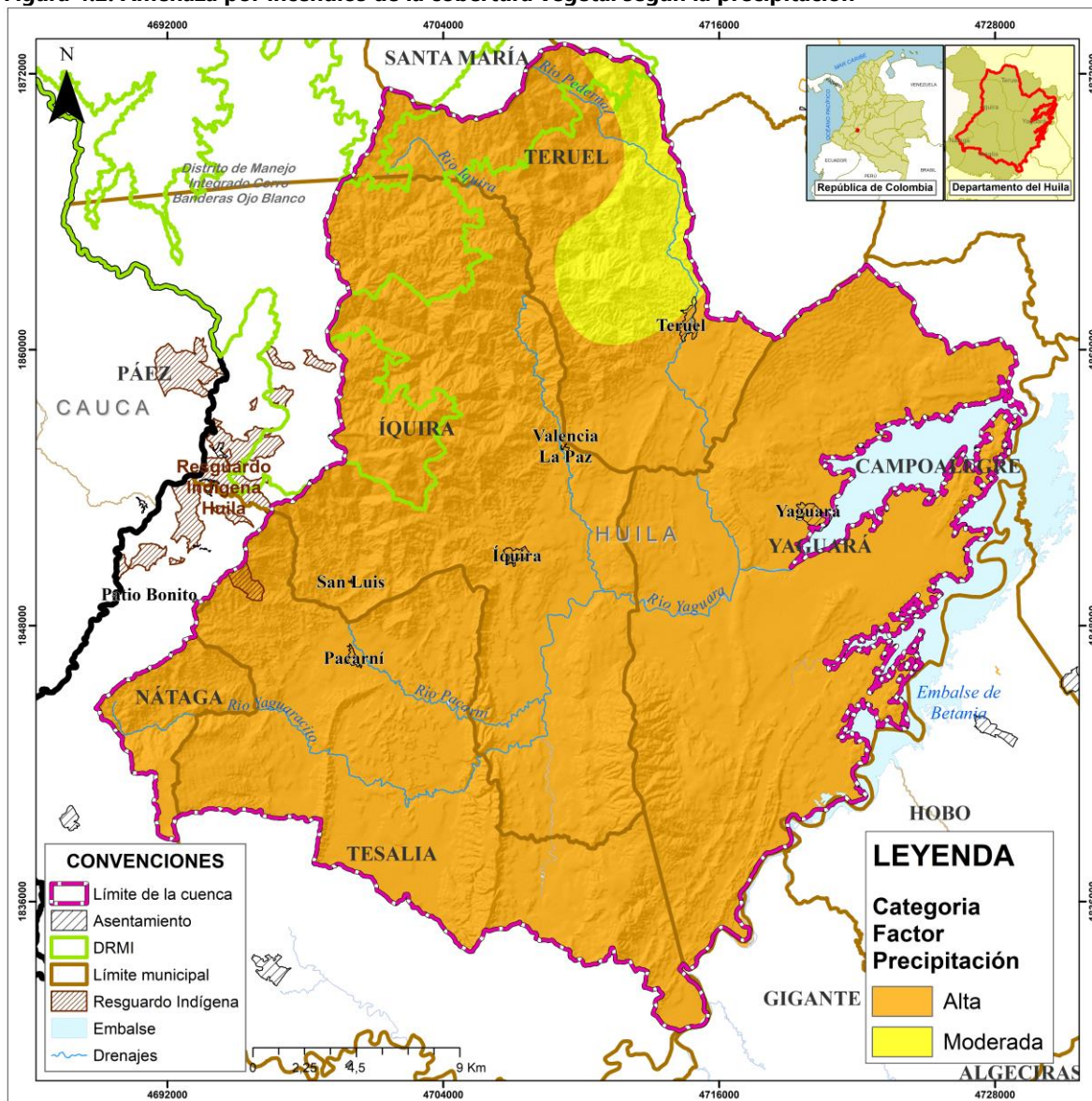
Los incendios de la cobertura vegetal de la Cuenca Hidrográfica del río Yaguará están relacionados entre los factores climáticos, como la precipitación y temperatura; junto a la interacción antrópica en el área objeto de ordenación para desarrollar actividades como la eliminación de residuos sólidos mediante la incineración, la quema de cobertura destinada a la preparación del suelo para implementar actividades agrícolas o para la ampliación de la frontera agrícola.

A continuación, se describen los resultados obtenidos de los factores determinantes de la amenaza de incendios de la cobertura vegetal de la cuenca.

4.1.3.1. Precipitación

La precipitación media anual de la cuenca del río Yaguará oscila entre los 1.410 mm y 2.146 mm. Se observa en la Figura 4.2 que la amenaza por incendios de la cobertura vegetal por precipitación es predominada por la categoría alta, abarcando 84.737,63 ha, correspondiendo al 94,70% del área total de la cuenca; esta amenaza alta comprende sectores con precipitación promedio entre 1.000 a 2.000 mm. Por último, la amenaza moderada ocupa 4.738,97 ha (5,30%), correspondiendo a sectores con una precipitación promedio entre los 2.000 a 3.000 mm.

Figura 4.2. Amenaza por incendios de la cobertura vegetal según la precipitación

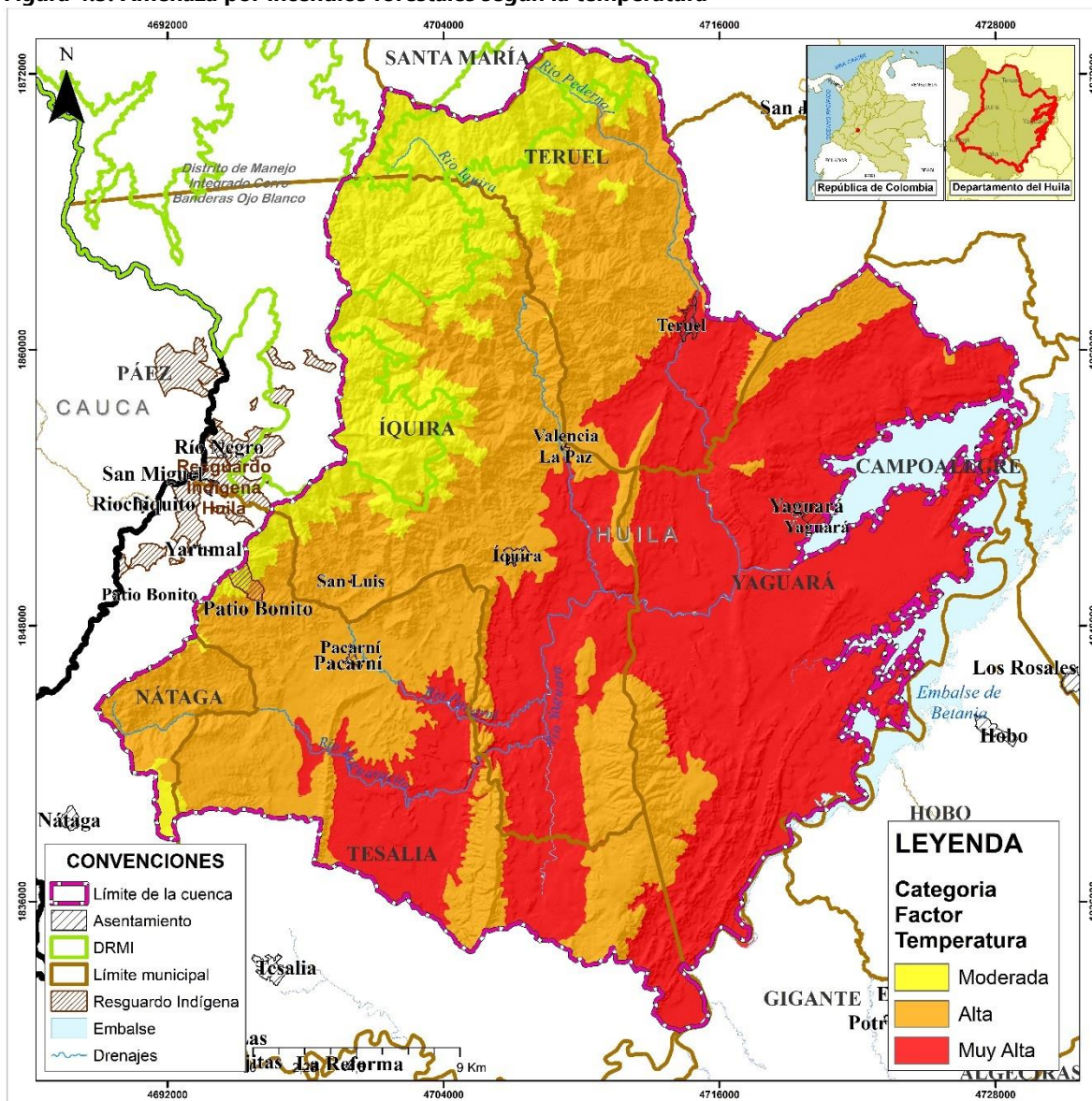


Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

4.1.3.2. Temperatura

La temperatura promedio de la cuenca del río Yaguará oscila entre los 9 hasta los 26 grados centígrados. Se observa en la Figura 4.3 que la amenaza por incendios de la cobertura vegetal por temperatura es predominada por la categoría alta, la cual abarca 48.846,11 ha, correspondiente al 54,59% del área total de la cuenca, presentan una temperatura templada entre los 18 °C y 24 °C. Seguido de la amenaza alta con un área de 40.040,49 ha (44,75%), la temperatura en estos sectores es mayor a los 24 °C, considerado un clima cálido. Por último, la amenaza moderada se localiza en la parte noroeste de la cuenca, ocupando 590,01 ha (0,66%), correspondiente a un clima frío.

Figura 4.3. Amenaza por incendios forestales según la temperatura

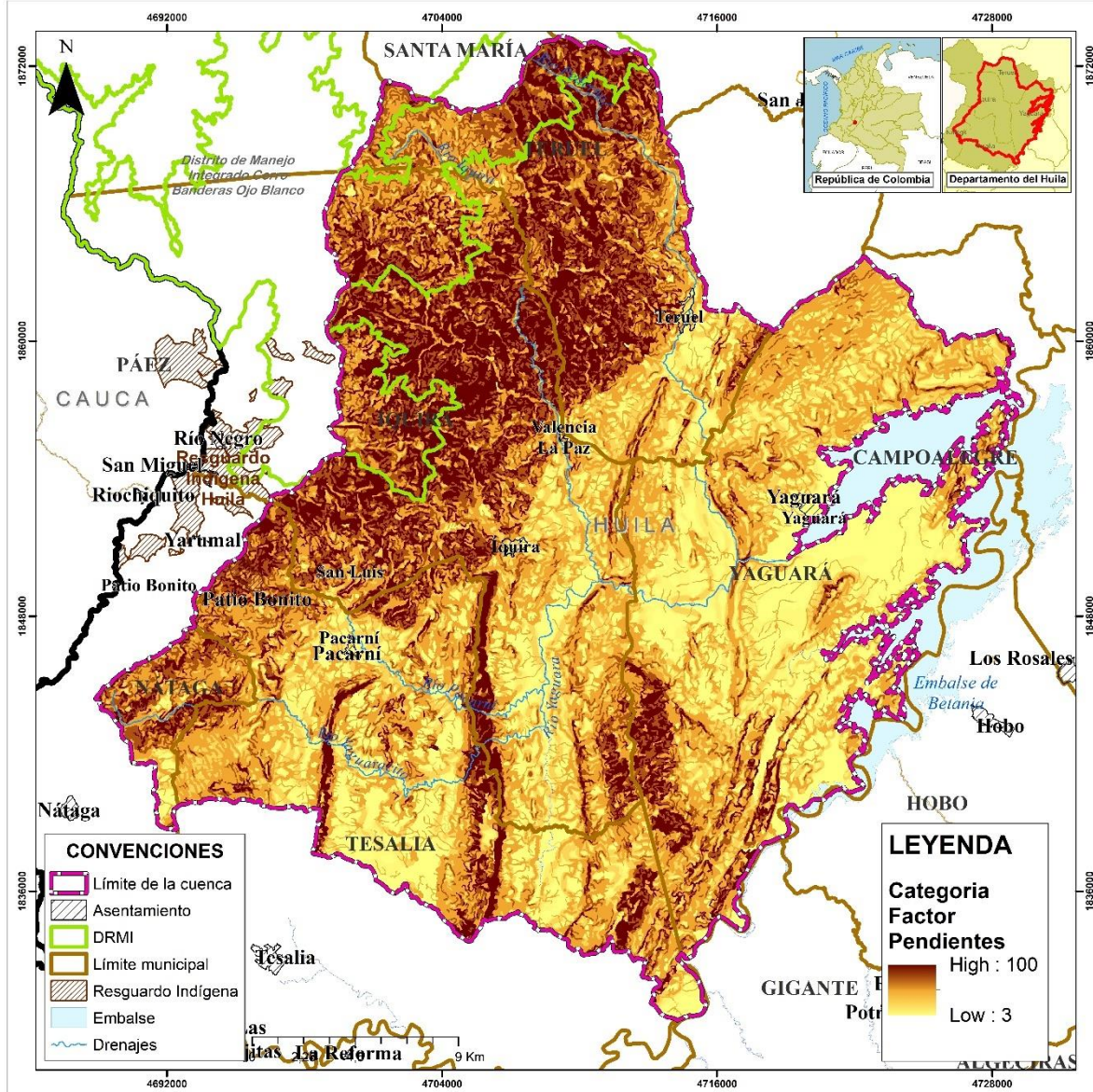


Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

4.1.3.3. Relieve

La cuenca del río Yaguará presenta los mayores niveles de amenaza, se puede observar en la Figura 4.4 que la amenaza muy alta y alta se concentran mayormente en la parte norte del área objeto a ordenación, ocupando una superficie 45.813 ha, equivalente al 51,20% del total del área de la cuenca.

Figura 4.4. Amenaza por incendios forestales según el relieve

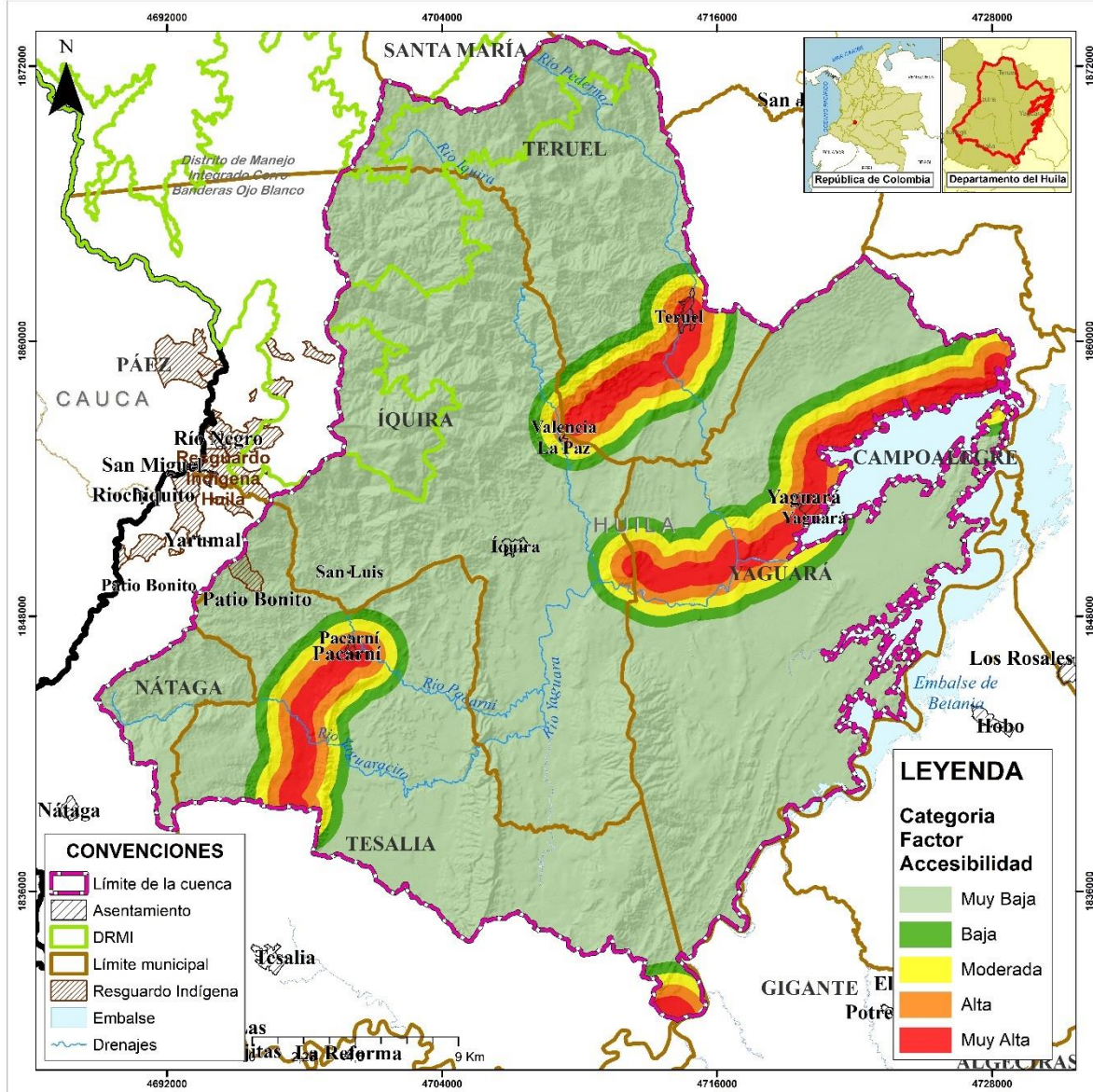


Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

4.1.3.4. Accesibilidad

El 81,81% del área de la cuenca presenta una amenaza muy baja por accesibilidad, como se observa en la Figura 4.5, comprendiendo un área de 73.197,81 ha. La amenaza baja representa el 4,83%, seguida de la amenaza moderada con un 4,58%, la amenaza muy alta con un 4,50% y la amenaza alta comprendiendo el 4,29% restante.

Figura 4.5. Amenaza por incendios forestales según la accesibilidad

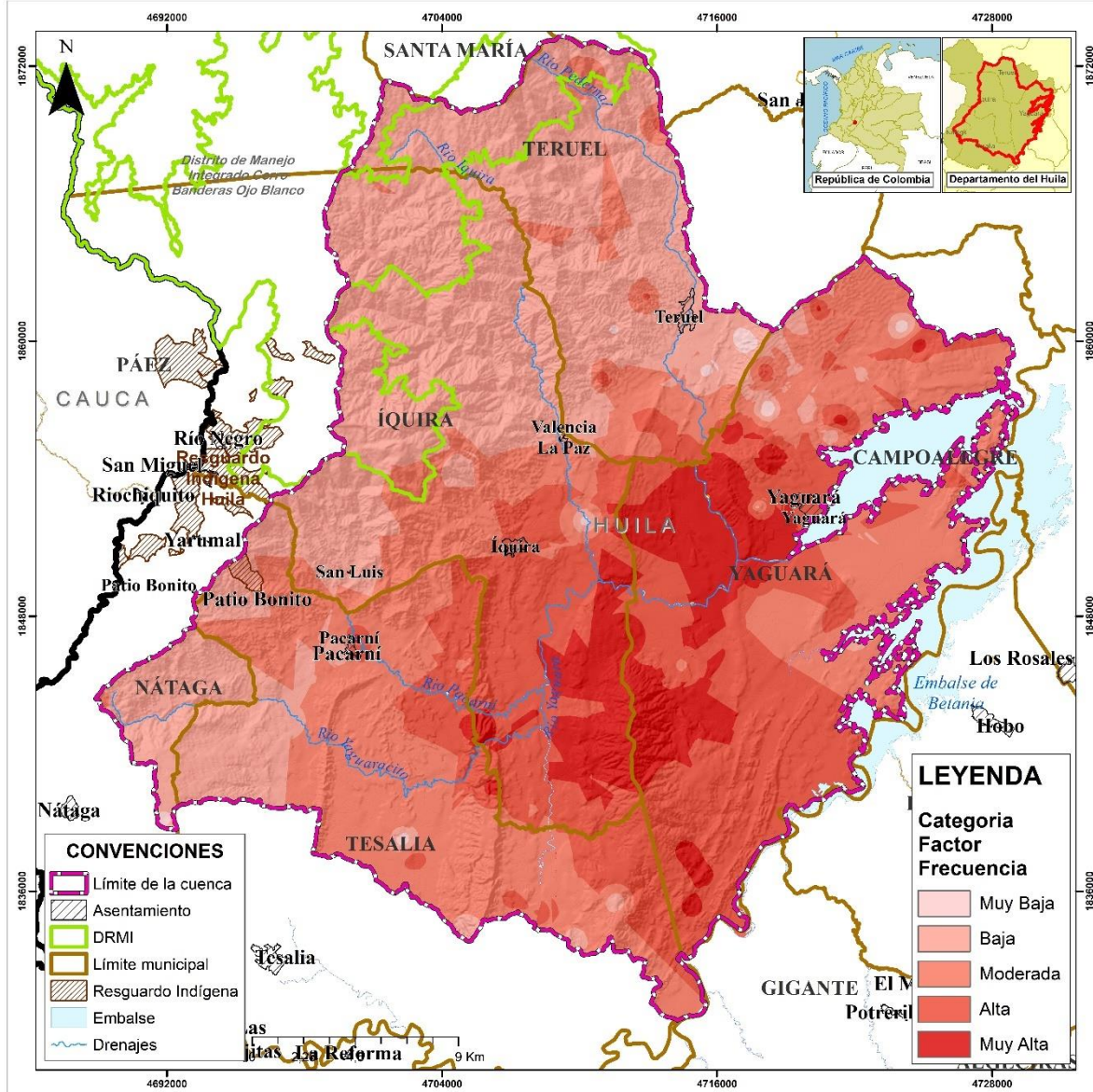


Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

4.1.3.5. Frecuencia

Se observa en la Figura 4.6 la frecuencia de los incendios por cobertura vegetal en la cuenca del río Yaguará, predominada por la amenaza baja, abarcando 32.032 ha, correspondiendo al 35,80% del área total. Seguido de la amenaza moderada que comprende el 30% del área de la cuenca (26.921 ha) y la amenaza alta, con un 24% del área (21.750 ha).

Figura 4.6. Amenaza por incendios forestales según la frecuencia



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

4.1.3.6. Amenaza por incendios de la cobertura vegetal

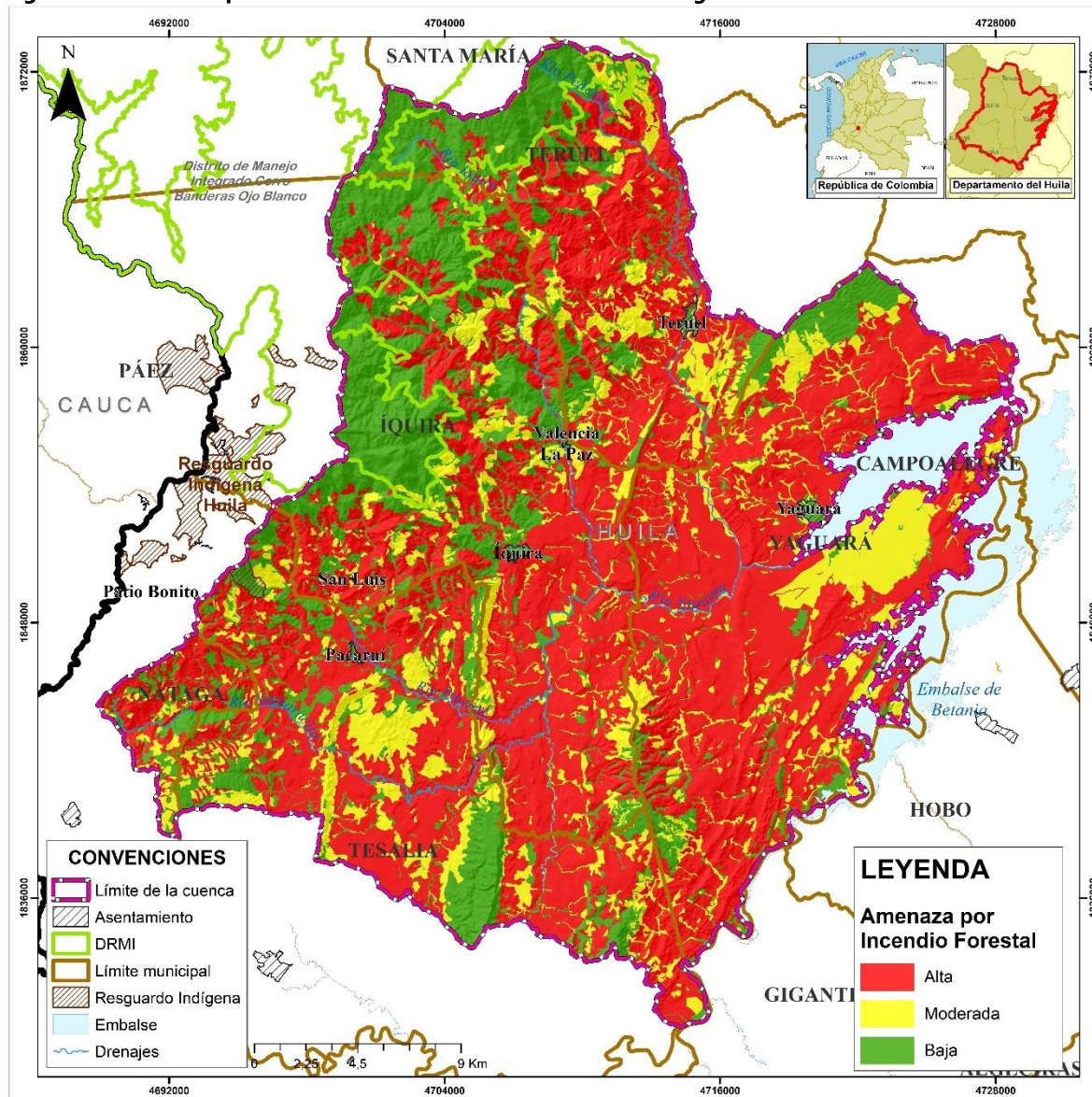
Posterior a la generación de amenaza de cada factor se procedió a la obtención del mapa de zonificación de amenaza por incendios de cobertura vegetal de la cuenca. La Figura 4.7 muestra que predomina la amenaza alta, abarcando el 57% del área total de la cuenca del río Yaguará, equivalente a 51.193 ha. Seguido de la categoría media, con un 26%, correspondiente a 23.075 ha; por último, la amenaza baja comprende el 17% del área (15.208 ha).

Tabla 4.6. Clasificación de amenaza por incendios forestales o de la cobertura vegetal

CATEGORÍA	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
Alta	51.193,15	57,21
Media	15.208,39	17
Baja	23.075,06	25,79
TOTAL	89.476,61	100

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

Figura 4.7. Amenaza por incendios forestales o de la cobertura vegetal



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

El mapa de amenaza por incendio de la cobertura vegetal se presenta en el Anexo/07_cartografia_Tematica/01_Mapas/03_AMENAZA/02_AMENAZA_IF

4.2. Movimientos en Masa

La zonificación de amenaza por movimientos en masa permite establecer características espaciales (probabilidad relacionada con la susceptibilidad), temporales (frecuencia, periodo de retorno o probabilidad de excedencia), e intensidad (magnitud del daño que pueda ocasionar) de la ocurrencia de estos eventos en el área de la cuenca (Corominas & Moya, 2008). La información obtenida en la evaluación de amenaza por MM proporcionará información útil a las entidades gubernamentales para la implementación de acciones sobre la gestión del riesgo, como herramienta fundamental para los procesos de planificación territorial.

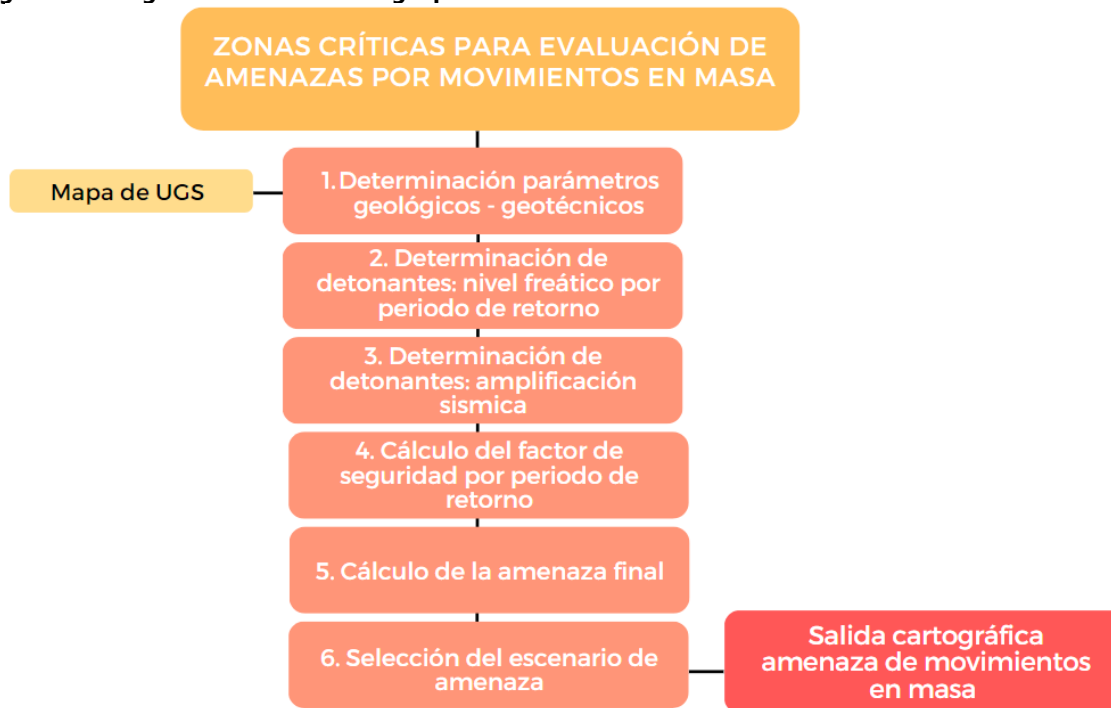
La evaluación de la zonificación de movimientos en masa para la cuenca del río Yaguará se realizó por el método de talud infinito, establecido en el *Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuenca hidrográficas* del MINAMBIENTE.

4.2.1. Metodología

El método de talud infinito consiste en el análisis del límite de equilibrio y estabilidad del suelo, en base a la sensibilidad del factor de seguridad (FS) expresado en la relación entre las fuerzas resistentes e inestabilizadoras; estas características se determinan de acuerdo con los parámetros geotécnicos y los detonantes a aplicar para diferentes escenarios, como los niveles freáticos y aceleración sísmica (García, 2004). Este método permite integrarse en un sistema de información geográfica (SIG), reflejando el movimiento en masa formado por una malla regular o unidades de celdas (García, 2004).

El protocolo de MINAMBIENTE (2014) establece que para llevar a cabo la evaluación de amenaza se deberá empelar métodos determinísticos con base en el factor de seguridad. Para la evaluación de amenaza por movimientos en masa, se consideraron las zonas establecidas anteriormente clasificadas en susceptibilidad media y alta, y la cartografía correspondiente a la geología para ingeniería a escala 1:25.000 en áreas críticas.

Figura 4.8. Diagrama de la metodología para determinar la amenaza de movimientos en masa



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022, adaptado del IDEAM (2011).

4.2.2. Variables utilizadas

4.2.2.1. Parámetros geológicos – geotécnicos

La variable de parámetros geológicos – geotécnicos establece el comportamiento del componente suelo frente a los agentes naturales y antrópicos; logrando analizar la estabilidad del área de la cuenca del río Yaguará. Los parámetros se determinan en base al mapa de unidades geológicas superficiales (UGS) y a las zonas críticas determinadas en la susceptibilidad (media y alta).

Los parámetros geológicos – geotécnicos son:

- Espesor promedio del suelo y/o depósito (h)
- Cohesión (C)
- Peso unitario del suelo (Y)
- Angulo de fricción (ϕ)

4.2.2.2. Nivel freático por periodo de retorno

Los movimientos en masa pueden ser detonados por las precipitaciones, esta variable climática contribuye al desplazamiento de los suelos con propiedades mecánicas de poca estabilidad, y saturándolos cuando la lluvia genera presión en los poros o genera la pérdida de cohesión aparente (Wang & Sassa, 2003).

La variable de nivel freático se determina en función del flujo de agua en el suelo y la intensidad de la lluvia, a partir de un índice de lluvias en 24 horas en escenarios extremos (seco, saturado y parcialmente saturado); con periodos de retorno de 2, 20, 50 y 100 años.

Para determinar la tabla de agua en condiciones normales del área se puede usar una correlación semi empírica de los diferentes factores que influyen en el proceso de infiltración de las aguas lluvias (MINAMBIENTE, 2014), como se puede observar en la ecuación (6).

$$\text{Nivel de agua máxima para cada celda} = \frac{1}{(3R + P + sA) + V} \times 100 \quad (6)$$

Donde:

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

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

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

A= Pendiente del terreno.

V= Uso del suelo y cobertura vegetal

4.2.2.3. Amplificación sísmica

La intensidad sísmica puede inducir el desplazamiento del terreno, ya que se generan fallas en los taludes por el factor de aceleración pico horizontal, este coeficiente es la relación entre la aceleración horizontal y la aceleración gravitatoria (Melo & Sharma, 2004), además de disminuir la resistencia por la presión en los poros y las deformaciones asociadas por la onda sísmica, llegando a la falla por esfuerzo cortante. La aceleración sísmica como variable detonante de los MM permite establecer la ampliación sísmica del área total de la cuenca del río Yaguará, debido a que los sismos afectan áreas a lo largo de los límites activos.

El protocolo del MINAMBIENTE (2014) indica que la variable de amplificación sísmica se determinará siguiendo los pasos:

1. Evaluar el grado de afectación en la estabilidad de las laderas producido por un evento sísmico, debido a la aceleración horizontal (fuerza horizontal sobre un elemento infinito del talud). Los valores de aceleración del sitio se obtienen de los datos de sismicidad regional generados por el estudio de Amenaza Sísmica Nacional (SGC,2017).
2. Modificar la aceleración obtenida por el factor de amplificación, correspondiente a la aceleración horizontal, el cual se determina con el modelo digital de terreno (MDT) y funciones de vecindad para marcar las zonas de cambios topográficos importante (mayor de 40° de pendiente).

3. Modificar el espectro de respuesta para el valor de aceleración (si es posible).
4. Plantear una red de monitoreo que permita establecer con menor incertidumbre estos factores de amplificación (si es posible).

4.2.2.4. Cálculo del factor de seguridad por periodo de retorno

El factor de seguridad se calcula con las variables descritas anteriormente, aplicando la ecuación (6) establecida en el *Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuenca hidrográficas* del MINAMBIENTE (2014).

$$FS = \frac{C' + (Yh\cos^2\beta - \alpha Y\sin\beta - mY\omega h\cos^2\beta)\tan\Phi}{Yh\sin\beta\cos\beta + \alpha Yh\cos^2\beta} \quad (7)$$

Donde:

C' = Intercepción de cohesión

Φ = Ángulo de fricción

Y = Peso unitario de la capa de suelo

β = Inclinación del terreno

α = Coeficiente de aceleración horizontal y amplificación sísmica

h = Espesor de la capa de suelo

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

FS = Factor de seguridad

4.2.3. Resultados Obtenidos

En el área de la cuenca hidrográfica se realizaron validaciones geomecánicas de los materiales (Caracterización de UGS), de las cuales se tomaron muestras representativas para la realización de los ensayos de laboratorio, los cuales se adjuntan en el anexo 6.

El comportamiento de los materiales frente a los agentes naturales y antrópicos es un parámetro esencial en el análisis de la estabilidad de taludes. Los datos se generan para cada unidad homogénea del mapa de Unidades geológicas superficiales cuantitativo (UGS) con base en los análisis de los registros y muestras de campo. Para cada unidad geológica superficial se determinan los siguientes parámetros de los ensayos de laboratorio: Ángulo de Fricción (Φ'), Cohesión (C), Peso Unitario (γ) y Espesor (h).

Tabla 4.7. Parámetros geomecánicos de las UGS identificadas

Tipo de Suelo	Nomenclatura	Cohesión (Mpa)	Angulo de Fricción	Peso Unitario (KN/m3)
Aluvial	Sta	0,05	27	15
Aluvial	Stfab	0,05	27	15
Volcánico	Stv	0,05	27	15
Roca Dura	Ridji	8,04	35	19,25
Roca intermedia	Rvifs	13,25	25	35
Roca intermedia	Rsifc	10	35	23

Tipo de Suelo	Nomenclatura	Cohesión (Mpa)	Angulo de Fricción	Peso Unitario (KN/m3)
Roca Dura	Rsdgoft	5,33	35	12,8
Roca Blanda	Rsbfhfl	0,79	25	2,5
Roca Blanda	Rsbfd	1	25	17
Roca Dura	Rsdfs	6,14	35	25,3
Roca intermedia	Rsifpo	1	25	17
Roca Blanda	Rsbft	1	25	17
Roca Blanda	Rsbfb	1	25	17
Roca Blanda	Rsbfp	1	25	17
Roca intermedia	Rsigh	1	25	17
Roca Blanda	Rsbfgi	1	25	17
Roca Dura	Rsdct	10	35	25
Coluvial	Strc	0,25	15	14
Roca intermedia	Rsigo	2,5	25	8,1
Roca intermedia	Rsita	4,73	25	13,9
Roca intermedia	Rsifh	0,79	25	2,5
Roca Blanda	Rsbfl	0,79	25	2,5

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

Se obtuvieron tres categorías de la amenaza por movimientos en masa de la cuenca hidrográfica del río Yaguará, como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 4.8. Clasificación de amenaza por movimientos en masa

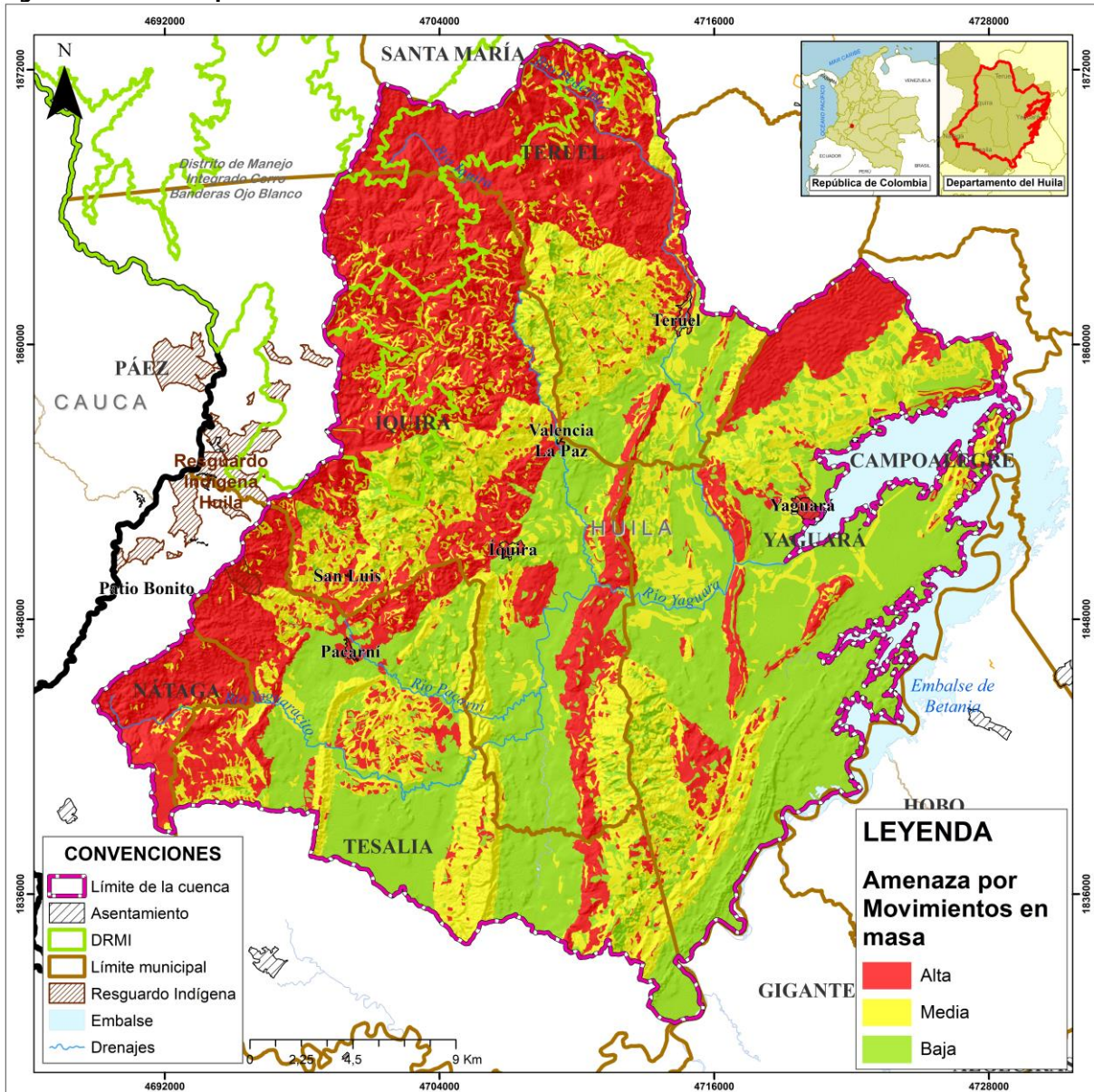
CATEGORÍA	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
Alta	32.432,88	36,25
Media	25.633,58	28,65
Baja	31.410,14	35,10
TOTAL	89.476,61	100

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

La categoría alta respecto a la amenaza por movimientos en masa abarca el 36,25% del área total de la cuenca objeto de ordenación (32.432 ha), como se observa en la Figura 4.9, comprende los municipios de Íquira en las veredas de Alto Damitas, Buenos Aires, Cachimbo, Cerro Damitas, El Chaparro, El Recreo, Garvanzal, Juancho, El Carmen, El Jardín, Limonar, El Recreo, El Rosario, El Tote, Ibirco, La Hocha, Jaho, Lejanías y Narváez; en el municipio de Nátaga en las veredas de Buena Vista, El Alto Carmelo, El Orozco, El Teniente, El Triunfo, La Esmeralda, Las Honduras, Las Mercedes, Los Laureles, Patio Bonito, San Isidro y Yarumal; en el municipio de Tesalia en las veredas de Alto de la Hocha,, El Vergel, Espinal, Raspayucos, El Dave, El Guamal, El Moral, El Palmito, La Esperanza, La Florida, Los Yuyos, Piedra Gorda, Potrerogrande y Sinaí; en Yaguará en las veredas El Viso, Upar, Vilu, Letran, La Paz, Jaguar, El Viso, Flandes, Arenoso y Alto de la Hocha; y el municipio de Teruel en las veredas de Almorzadero, Beberrecio, Cajuchal, Corrales, Estambul, Gualpi, La Armenia, La Cañada, La Floresta, La María, Las Herreras, Paraíso, Pedernal, Portachuelo y La Mina.

La amenaza baja abarca el 35% de la cuenca, con un área de 31.410 ha, presentándose en gran parte en dos municipios: Tesalia en las veredas de El Dave, El Guamal, El Moral, El Palmito, Alto de la Hocha, Espinal, La Esperanza, La Florida, Los Yuyos, Piedra Gorda y Potrerogrande; y el municipio de Yaguará en las veredas Arenoso, alto de la Hocha, El Viso, Bajo Mirador, Flandes, Juagar, La Floresta, La Paz, Letrán y Upar.

Figura 4.9. Amenaza por movimientos en masa



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

El mapa de amenaza por movimientos en masa se presenta en el Anexo/07_cartografia_Tematica/01_Mapas/03_AMENAZA/04_AMENAZA_MM

4.3. Inundaciones

La inundación es un evento ocasionado por el fenómeno hidrometeorológico de la precipitación, que a lo largo de los años ha presentado variaciones extremas en su comportamiento. Cuando el evento presenta incremento del volumen de agua precipitada sobre el territorio, se desencadenan impactos negativos que afectan directamente a la población asentada cerca de los cuerpos de aguas; generando pérdida de bienes privados y públicos, sustentos económicos, pérdida de vidas humanas, hasta la modificación del paisaje. El evento de inundación de igual manera es coaccionado e incrementa su probabilidad de ocurrencia por acciones antrópicas, como la extensión del límite urbanístico y la deforestación.

La evaluación de la amenaza correlaciona la probabilidad de ocurrencia del fenómeno y de su intensidad; de acuerdo con la información secundaria recolectada en la fase se analizarán las características topográficas y de alteración antrópica en las áreas críticas previamente identificadas (MINAMBIENTE, 2014). De acuerdo el *Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuenca hidrográficas* del MINAMBIENTE, hay tres métodos para la estimación de la amenaza por inundación.

1. **Análisis de la frecuencia de eventos:** Aplica para las áreas críticas que no tienen relieves complejos o la geomorfología no está muy alterada, cuando no exista información topográfica y batimétrica se deberá identificar en campo las evidencias sobre la frecuencia de eventos históricos, integrándola con información proveniente del análisis geomorfológico - histórico.
2. **Modelación hidrológico - hidráulica de eventos extremos:** Aplica para las áreas críticas con relieves complejos o con geomorfología muy alteradas por la acción humana.
3. **Modelación hidrológico - hidráulica:** Aplica cuando las áreas críticas no cuentan con información topográfica y batimétrica de detalle, se deberá aplicar la modelación con la debida comprobación obtenida desde el análisis histórico – geomorfológico.

El protocolo del MINAMBIENTE (2014) establece que la categorización de amenaza se rige por los niveles máximos alcanzados por el flujo en la zona inundada.

Tabla 4.9. Categorización amenaza por inundación

CATEGORÍA DE AMENAZA	CARACTERIZACIÓN
Alta	Niveles máximos obtenidos para el evento con caudal máximo de periodo de retorno menos o igual a 15 años.
Media	Niveles máximos obtenidos para el rango entre el evento con caudal máximo de periodo de retorno mayor a 15 años y el de menor o igual a 100 años
Baja	Niveles máximos obtenidos para el rango ente el evento con caudal máximo de periodo de retorno a 100 años y el de menos o igual a 500 años

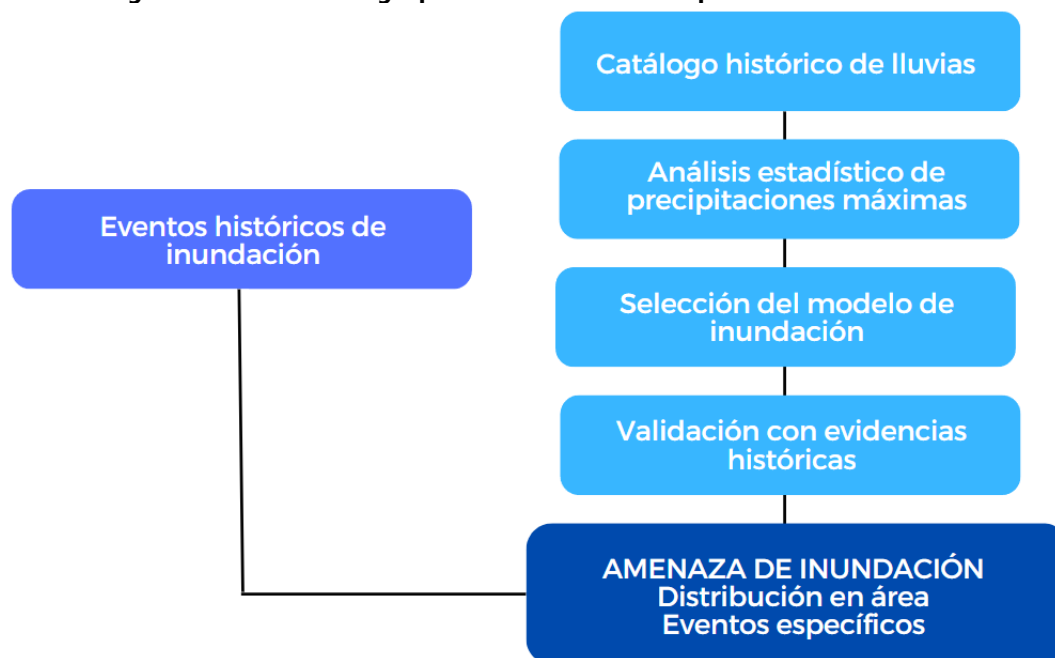
Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022, adaptado del MINAMBIENTE (2014).

4.3.2. Metodología

La metodología que el equipo técnico empleó para evaluar la amenaza de inundaciones de la cuenca del río Yaguará, se basa en modelos de lluvia-escorrentía, analizando los eventos históricos de las precipitaciones en el área junto la precipitación registrada para determinar el comportamiento de escorrentía de los cauces a lo largo de su recorrido.

A modo general, la Figura 4.10 presenta la metodología que se emplea para la evaluación de la amenaza por inundación.

Figura 4.10. Diagrama de la metodología para evaluar la amenaza por inundación



Fuente: Consorcio POMCA Yaguará, adaptado de ERN (2011).

4.3.3. Variables utilizadas

4.3.3.1. Análisis estadístico de precipitaciones máximas

A partir de la evolución histórica de los datos máximos de precipitación diaria, se realiza el ajuste según la distribución de probabilidad más apropiada. Esta etapa se surtió en el análisis de eventos extremos del capítulo de Clima contenido en el Volumen 1 del presente Informe de Diagnóstico. Este análisis ofrece el valor de la precipitación máxima de 24 horas por cada período de retorno en 2, 2.33, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 100, 200 y 500 años. Finalmente, con ayuda de los Polígonos de Thiessen para las estaciones climatológicas, se determina el régimen promedio de lluvia para los períodos de retorno de interés (15, 100 y 500 años).

4.3.3.2. Selección del modelo de inundación

Tomando en consideración la escala semidetallada de trabajo y la configuración de la red de drenaje, se optó por trabajar con un modelo simplificado para la descripción de las inundaciones. En esencia, el criterio decisivo corresponde al porcentaje del área total de la cuenca en categorías alta y/o media de susceptibilidad a inundaciones, y la viabilidad de disponer de datos topobatimétricos o su levantamiento en campo.

En los modelos simplificados, la intensidad de la lluvia se traduce a profundidad de precipitación efectiva, a través del modelo de escorrentía del SCS (Chow, 1994 citado por ERN, 2011), de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$P_e = \frac{[P_m - P_0]^2}{P_m + 4P_0} \quad (8)$$

En donde P_e es la precipitación efectiva en cm, P_m es la precipitación de la tormenta en mm y P_0 es el "umbral de escorrentía", determinado mediante la calibración del modelo de crecientes descrita en el capítulo de Hidrología del Volumen 1 del presente Diagnóstico.

Dicha precipitación efectiva corresponde a la intensidad de lluvia remanente luego que, de la profundidad total de precipitación aportada por la tormenta, se ha gastado una porción en los procesos hidrológicos de infiltración y evapotranspiración (Chow, 1994 citado por ERN, 2011).

Para la modelación de amenaza en la microcuenca se tomó el mismo hietograma empleado para el análisis de crecidas por microcuenca, aplicándolo a cada unidad hidrográfica de segundo nivel subsiguiente (subcuenca).

Para la construcción del hietograma efectivo instantáneo se debe agregar el resultante de la tabla anterior por intervalos de tiempo, considerando que hay escorrentía sólo si se cumple la siguiente condición:

$$P_m \geq P_0 \quad (9)$$

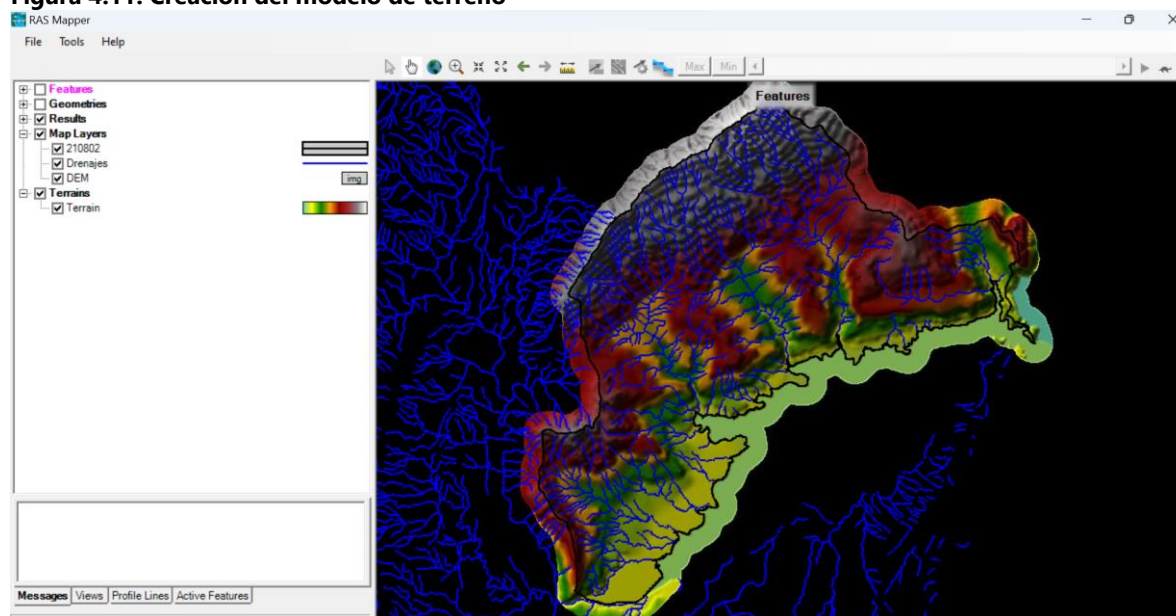
Con este hietograma instantáneo se programó una simulación en 2D desacoplado con ayuda de la herramienta informática HEC-RAS 5.0.3. El HEC-RAS es un modelo de dominio público desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los EE.UU., el cual soluciona las ecuaciones de St. Venant para flujo no permanente en canales abiertos y resuelve de manera aproximada mediante esquemas de Preissman las ecuaciones básicas de momentum y continuidad (Matgen et al., 2007, citado por ERN, 2011)

Esta herramienta cuenta con la opción de realizar la simulación en un entorno 2D desacoplado de manera que representa el escurrimiento de la precipitación sobre un modelo de terreno previamente definido, con la opción de incluir hidrogramas obtenidos para los cauces principales en un análisis de crecientes como el que se ilustra en el capítulo de Hidrología del Volumen 1 del presente Informe de Diagnóstico. Con esta opción se realizaron las simulaciones hidráulicas y de inundación en llanura para la determinación de la amenaza por inundación.

Los pasos efectuados en la herramienta informática fueron los siguientes:

- ❖ Creación del modelo de terreno. A partir del modelo de elevación desarrollado para el POMCA, se efectúa el cargue del mismo a la plataforma informática para la reconstrucción del modelo digital de terreno. Esto se realiza a través de la opción RAS Mapper que viene integrada en el menú.

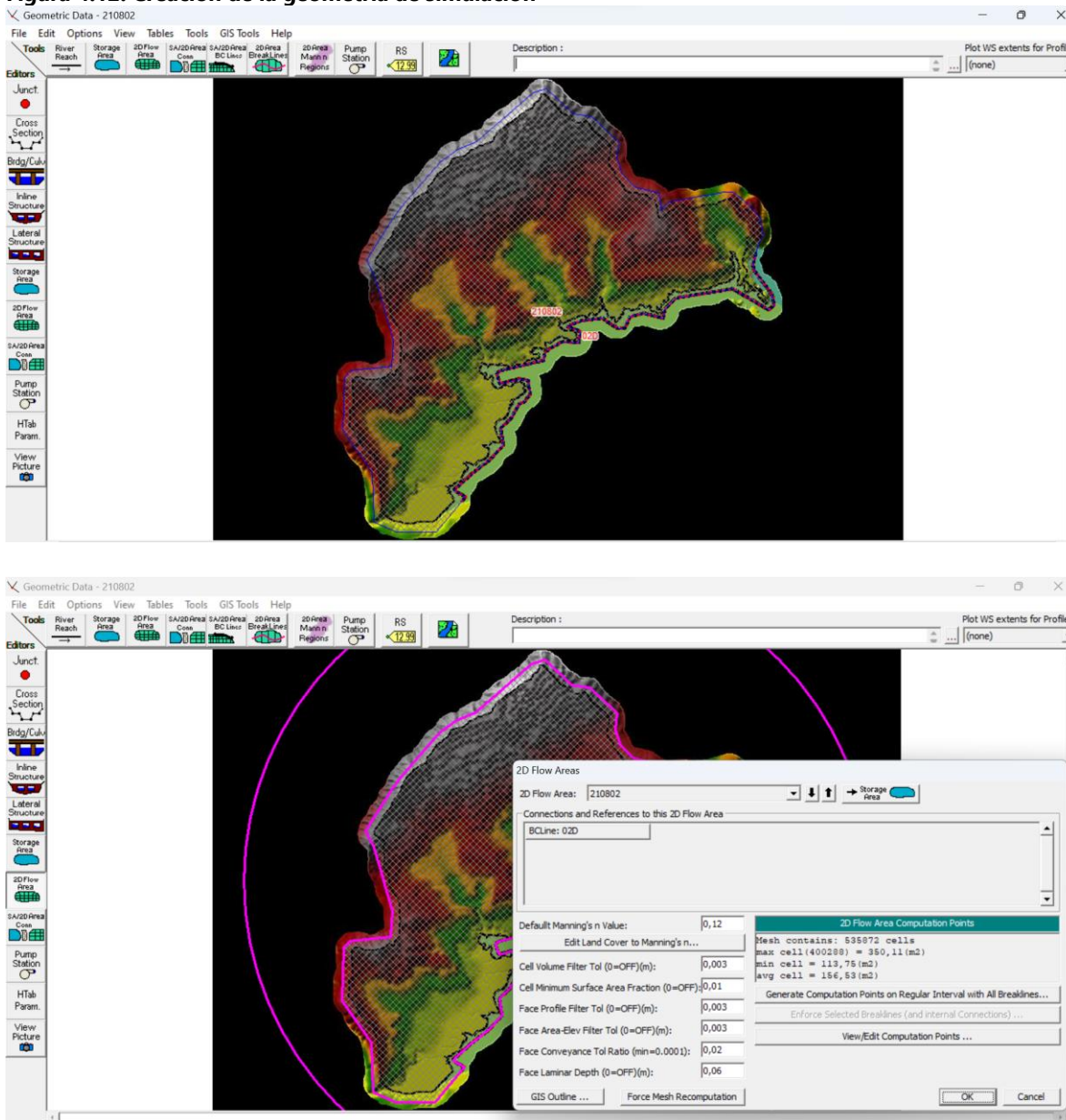
Figura 4.11. Creación del modelo de terreno



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

- ❖ Creación de la geometría de simulación. Una vez el modelo de terreno ha sido creado satisfactoriamente, se procede al delineamiento de la superficie para la simulación 2D, para la cual se creó una malla conforme con espaciado de 25 m de resolución. A partir de diferentes ensayos se definió ese tamaño de malla que permitiera un equilibrio entre la resolución espacial deseada y las necesidades computacionales para poder ejecutar el modelo.

Figura 4.12. Creación de la geometría de simulación

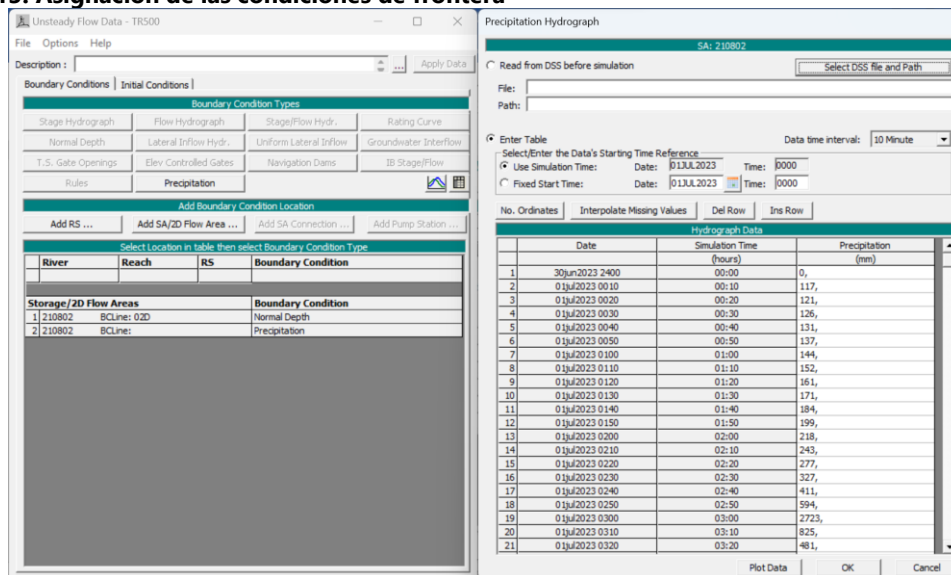


Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

- ❖ Asignación de las condiciones de frontera. Tomando en consideración la aplicación del modelo como se describió, se aplicaron condiciones de frontera

correspondientes al hietograma sintético calculado, y las entradas/salidas de caudal en los puntos conocidos. Este se aplica mediante una condición de frontera superficial en el menú Unsteady Flow Data de la herramienta.

Figura 4.13. Asignación de las condiciones de frontera



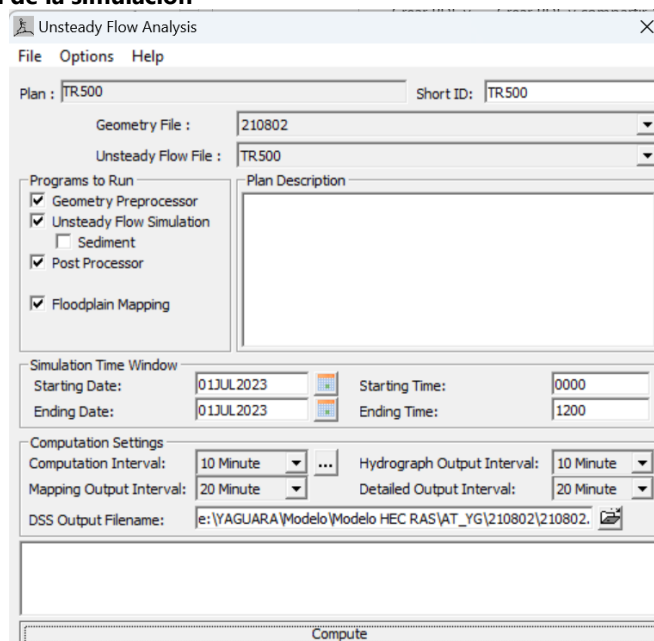
Storage/2D Flow Areas	Boundary Condition
1) 210802 BCLine: 02D	Normal Depth
2) 210802 BCLine:	Precipitation

Date	Simulation Time (hours)	Precipitation (mm)
30Jun2023 2400	00:00	0,
01Jul2023 0010	00:10	117,
01Jul2023 0020	00:20	121,
01Jul2023 0030	00:30	126,
01Jul2023 0040	00:40	131,
01Jul2023 0050	00:50	137,
01Jul2023 0100	01:00	144,
01Jul2023 0110	01:10	152,
01Jul2023 0120	01:20	161,
01Jul2023 0130	01:30	171,
01Jul2023 0140	01:40	184,
01Jul2023 0150	01:50	199,
01Jul2023 0200	02:00	218,
01Jul2023 0210	02:10	243,
01Jul2023 0220	02:20	277,
01Jul2023 0230	02:30	327,
01Jul2023 0240	02:40	411,
01Jul2023 0250	02:50	594,
01Jul2023 0300	03:00	773,
01Jul2023 0310	03:10	825,
01Jul2023 0320	03:20	481,

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

- ❖ Definición de la simulación. La simulación se aplicó de manera no estacionaria, en un lapso de 24 horas con tamaños de paso temporal de 15 minutos y presentación de resultados cada hora simulada.

Figura 4.14. Definición de la simulación



Plan: TR500 Short ID: TR500

Geometry File: 210802

Unsteady Flow File: TR500

Programs to Run

- ☒ Geometry Preprocessor
- ☒ Unsteady Flow Simulation
- ☐ Sediment
- ☒ Post Processor
- ☒ Floodplain Mapping

Simulation Time Window

Starting Date: 01JUL2023 Starting Time: 0000

Ending Date: 01JUL2023 Ending Time: 1200

Computation Settings

Computation Interval: 10 Minute Hydrograph Output Interval: 10 Minute

Mapping Output Interval: 20 Minute Detailed Output Interval: 20 Minute

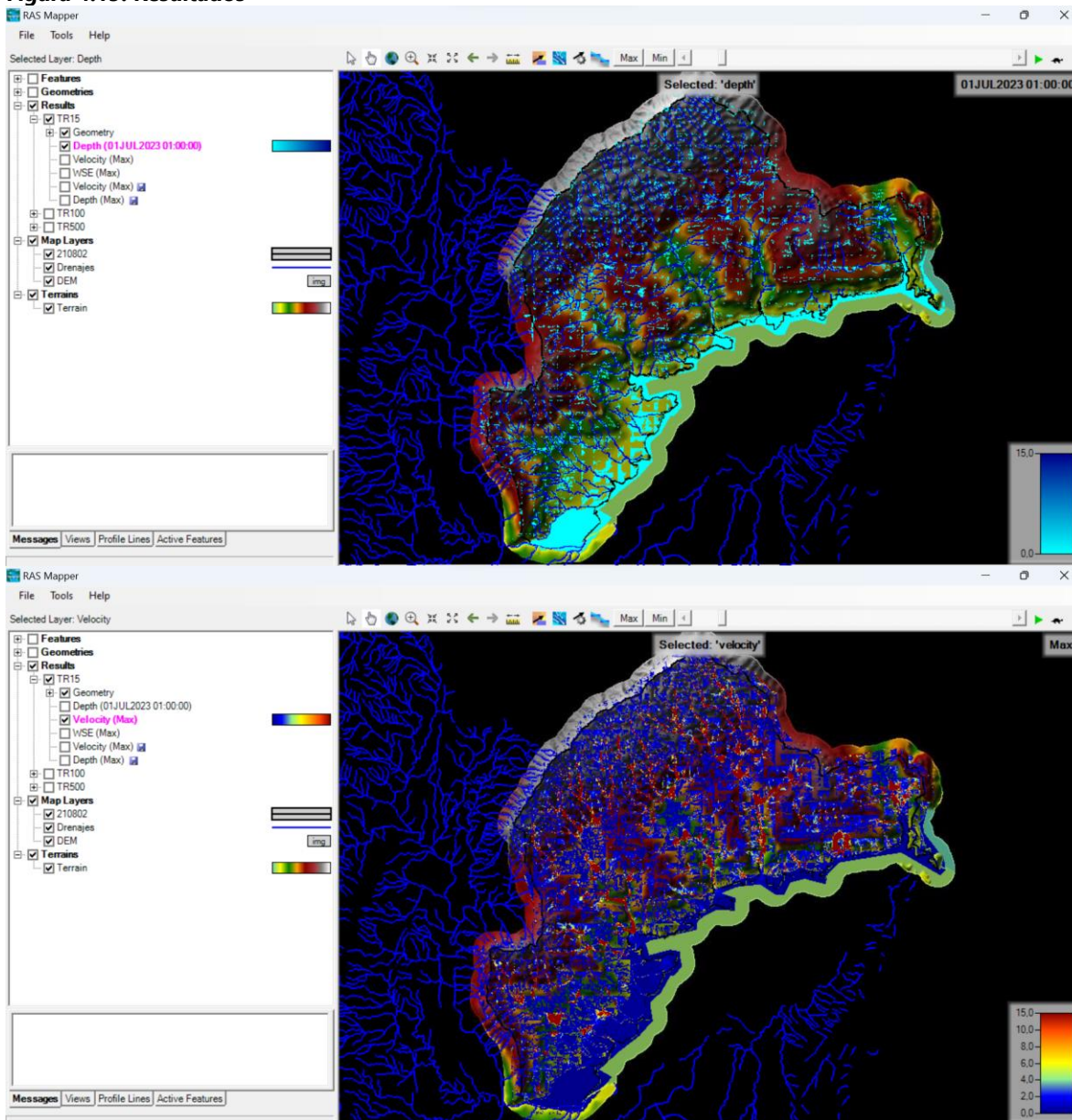
DSS Output Filename: e:\YAGUARA\Modelo\Modelo HEC RAS\AT_YG\210802\210802

Compute

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

- ❖ Lectura de resultados. Nuevamente, haciendo uso del RAS Mapper, se puede visualizar directamente para la simulación efectuada, los resultados de profundidad y velocidad de la lámina de agua, así como la creación de los contornos de la cota de inundación máxima. Los pasos anteriormente descritos se efectuaron para la precipitación efectiva e hidrogramas con períodos de retorno de 15 años (amenaza alta), 100 años (amenaza media), y 500 años (amenaza baja)

Figura 4.15. Resultados



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

- ❖ Integración de la amenaza: Como paso final se procesan los resultados espaciales obtenidos en el modelo para cada período de retorno de interés, y con la ayuda de

herramientas SIG se discriminan las áreas de amenaza alta, media, baja dentro de la Cuenca, de acuerdo con la siguiente tabla.

Tabla 4.10. Integración de la amenaza

PELIGROSIDAD		PROBABILIDAD DE OCURRENCIA (PERÍODO DE RETORNO)		
Profundidad, z (m)	Velocidad, v (m/s)	6,7% (TR = 15 años)	1% (TR = 100 años)	0,2% (TR = 500 años)
0,0 < z ≤ 0,5	v ≤ 1,5	Baja	Baja	Baja
	1,5 < v ≤ 2,0	Media	Media	Baja
	v > 2,0	Alta	Alta	Media
0,5 < z ≤ 1,0	v ≤ 1,5	Alta	Media	Baja
	1,5 < v ≤ 2,0	Alta	Media	Media
	v > 2,0	Alta	Alta	Alta
z > 1,0	v ≤ 1,5	Alta	Alta	Media
	1,5 < v ≤ 2,0	Alta	Alta	Alta
	v > 2,0	Alta	Alta	Alta

Fuente: Adaptado de Gobierno de Australia (2005), Escuder-Bueno et al. (2012), Cancado et al. (2008); Kalyanapu et al. (2012), Russo et al. (2014), Plan PLUIES (2006), Wasser (2006), Drbal and Masaryk (2007), EXIMAP (2007), Mapping (2007), Merz et al. (2007), Panayotis Prinos (2008), Spachinger et al. (2008), y Moel et al. (2009)

4.3.4. Resultados Obtenidos

La amenaza alta representa el 37% del área de la cuenca objeto en ordenación, distribuida en 33.336 ha, asociado a zonas con flujos que han presentado niveles máximos obtenidos para el evento con caudal máximo de periodo de retorno menor o igual a 15 años, además se presentan geoformas tipo barras longitudinales, barras homoclinales, cauce aluvial, cima, cono de deslizamiento indiferenciado, cono o lóbulo de flujo de detritos, cornisa estructural, embalse, laderas erosivas, ladera de contra pendiente, planicie o llanura de inundación, sierra anticlinal y terraza de acumulación.

Se han presentado altas condiciones de la amenaza sobre los siguientes sectores de la cuenca:

- Municipio de Íquira en las veredas Santa Lucía, Santa Barbara, Potreritos, Jaho, Las Brisas, Río Íquira, San Isidro, Lejanías, Narváez y El Rosario, influenciadas por el río Íquira.
- Municipio de Yaguará en las veredas Arenoso, La Floresta, Flandes, Vilu, La Floresta, Flandes y El Viso por el río Yaguará y río Pedernal.
- Municipio de Teruel en las veredas Varas Mesón, Cajuchal, Monserrate, La Armenia, Sinaí por el río Íquira y río Pedernal.
- Municipio de Tesalia en las veredas Potrerogrande, El Moral, Los Yuyos, La Florida, El Palmito, Piedra Gorda, La Esperanza y El Guamal por los ríos Yaguaracito y Pacarní.
- Municipio de Nátaga en las veredas Los Laureles, Buena Vista, Alto Carmelo, Las Honduras y San Isidro, influenciadas por el río Yaguaracito.

Seguido de la amenaza media, con un 13% de la superficie de la cuenca, relacionado a zonas con niveles máximos obtenidos para el rango entre el evento con caudal máximo de periodo de retorno entre 15 años y 100 años, asociado a las mismas geoformas que las zonas de amenaza alta; sin embargo, se ubican en su mayoría en la parte este y suroeste de la cuenca sobre los ríos Íquira, Pedernal, Yaguaracito, Pacarní y Pedernal en los municipios de Teruel, Tesalia y Yaguará.

Por último, la amenaza baja corresponde a un 0,10% (91 ha), determinado por niveles máximos obtenidos para el rango ente el evento con caudal máximo de periodo de retorno entre 100 años y 500 años. Estas áreas se asocian a geoformas como lomeríos disectados, sierra anticlinal, terrazas de acumulación, planicie o llanura de inundación, lomas denudadas, lomas residuales, laderas erosivas y laderas estructurales.

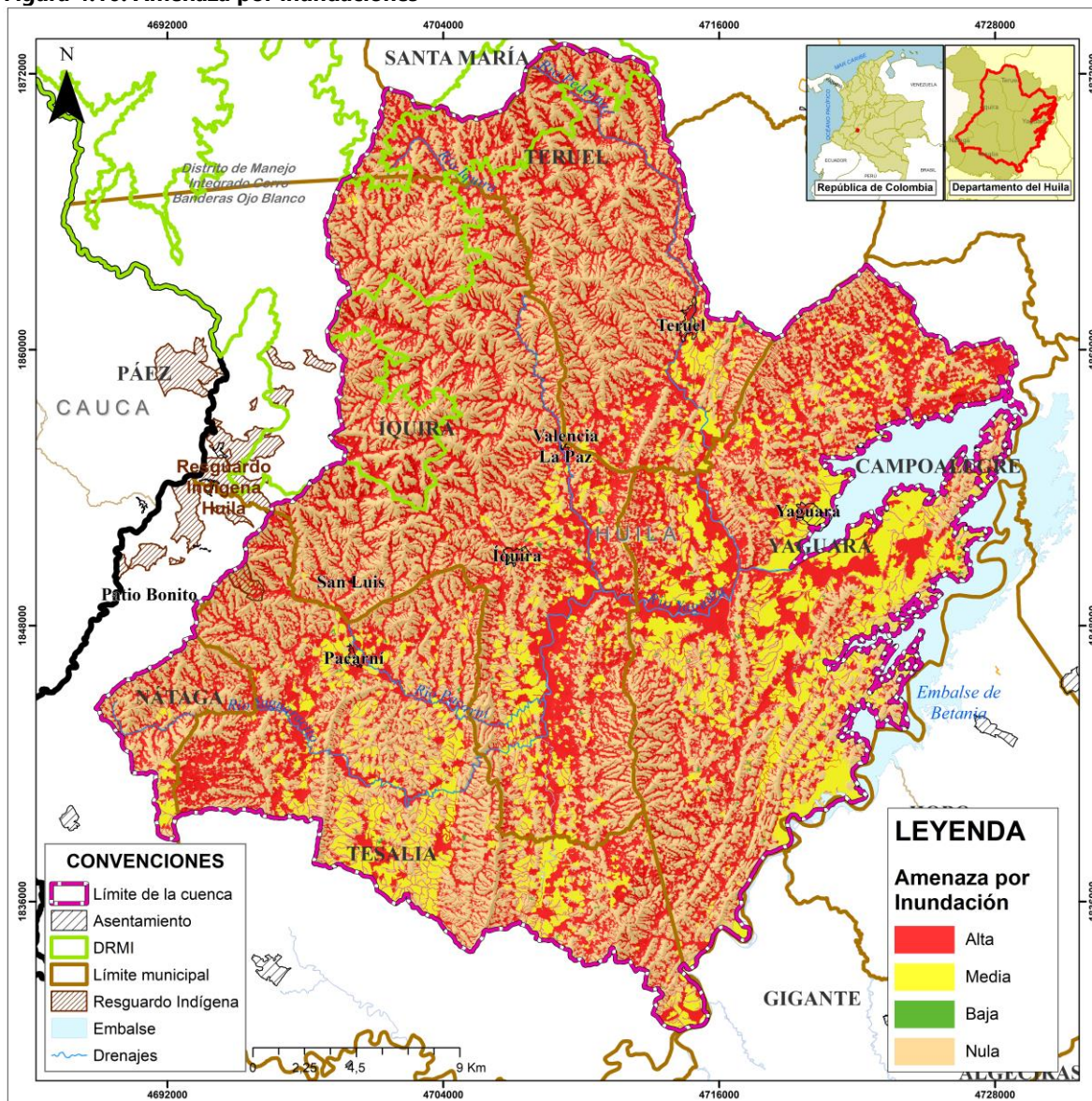
Tabla 4.11. Clasificación de amenaza por inundaciones

CATEGORÍA	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
Alta	33.336,77	37,26
Media	11.352,49	12,69
Baja	90,73	0,10
Nula	44.696,62	49,95
TOTAL	89.476,61	100

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

Se puede observar en la Figura 4.16 que la categoría nula predomina en la cuenca hidrográfica del río Yaguará, abarcando el 50% del área total de la cuenca, comprendiendo 44.696 ha. Estos sectores se ubican sobre geoformas de espinazo, escarpe lineal de falla, embalse de Betania, cima, cauces aluviales, planicies o llanuras de inundación, entre otros.

Figura 4.16. Amenaza por inundaciones



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

El mapa de amenaza por inundaciones se presenta en el Anexo/07_cartografía_Tematica/01_Mapas/03_AMENAZA/03_AMENAZA_IN

4.4. Avenidas torrenciales

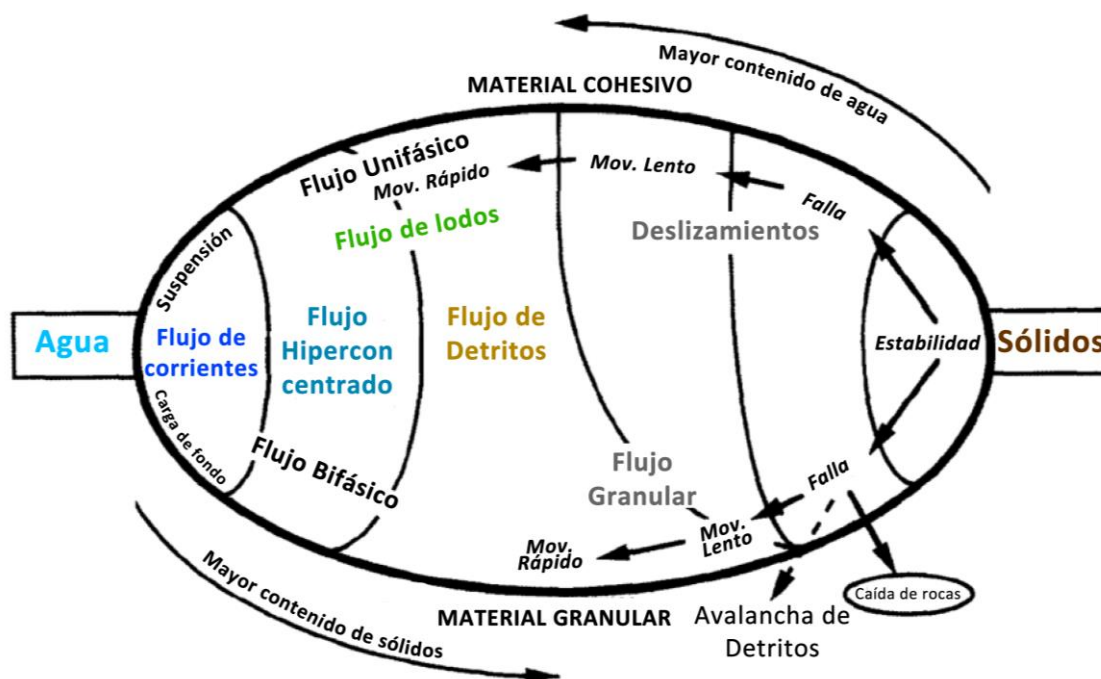
Los eventos hidrológicos torrenciales consisten en la ocurrencia súbita de un flujo compuesto por agua, sedimentos y escombros; su comportamiento es de duración corta y alta velocidad; el origen de este tipo de eventos se debe a las lluvias extremas, sismos, inestabilidad de vertientes o por erupciones volcánicas (Piedrahíta y Hermelín, 2005).

La evaluación de amenazas de avenidas torrenciales para la cuenca del río Yaguará se determina a partir de las áreas críticas identificadas anteriormente, realizando el análisis de eventos históricos de los eventos fluviotorrenciales, la textura de los depósitos torrenciales y la morfología superficial.

4.4.1. Metodología

Los eventos de *avenidas torrenciales* o *flujo de detritos* se caracterizan por altas velocidades de flujo, grandes fuerzas de impacto y recorridos largos, causando afectaciones mucho más grandes en ocasiones en comparación con otros eventos extremos asociados a las dinámicas hidrológicas. El comportamiento de estos eventos dependerá de las propiedades de los elementos intervinientes: flujos de agua con concentraciones diferentes de sedimento, o sedimentos con diferentes tamaños, generarán un patrón de avenida particular en cada caso (SGC, 2021), como se muestra en la siguiente figura.

Figura 4.17. Taxonomía de flujos geológicos



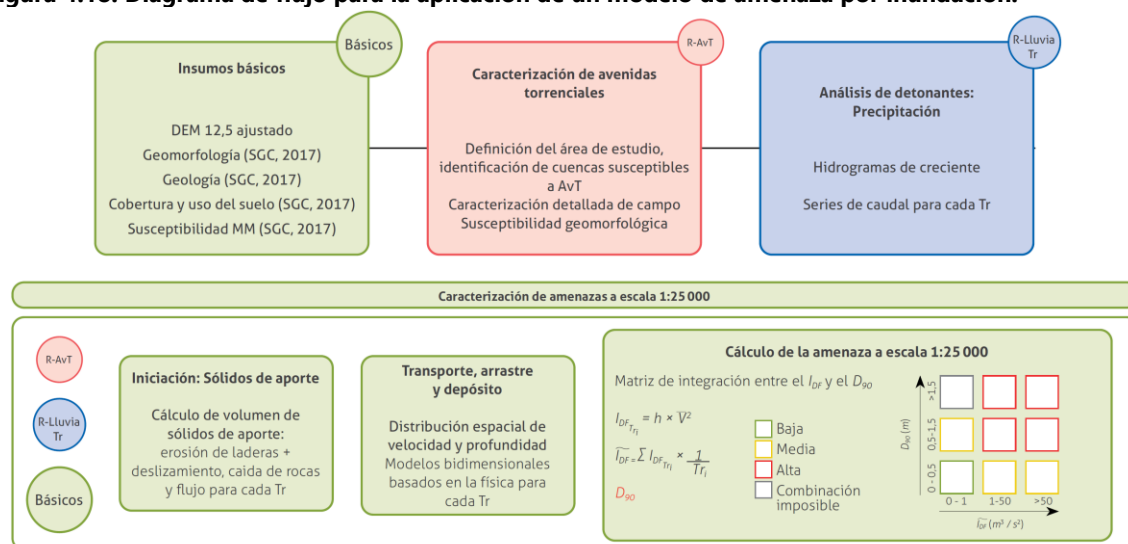
Fuente: Adaptado de Coussot y Meunier (1986)

Para efectos de acotar la variedad de fenómenos que pueden llegar a ocurrir, en el presente análisis de amenaza por *avenida torrencial* se adoptará la definición del SGC (2021, p. 17), referida a un “flujo rápido que transita por cauces permanentes o intermitentes con pendientes longitudinales altas que puede ser generado por efecto de lluvias intensas. Involucra el transporte de una mezcla entre agua y un contenido significativo de sólidos en diferentes proporciones”

En este sentido, el estudio de la amenaza por avenida torrencial dependerá, al igual que con las inundaciones, de las relaciones lluvia-escorrentía, con la introducción de las modificaciones en el régimen de flujo -particularmente relacionadas con los esfuerzos cortantes, de fricción y la viscosidad aparente- debidas a la presencia del material sólido arrastrado.

Siguiendo las indicaciones del SGC, la Figura 4.18 representa la metodología que empleada para la evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales. De acuerdo con la información disponible, se describe a continuación la actividad realizada en cada una de las etapas específicas para el cálculo de la amenaza a partir del análisis de detonantes.

Figura 4.18. Diagrama de flujo para la aplicación de un modelo de amenaza por inundación.



Fuente: SGC (2021)

- ❖ Análisis de detonantes: Precipitación. Teniendo en cuenta la similitud del detonante por lluvias extremas entre los eventos de inundación y avenidas torrenciales, se utilizarán los mismos hietogramas calculados para la evaluación de la amenaza por inundación.
- ❖ Iniciación: Sólidos de aporte. Considerando los diagramas de flujo presentados por el SGC (2021) para la determinación del cálculo de volumen de sólidos de aporte para la modelación hidrodinámica, con la información disponible para el POMCA y su escala de detalle, no se cuenta con los insumos suficientes para la construcción de sedimentogramas que puedan ser incorporados a la modelación hidrodinámica.

Para solventar esta situación, y dado que para el análisis de la amenaza en el marco del POMCA cobra más relevancia a nivel de cuenca el proceso de transporte que el de iniciación teniendo en cuenta que la concentración de sólidos puede aumentar considerablemente en el recorrido de la avenida torrencial, se decidió realizar la simulación bajo un régimen de flujo de detritos -proceso morfodinámico bastante

común encontrado en la Cuenca de acuerdo con el análisis geomorfológico morfoestructural- con un tamaño de grano típico de 0,5 mm dado que de acuerdo con las muestras de suelos analizadas en el componente de capacidad de uso, los suelos no contienen gravas y sus texturas son principalmente arenosas (contenido cercano al 50%) con contenidos variables de arcilla y limo -este en menor proporción-

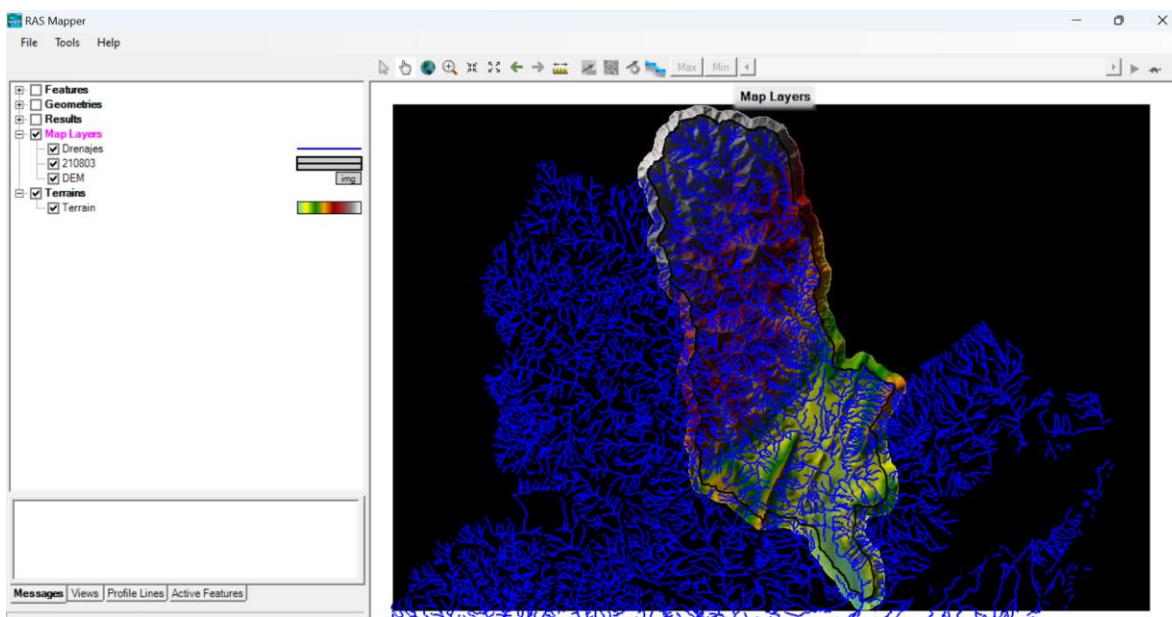
Se adoptó una concentración volumétrica de sólidos después de la iniciación de 48% con un máximo de 65% para representar casos en que la avenida pueda ocasionar fallas en la roca con su correspondiente desprendimiento (O'Brien, 2014)

- ❖ Transporte, arrastre y depósito: En esta etapa se busca obtener la distribución espacial de velocidad y profundidad de la avenida para cada período de retorno a partir de la modelación hidrodinámica. Con tal fin, se programó una simulación en 2D con ayuda de la herramienta informática HEC-RAS, empleado también para la amenaza por inundación.

Como ya se indicó en la sección correspondiente a inundaciones, HEC-RAS cuenta con la opción de realizar la simulación en un entorno 2D desacoplado de manera que representa el escurrimiento de la precipitación sobre un modelo de terreno previamente definido, con la opción de incluir hidrogramas obtenidos para los cauces principales en un análisis de crecientes como el que se ilustra en el capítulo de Hidrología del Volumen 1 del presente Informe de Diagnóstico. Adicionalmente, para el caso de avenidas torrenciales, es posible realizar la modelación del flujo de detritos suministrando la información correspondiente para la aproximación de flujo no newtoniano aplicada a la escorrentía. Con esta opción se realizaron las simulaciones hidráulicas y transporte de sedimentos para la determinación de la amenaza por avenidas torrenciales.

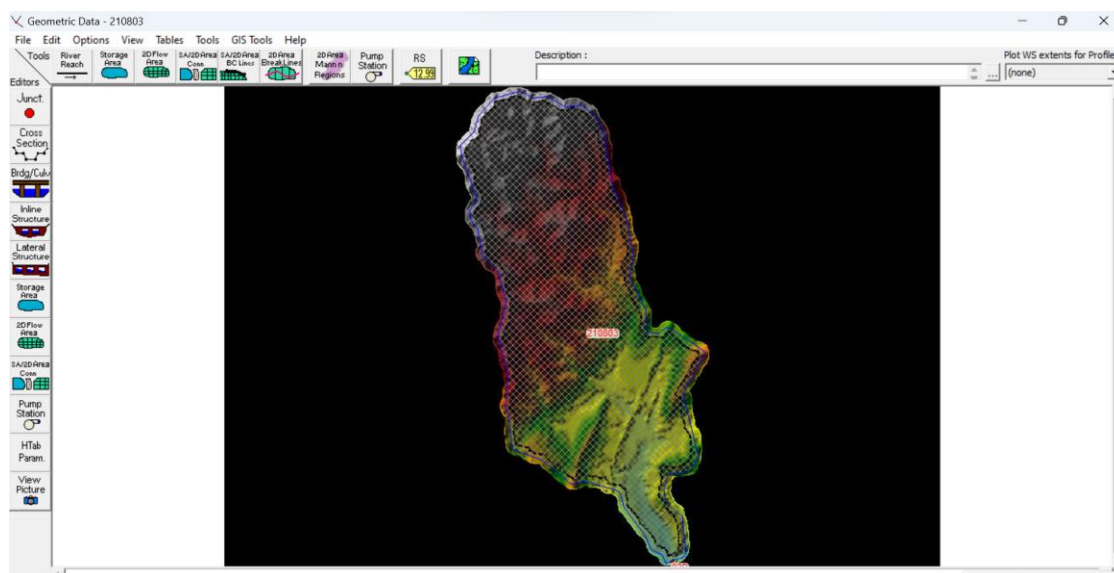
Los pasos efectuados en la herramienta informática fueron los siguientes:

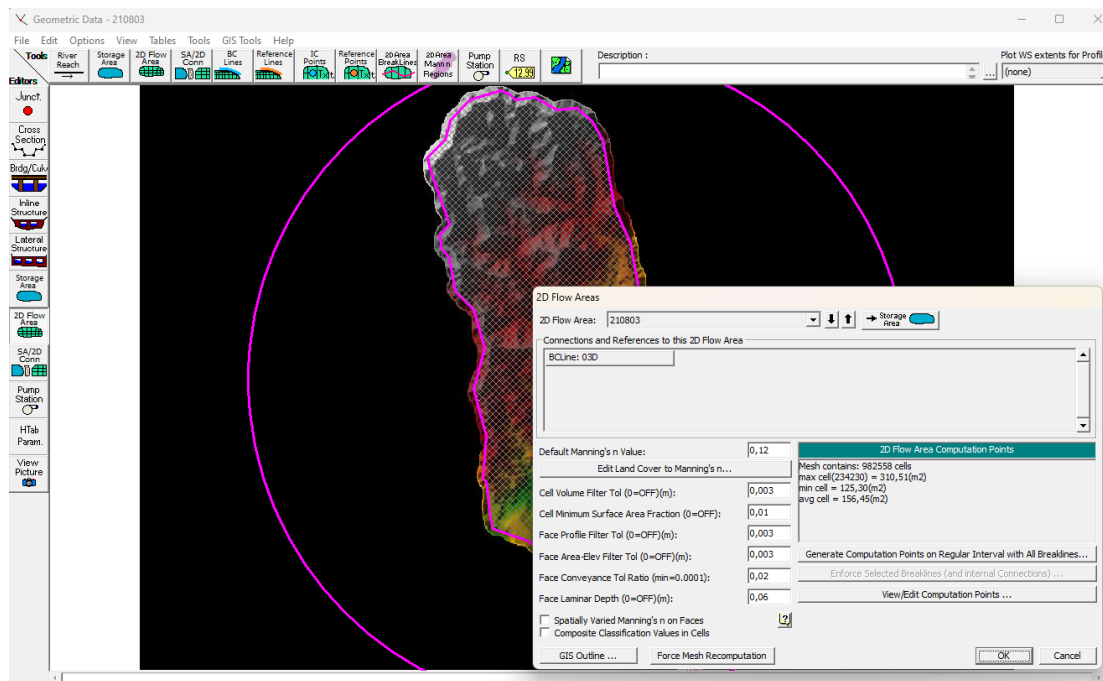
- *Creación del modelo de terreno.* A partir del modelo de elevación desarrollado para el POMCA, se efectúa el cargue del mismo a la plataforma informática para la reconstrucción del modelo digital de terreno. Esto se realiza a través de la opción RAS Mapper que viene integrada en el menú.



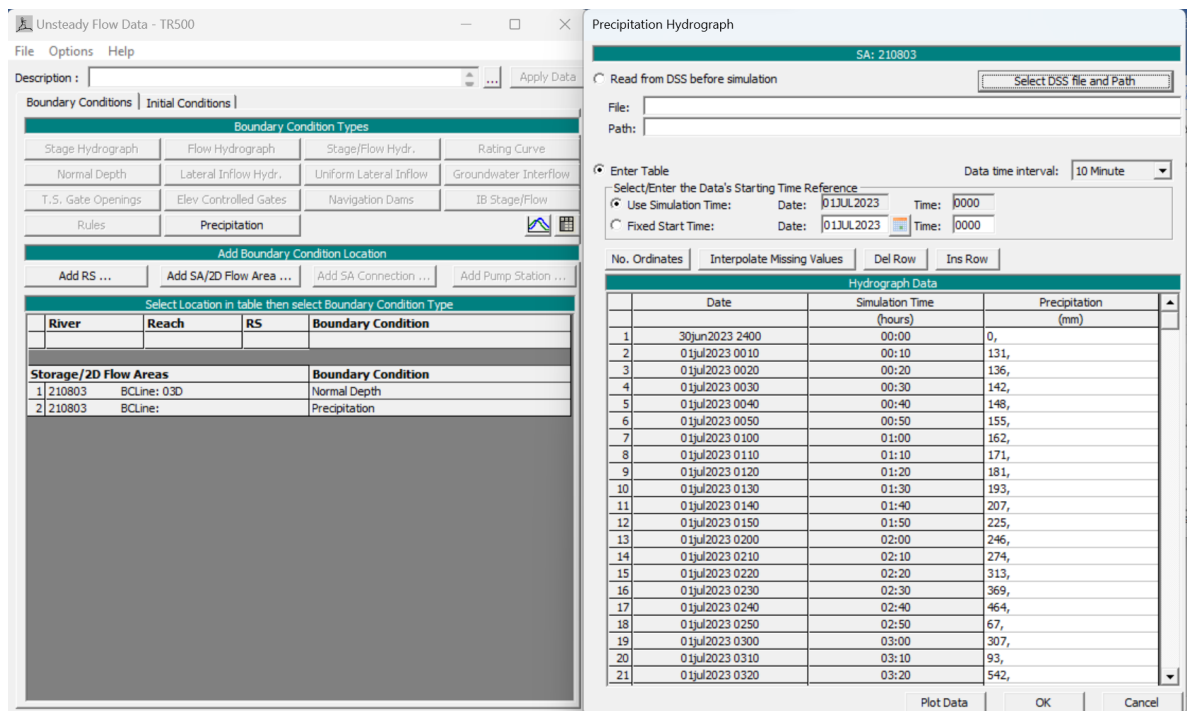
- *Creación de la geometría de simulación.* Una vez el modelo de terreno ha sido creado satisfactoriamente, se procede al delineamiento de la superficie para la simulación 2D, para la cual se creó una malla conforme con espaciado de 25 m de resolución. A partir de diferentes ensayos se definió ese tamaño de malla que permitiera un equilibrio entre la resolución espacial deseada y las necesidades computacionales para poder ejecutar el modelo.

Adicionalmente, y para representar la mayor fricción generada entre la avenida y el terreno, se adoptó un valor para el coeficiente de Manning de 0,12, acorde con los rangos típicos presentados por el SGC (2021, p. 69)

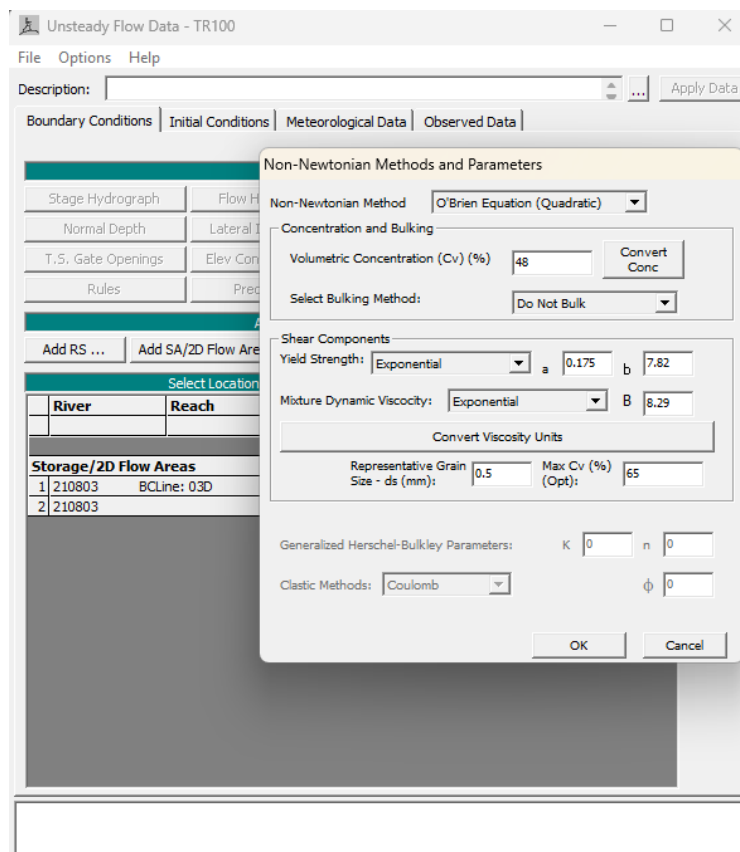




- **Asignación de las condiciones de frontera.** Tomando en consideración la aplicación del modelo como se describió, se aplicaron condiciones de frontera correspondientes al hietograma sintético calculado, y las entradas/salidas de caudal en los puntos conocidos. Este se aplica mediante una condición de frontera superficial en el menú *Unsteady Flow Data* de la herramienta.



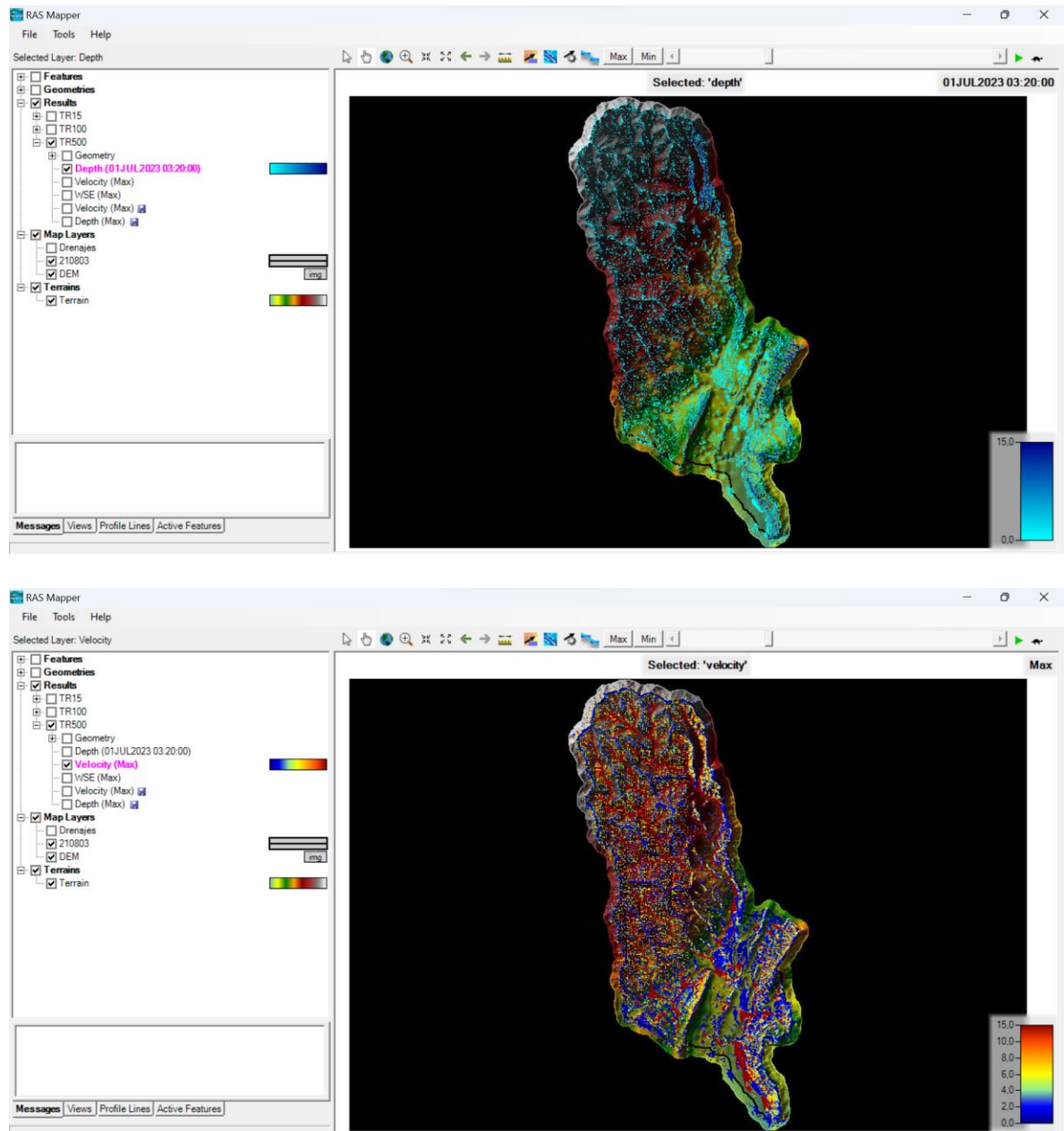
De igual manera, se asignaron los parámetros para la simulación no newtoniana, adoptando el modelo de O'Brien con correlaciones de esfuerzo cortante y viscosidad de tipo exponencial. Para estas correlaciones se adoptó la regresión de Kang y Zhang (1984, citada por O'Brien y Julien, 1988)



- **Definición de la simulación.** La simulación se aplicó de manera no estacionaria, en un lapso de 24 horas con tamaños de paso temporal de 15 minutos y presentación de resultados cada hora simulada.



- *Lectura de resultados.* Nuevamente, haciendo uso del RAS Mapper, se puede visualizar directamente para la simulación efectuada, los resultados de profundidad y velocidad de la lámina de agua, así como la creación de los contornos de la cota de inundación máxima. Los pasos anteriormente descritos se efectuaron para la precipitación efectiva e hidrogramas con períodos de retorno de 15 años (amenaza alta), 100 años (amenaza media), y 500 años (amenaza baja)



- ❖ Cálculo de la amenaza: Como paso final se procesan los resultados espaciales obtenidos en el modelo para cada período de retorno de interés, calculándose el *índice de intensidad de flujo*, definido de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$I_{DF} = h_{m\acute{a}x} ||\vec{u}||^2_{m\acute{a}x}$$

donde:

$h_{m\acute{a}x}$ profundidad máxima de flujo
 $||\vec{u}||^2_{m\acute{a}x}$ magnitud máxima de la velocidad de flujo

Posteriormente, se combinaron los valores de I_{DF} para los diferentes períodos de retorno T_i en cada celda ráster mediante la siguiente ecuación:

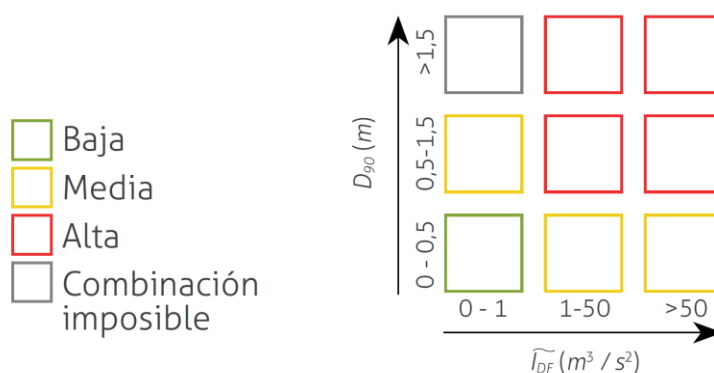
$$\widetilde{I}_{DF} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{I_{DF,T_i}}{T_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{T_i}}$$

Esta fórmula se diferencia de la propuesta por el SGC por la introducción del factor de corrección en el denominador. El factor es introducido debido a que la simulación se realizó solo para los períodos de retorno de 15, 100 y 500 años, de manera que la suma de sus probabilidades de ocurrencia (el inverso de los períodos de retorno) no es igual a 1.

Finalmente, para la zonificación de la amenaza se hicieron las siguientes suposiciones:

- Para flujos con intensidad inferior a $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$, el patrón de la avenida corresponde simplemente a un flujo de detritos, de modo que el diámetro máximo más probable del material sólido arrastrado (D_{90}) es inferior a 0,5 m
- Para flujos con intensidad superior a $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$, se considera que la avenida puede llegar a producir deslizamiento y caídas de rocas, material con diámetro máximo más probable (D_{90}) superior a 0,5 m

Con estas suposiciones, se utilizó la escala propuesta por el SGC (2021):



4.4.2. Resultados Obtenidos

En la cuenca hidrográfica del río Yaguará destaca la categoría nula, abarcando el 66,4% del área de la cuenca, comprendiendo 59.409 ha. Se presentan en estos sectores geoformas como centros poblados, embalse, cauce aluvial, barra homoclinal, barra longitudinal, tarraza

de acumulación, sierra y lomo de presión, plano aluvial confinado, planicie o llanura de inundación, loma de residual y lomeríos disectados.

Tabla 4.12. Clasificación de amenaza por avenidas torrenciales

CATEGORÍA	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
Alta	12.733,76	14,23
Media	3.870,23	4,33
Baja	13.463,44	15,05
Nula	59.409,17	66,40
TOTAL	89.476,61	100

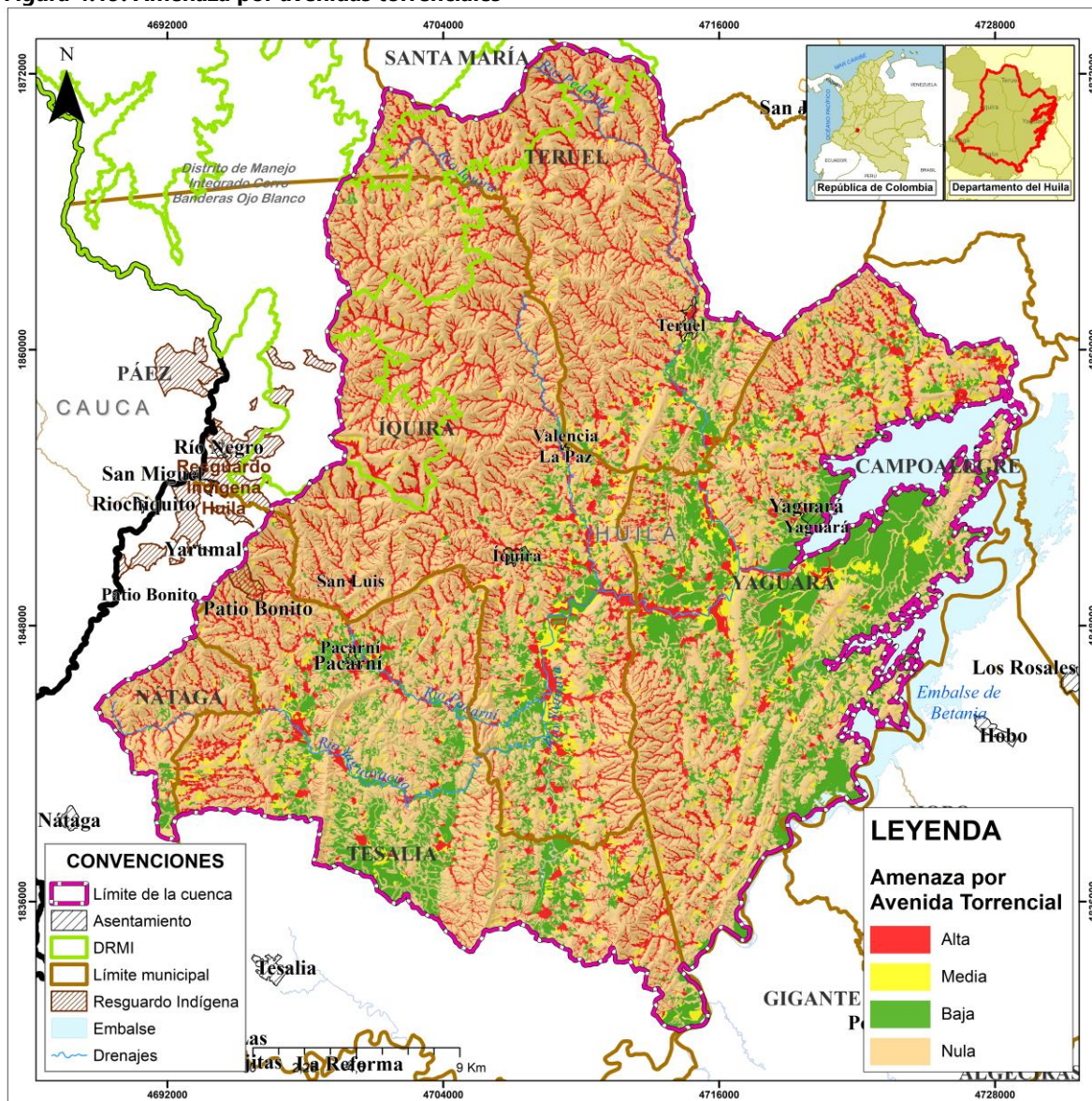
Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

La amenaza alta por avenida torrencial comprende un área de 12.733 ha, correspondiente al 14% del área total de la cuenca. Se han presentado altas condiciones de amenaza por los siguientes cuerpos hídricos: río Íquira con área de influencia sobre las veredas como Santa Lucia, Santa Barbara, La Armenia, Potreritos, Jaho, Las Brisas, Río Íquira; el río Pedernal comprende veredas como La Cañada, Monserrate, Portachuelo, Pedernal, Corrales, Varas Mesón y La Floresta; el río Pacarní con una influencia sobre las veredas Limonar, Garvanzal, El Palmito, El Guamal, Cerro Damitas, Piedra Gorda y La Esperanza; el río Yaguará repercute sobre las veredas Vilu, Flandes, La Floresta, Arenoso, Santa Bárbara, Santa Lucia, Limonar y El Chaparro; por último, el río Yaguaracito sobre las veredas Limonar, Los Laureles, Buena Vista, Alto Camelo, Potrerogrande, El Moral, San Isidro, Los Yuyos y Las Honduras. Además, estos sectores fueron identificados con actividad reciente.

Sucesivo a la categoría alta, la amenaza baja representa el 15% de la cuenca (13.463 ha), se observa en la Figura 4.19 que se concentran los eventos en el municipio Yaguará sobre las veredas La Floresta y Flandes por el río Pedernal, en el municipio de Íquira en las veredas Santa Barbara, Potreritos, Jaho, Río Íquira, Limonar, Santa Lucia y El Chaparro influenciadas por el río Íquira, río Yaguaracito, río Yaguará y río Pacarní, respecto al municipio de Tesalia se han evidenciado eventos en las vereda de La Cañada, Monserrate y Portachuelo por el río Pedernal, y en el municipio de Tesalia en las veredas Potrerogrande, Piedra Gorda, Los Yuyos, La Esperanza y El Guamal por los ríos Yaguaracito y Pacarní. Estos sectores cuentan con geoformas de laderas contrapendientes y erosivas, escarpe de flujo lahárico aterrazado y de línea de falla, espinazo, lomas, lomeríos sierra homoclinal, desnudada y de presión, entre otros.

Por último, la amenaza media abarca un 4,33% del área objeto a ordenar (3.870 ha), presentando indicador cronológico de actividades en la categoría de antiguo.

Figura 4.19. Amenaza por avenidas torrenciales



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

El mapa de amenaza por avenidas torrenciales se presenta en el Anexo/07_cartografía_Tematica/01_Mapas/03_AMENAZA/01_AMENAZA_AT

4.5. Otros eventos amenazantes

4.5.1. Sismos

Los sismos son fenómenos geológicos que consisten en la propagación de ondas como producto de la liberación súbita de energía acumulada en las placas tectónicas durante un largo tiempo (Espíndola y Pérez, 2018), estos eventos no se pueden predecir y no se asocian a elementos bióticos o antrópicos que aumenten su probabilidad. Este tipo de evento se

mide con sismógrafos, estos utilizan escalas de magnitud e intensidad para cuantificar el evento; en el caso de Colombia se hace uso de la escala de magnitud Richter, método que determina las fuerzas del sismo con base a una escala logarítmica, mostrando la amplitud de las ondas en milímetros (Vidal, 2013).

La ocurrencia de eventos sísmicos puede afectar adversamente al ecosistema, ocasionado incendios, derrumbes, desprendimientos o licuación del suelo, tsunamis, y la formación de represas; por otro lado, las consecuencias al entorno de las comunidades dependerán de la magnitud del sismo, lo cual puede causar la ruptura de conexiones de acueducto y alcantarillado, interrupción del servicio eléctrico, daños en las infraestructuras viales y/o destrucción de estructuras sociales existentes.

Colombia es un país que presenta este tipo de evento con frecuencia a lo largo del territorio y con magnitudes potencialmente destructivas, debido a la convergencia de las placas litosféricas de Nazca, Sudamérica y Caribe. Las entidades nacionales han estudiado este evento durante años con el fin de establecer catálogos de sismos, guía para el conocimiento de este tipo de amenaza, elementos de gestión del riesgo para implementar en cada unidad territorial según sean sus necesidad y condiciones, entre otros.

Para el año 2020 el Servicio Geológico Colombiano (SGC) publicó el *Modelo nacional de amenaza sísmica para Colombia*, cuyo objetivo es proporcionar información a la población sobre los sismos y establecer un modelo probabilístico de amenaza sísmica. El modelo nacional utiliza la metodología probabilística en el cual la amenaza sísmica se evalúa como la probabilidad con que un cierto valor de amenaza, definido por un parámetro del movimiento del terreno (i. e., aceleración pico [PGA]), es superado (excedido) en un determinado sitio o región de estudio, considerando una ventana de observación (t) dada, como se observa en la siguiente formula:

$$H = P[x(s) \geq x_0; t] \quad (10)$$

Donde:

H= Amenaza

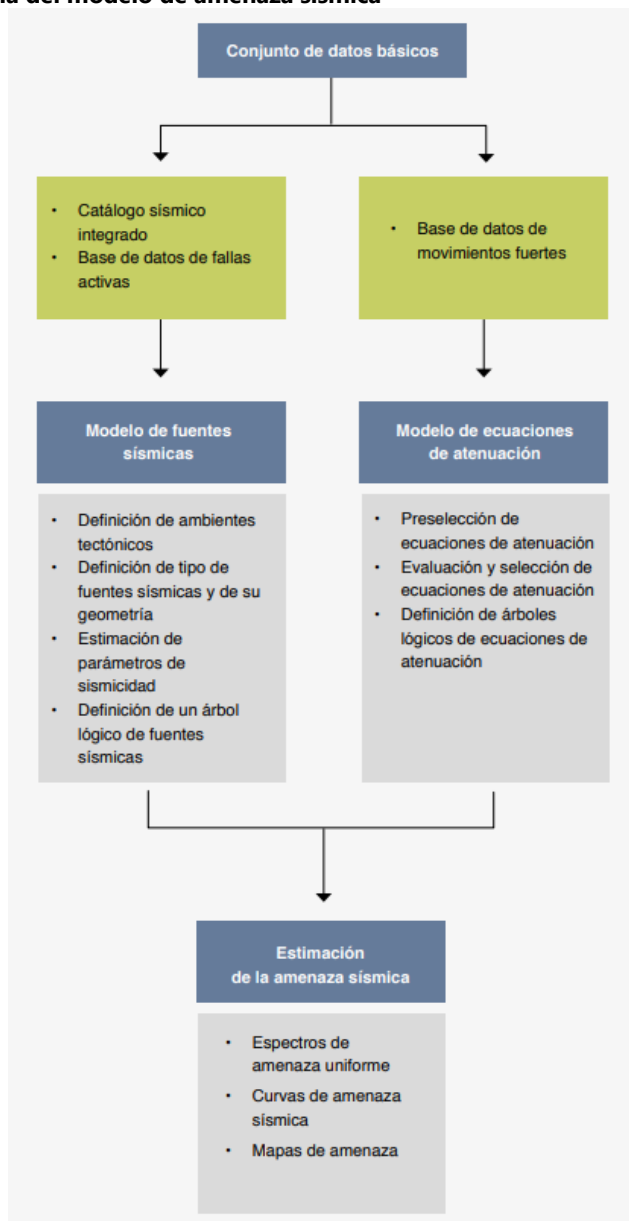
$Px(s) \geq x_0$ = Probabilidad de superación

x_0 = Umbral del parámetro elegido

t= Ventana de observación

La metodología para evaluar la amenaza sísmica, en este estudio se adoptan las metodologías propuestas por Budnitz et al. (1997), Reiter (1991) y McGuire (2004). El principal objetivo del análisis es estimar, en un sitio determinado, la probabilidad de excedencia de diferentes intensidades del movimiento del suelo, considerando todos los sismos que puedan ocurrir (SGC, 2020).

Figura 4.20. Metodología del modelo de amenaza sísmica

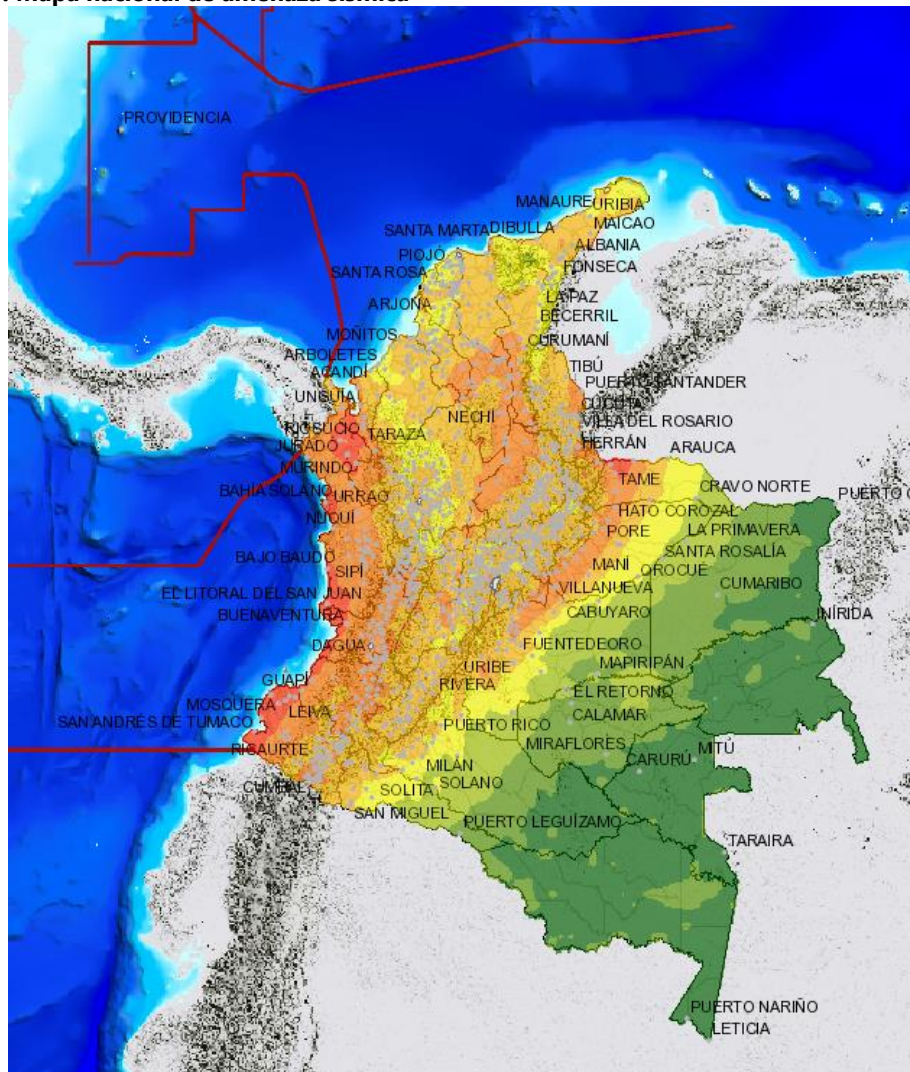


Fuente: SGC, 2020.

El modelo nacional de amenaza sísmica establece tres categorías de zonificación de amenaza sísmica:

- **Zona de Amenaza Sísmica Baja:** definida para aquellas regiones cuyo sismo de diseño no excede una aceleración pico efectiva (A_a) de 0,10g. Aproximadamente el 55% del territorio colombiano se encuentra incluido en esta zona de amenaza. Se representa por color verde.

- Figura 4.21. Mapa nacional de amenaza sísmica**

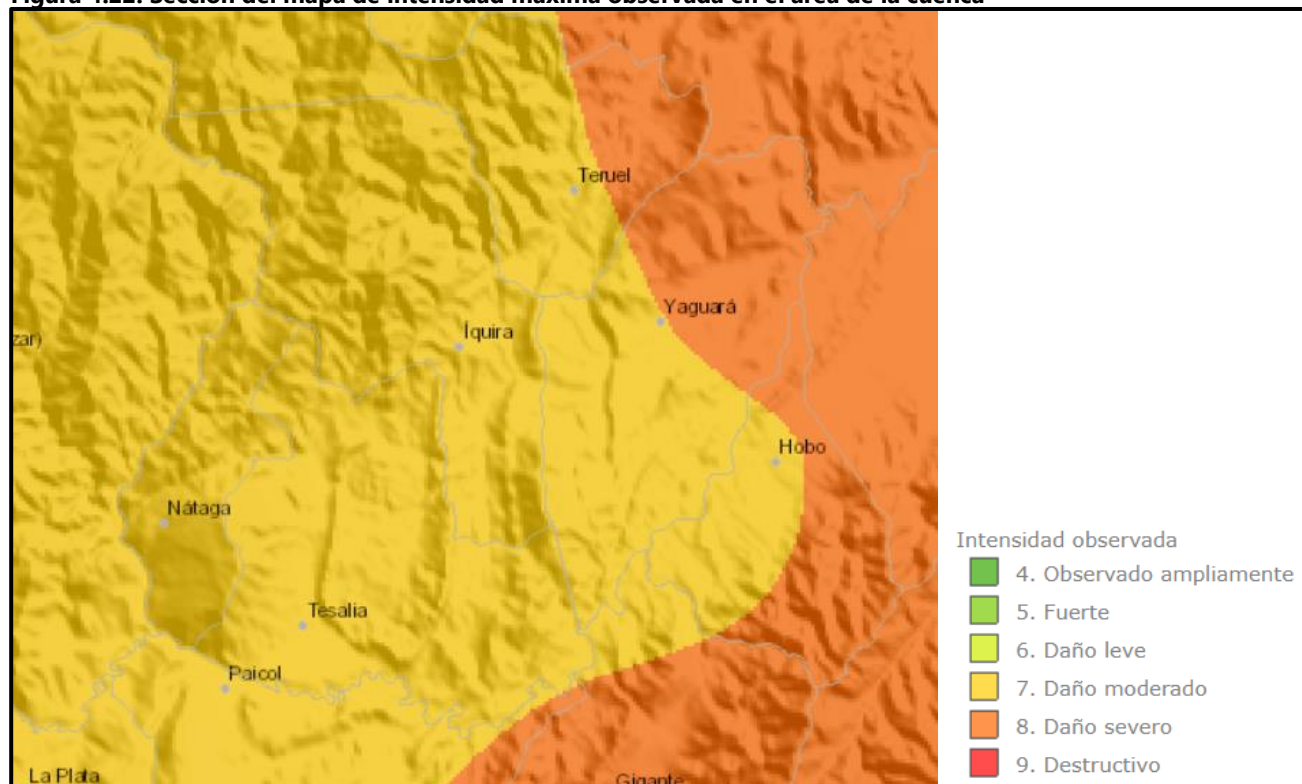


Carrera 51B N° 82 - 254, Piso 2, Oficina 26,
C.C. Bahía, Barranquilla D.E.I.P.
Correo electrónico: yaquara@ecocia.com

4.5.1.2. Resultados Obtenidos

De acuerdo con la consulta realizada en la página del Servicio Geológico Colombiano, se puede observar en la Figura 4.22 que la cuenca objeto de ordenación se ubica dentro de la zona de intensidad máxima alta; en donde los municipios de Nátaga, Íquira, Teruel y Tesalia presentan una intensidad 7 indicando daños moderados, en cambio el municipio de Yaguará presenta intensidad 7 e intensidad 8, este último corresponde a daños severos.

Figura 4.22. Sección del mapa de intensidad máxima observada en el área de la cuenca



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

Se puede observar en la Figura 4.23 el mapa de amenaza sísmica correspondiente a la cuenca del río Yaguará obtenida del Servicio Geológico Colombiano, indicando que la zona de amenaza sísmica alta.

Este mapa detallado muestra la zona de estudio en el departamento del Huila, Colombia. El territorio está dividido en municipios: Santa María, Teruel, Iquira, Valencia La Paz, Yaguará, Yaguará, Nataga, Tesalia, y Hobo. Se identifican también áreas como el Distrito de Manejo, el Resguardo Indígena de Río Negro, y el Embalse de Betania. El mapa incluye una leyenda para la amenaza sísmica (Alta, Intermedia, Baja) y convenciones para límites de cuenca, asentamientos, DRMI, límites municipales, resguardos indígenas, embalses y drenajes. Se muestran coordenadas UTM y una escala de 9 Km.

El mapa de amenaza por sismos se presenta en el Anexo/07_cartografia_Tematica/01_Mapas/03_AMENAZA/05_AMENAZA_SM

4.5.2. Sequía

La sequía es la ausencia parcial o total de la precipitación en un periodo de tiempo, su ocurrencia dependerá de las características hidrometeorológicas y actividades antrópicas presentes en el área, como la circulación atmosférica, modificaciones de la cantidad de luz solar reflejada en la superficie de la tierra, cambios en la temperatura superficial de los océanos, modificaciones en el uso del suelo, deforestación, entre otros (Algarra, 2009). Este fenómeno ha presentado cambios abruptos en los últimos años, generando impactos de gran magnitud al ser humano, principalmente cuando es privado el uso de los servicios del recurso hídrico para su subsistencia y para el desarrollo de los cultivos, para su alimentación y el desarrollo económico (Velasco et al., 2005).

El fenómeno de la sequía se clasifica en tres tipos: meteorológica, agrícola e hidrológica.

1. **Meteorológica:** La sequía meteorológica corresponde a la desviación de la precipitación respecto de la normal en un periodo de tiempo corto; generando consecuencias ambientales como temperaturas altas, humedad baja en el ambiente y vientos fuertes; y consecuencias sobre la salud de los seres humanos (Velasco et al., 2005).
2. **Agrícola:** La sequía agrícola corresponde a la cantidad de humedad insuficiente en forma natural del suelo para el desarrollo fenológico de los cultivos, este tipo de sequía ocurre después de la meteorológica; en cualquier etapa del cultivo puede presentar afectación (Velasco et al., 2005).
3. **Hidrológica:** La sequía hidrológica corresponde a la deficiencia en las fuentes de abastecimiento de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, puede extenderse a periodos de tiempos largos, su recuperación puede ser difícil y se puede dar a largo plazo (Velasco et al., 2005).

4.5.2.1. Metodología

El método seleccionado para la evaluación de amenaza por eventos de sequía en la cuenca del río Yaguará fue el índice normalizado de precipitación (SPI), siguiendo la guía de "índice normalizado de precipitación" establecida por la Organización Meteorológica Mundial.

El índice normalizado de precipitación cuantifica la precipitación mensual de forma sencilla, analizando el comportamiento del evento mediante las series históricas sobre los diferentes cuerpos de agua (lluvias estacionales, agua subterránea, embalses, humedad del suelo y escurrimientos superficiales) en diferentes escalas de tiempo (periodos cortos, medianos y a largo plazo) (Cortez et al, 2018).

La metodología del SPI se puede observar en la Figura 4.24.

Figura 4.24. Diagrama de la metodología para determinar la amenaza de avenidas torrenciales



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

- 1. Selección de información:** La información principal para determinar el evento de sequía se obtiene del IDEAM, los datos que se implementan en el método son series de tiempo de precipitaciones mensuales.
- 2. Procesamiento de información:** El cálculo del SPI, se realizó de acuerdo con los lineamientos de la Organización Meteorológica Mundial en el documento "Índice normalizado de precipitación. Guía del Usuario". Este procedimiento se fundamenta, en el ajuste de los registros a una distribución de probabilidades, transformándolos posteriormente en una distribución normal, de modo que el SPI medio para el área y el período deseado sea cero (OMM,2012).
- 3. Cálculo de las intensidades de sequía:** Una vez calculados los SPI para cada estación, se procedió a señalar la intensidad de los eventos de sequía, de acuerdo con las categorías establecidas por la Organización Meteorológica Mundial, haciendo énfasis en aquellos registros que presentan una desviación +/- 1.
- 4. Determinación de la magnitud y duración de los eventos de sequía:** Se determina el comienzo, duración, intensidad, magnitud, frecuencia y finalización de las sequías que han ocurrido en la cuenca del río Yaguará; este cálculo se realiza a partir de la longitud del periodo en el que se presente una secuencia continua de valores SPI iguales o inferiores a -1, comenzando cuando se presenta un valor por debajo de -1, y termina cuando se hace mayor a -1.
- 5. Zonificación de la amenaza por sequía:** Para determinar la zonificación de este tipo de eventos se seleccionan los periodos acumulados de 3 meses (SPI 3), ya que permite analizar la dinámica del evento en la cuenca con mayor claridad; con estos datos se determina la amenaza de acuerdo con la función de intensidad y probabilidad de ocurrencia de los eventos (Tabla 4.13).

Tabla 4.13. Amenaza por sequía

			INTENSIDAD			
			Muy alta	Alta	Media	Baja
			$SPI \leq -2,0$	$-2,0 < SPI \leq -1,5$	$-1,5 < SPI \leq -1,0$	$-1,0 < SPI \leq -0,5$
PROBABILIDAD	Muy alta	>40%	Muy alta	Muy alta	Alta	Media
	Alta	30 – 40 %	Alta	Alta	Media	Media
	Media	20 – 30 %	Alta	Media	Media	Baja
	Baja	10 – 20 %	Media	Baja	Baja	Baja
	Muy baja	<10%	Baja	Baja	Muy baja	Muy baja

Fuente: Gonzáles et al (2016).

4.5.2.2. Variables utilizadas

4.5.2.2.1. Información base

La precipitación es la información base para estimar la amenaza de sequía en la cuenca del río Yaguará, esta se descargará en la plataforma del IDEAM. Como primer paso, se evalúan las estaciones meteorológicas que tiene influencia en el área de la cuenca y seguido se seleccionan aquellas que cumplan con los siguientes parámetros: extensión de la serie histórica, representatividad y calidad de los datos.

4.5.2.2.2. Magnitud del evento

La magnitud de la sequía se refiere al déficit acumulado de precipitación durante un periodo seco. La magnitud se estima de acuerdo con la longitud del periodo en el que se presenta una secuencia continua de valores o inferiores a -1, este comenzará cuando el SPI presenta un valor menor a -1 y termina hasta el que valor supere -1. Posterior a la identificación de los periodos de sequía.

Tabla 4.14. Ejemplo evaluación de la intensidad de los eventos de sequía

El Hattillo												
	Ene	Feb	mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1981			-1,01	-0,31	0,26	0,34	-0,47	-0,97	-0,48	-0,87	-0,05	-0,14
1982	0,14	0,61	1,36	1,39	1,22	0,57	-1,00	-3,71	-0,92	-0,07	0,25	0,46
1983	-0,16	-1,03	-0,72	-0,98	-0,76	-1,23	-0,80	-0,60	-0,92	-2,16	-2,84	-2,44
1984	-0,37	-1,06	-0,09	-2,37	-1,17	-0,22	-0,29	-1,00	-0,16	-0,52	-1,71	-2,97
1985	-2,93	-2,56	-2,31	-0,46	-1,07	-0,58	-1,00	-0,59	-0,99	-0,53	-0,52	-0,19
1986	-0,38	-0,82	-0,73	-0,54	-0,86	-0,88	-0,53	-0,57	0,67	1,35	0,89	-0,42
1987	-0,86	-2,17	-0,80	-0,61	-0,85	-0,50	-0,77	-0,02	-0,40	-0,61	-0,95	-0,05
1988	-0,88	-0,34	0,21	0,26	0,35	0,25	0,10	-0,05	-0,06	0,24	0,40	0,58
1989	0,37	0,00	0,28	0,16	0,37	-0,45	-0,18	-0,49	0,18	-0,12	0,32	0,43
1990	0,49	0,03	-0,11	-0,18	-0,44	-0,82	-0,29	-0,85	-1,07	-0,56	-0,96	-0,87
1991	-0,46	-0,76	-0,45	-0,64	-0,14	-0,48	-0,98	0,15	0,63	-0,43	-0,66	-1,00
1992	-0,69	-0,23	-1,12	-1,71	-2,21	-2,23	-2,32	-0,76	-0,91	-0,49	-0,53	-0,83
1993	-0,95	-0,89	-0,29	-0,97	-0,65	-0,95	-0,45	-0,95	-0,40	-0,30	-0,60	-0,42
1994	0,12	-0,23	-0,30	-0,24	0,22	0,39	-0,14	-0,25	-0,82	0,04	-0,39	-1,01
1995	-1,03	-0,92	-0,67	-1,04	-1,04	-0,68	-0,49	0,00	-0,71	-0,63	-1,00	-0,55
1996	-0,16	0,03	0,22	0,37	0,16	-0,07	-0,64	-0,60	-0,97	-0,98	-0,32	-0,98
1997	0,04	-0,31	-1,07	-1,84	-1,16	-1,04	-1,03	-0,98	-1,85	-1,21	-1,08	-0,90
1998	-1,19	-0,87	-1,02	-0,88	-0,90	-0,82	-0,27	-0,18	-0,56	-0,30	-0,09	-0,17
1999	-0,70	-0,44	-0,15	-0,82	-0,45	-0,19	-0,89	-0,69	-0,14	-0,06	-0,23	-1,03
2000	-0,48	0,32	-0,08	-0,47	-0,45	-0,06	-0,18	-0,03	0,12	-0,60	-1,08	-1,85
2001	-1,97	-0,31	-0,38	-0,74	-2,09	-1,76	-1,34	-0,90	-1,04	-1,25	-0,42	-0,56
2002	-0,26	-0,85	-0,79	-0,81	-0,17	-0,68	-0,39	0,25	-0,68	-0,46	-1,96	-1,42
2003	-0,97	-1,02	-0,49	-0,70	-0,31	-1,16	-1,12	-0,43	-0,13	-0,71	-1,05	-0,26
2004	-0,09	-1,04	-1,02	-0,97	-0,05	-1,07	-0,41	-0,92	-0,24	-0,23	-0,27	-0,33
2005	-0,77	-0,13	-0,49	-0,18	-0,64	-0,45	-1,21	-0,17	-0,47	0,19	-0,65	-0,07
2006	-0,29	-0,05	-0,36	0,20	-0,11	-0,13	-0,34	-0,30	-0,71	-0,73	-0,29	-0,97
2007	-0,14	-0,58	-0,59	-0,72	-0,25	-0,47	-0,26	-0,67	-1,76	-0,26	-0,01	-0,89
2008	-0,80	-0,22	-0,40	-0,57	-0,31	-0,05	-0,43	-0,46	-0,78	-0,31	-0,30	-0,40
2009	-0,17	0,00	0,19	-0,53	-0,26	-1,20	-0,56	-1,16	-1,07	-0,69	-0,66	-0,70
2010	-0,71	-1,15	-2,10	-0,36	-0,53	0,38	0,84	0,53	0,66	0,00	-0,19	-0,39
2011	-0,03	-0,84	-0,74	-0,26	-0,06	0,26	0,53	0,12	-0,14	-0,91	0,37	0,73
2012	0,67	-0,30	-0,01	-0,03	-0,39	-0,64	-3,07	-1,66	-1,72	-1,23	-0,15	-0,22
2013	-0,14	-0,02	-1,03	-0,20	-1,02	-0,74	-0,12	0,12	-0,38	-1,12	-1,73	-0,54
2014	-0,05	-0,70	-0,68	-0,85	-0,27	-1,54	-1,08	-1,02	-1,65	-0,29	-0,97	-0,36
2015	-0,63	-0,17	-0,55	-1,23	-1,65	-2,22	-0,99	-1,08	-1,57	-2,60	-0,97	-1,75
2016	-1,35	-2,61	-2,23	-1,44	-0,83	-0,91	-0,85	-0,59	-1,07	-0,74	-0,94	-0,54
2017	-0,19	-0,31	-0,11	-0,37	0,12	-0,20	0,12	-0,88	-0,44	-0,67	-0,68	-0,82
2018	-0,39	-0,18	-0,25	-0,57	-0,40	-0,09	-1,08	-0,17	-0,43	-0,07	-0,10	-0,96
2019	-0,74	-1,19	-0,57	-0,40	-0,94	-0,49	-0,48	-0,43	-0,74	-0,18	-0,35	-0,79
2020	-0,79	-0,14	-0,20	-0,36	-0,70	-0,68	-0,86	-0,32	-0,44	-0,60	-0,06	-0,93

El Haltillo												
	Ene	Feb	mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2021	-1,02	-0,47	-0,45	-0,23	-0,70	-0,70	-0,37	-0,27	-0,78	-0,39	-0,57	-0,79

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

4.5.2.2.3. Intensidad del evento

Los eventos de sequía se presentan cuando el índice reporta valor de SPI menores a -1,0 y termina cuando los valores sobrepasan el valor de -1,0; estos valores del índice (SPI) se refieren a la intensidad del evento. La Organización Meteorológica Mundial establece la siguiente clasificación para los valores de SPI.

Tabla 4.15. Categorización de la intensidad de los eventos de sequía

RANGO	CLASIFICACIÓN	CATEGORÍA DE AMENAZA
>2,0	Extremadamente húmedo	
1,5 a 1,99	Muy húmedo	
1,0 a 1,49	Moderadamente húmedo	
-0,99 a 0,99	Normal o aproximadamente normal	
-1,0 a -1,49	Moderadamente seco	
-1,5 a -1,99	Severamente seco	
<-2	Extremadamente seco	

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022, adaptado de McKee et al, 1993.

4.5.2.2.4. Probabilidad de ocurrencia del evento

La probabilidad de ocurrencia de cada nivel de intensidad se calcula mediante la siguiente formula:

$$p = \frac{m}{n + 1} \quad (11)$$

Donde:

p = probabilidad

m = número de registros de un determinado nivel de intensidad

n = periodo de retorno del m-esimo evento de los n registrados

4.5.2.3. Resultados Obtenidos

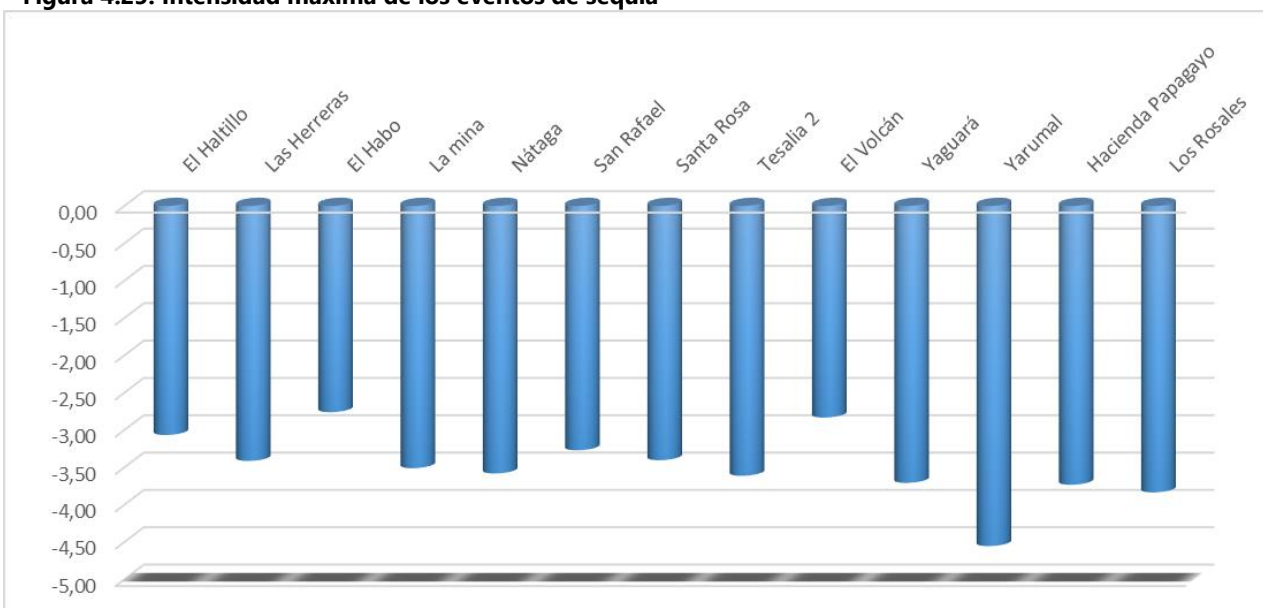
Posterior al procesamiento de la información y el cálculo del SPI de las estaciones El Haltillo, Las Herreras, El Habo, La Mina, Nátaga, San Rafael, Santa Rosa, Tesalia 2, El Volcán, Yaguará, Yarumal, Hacienda Papagayo y Los Rosales; se determina sistemáticamente la intensidad de los eventos de sequía.

4.5.2.3.1. Análisis de intensidad de los eventos de sequía

En todas las series de precipitación empleadas para el análisis del SPI en la cuenca del río Yaguará, se identificaron intensidades máximas desde -2,76 hasta -4,55; correspondiendo el valor máximo de sequía a la estación Yarumal, como se observa en la Figura 4.25.

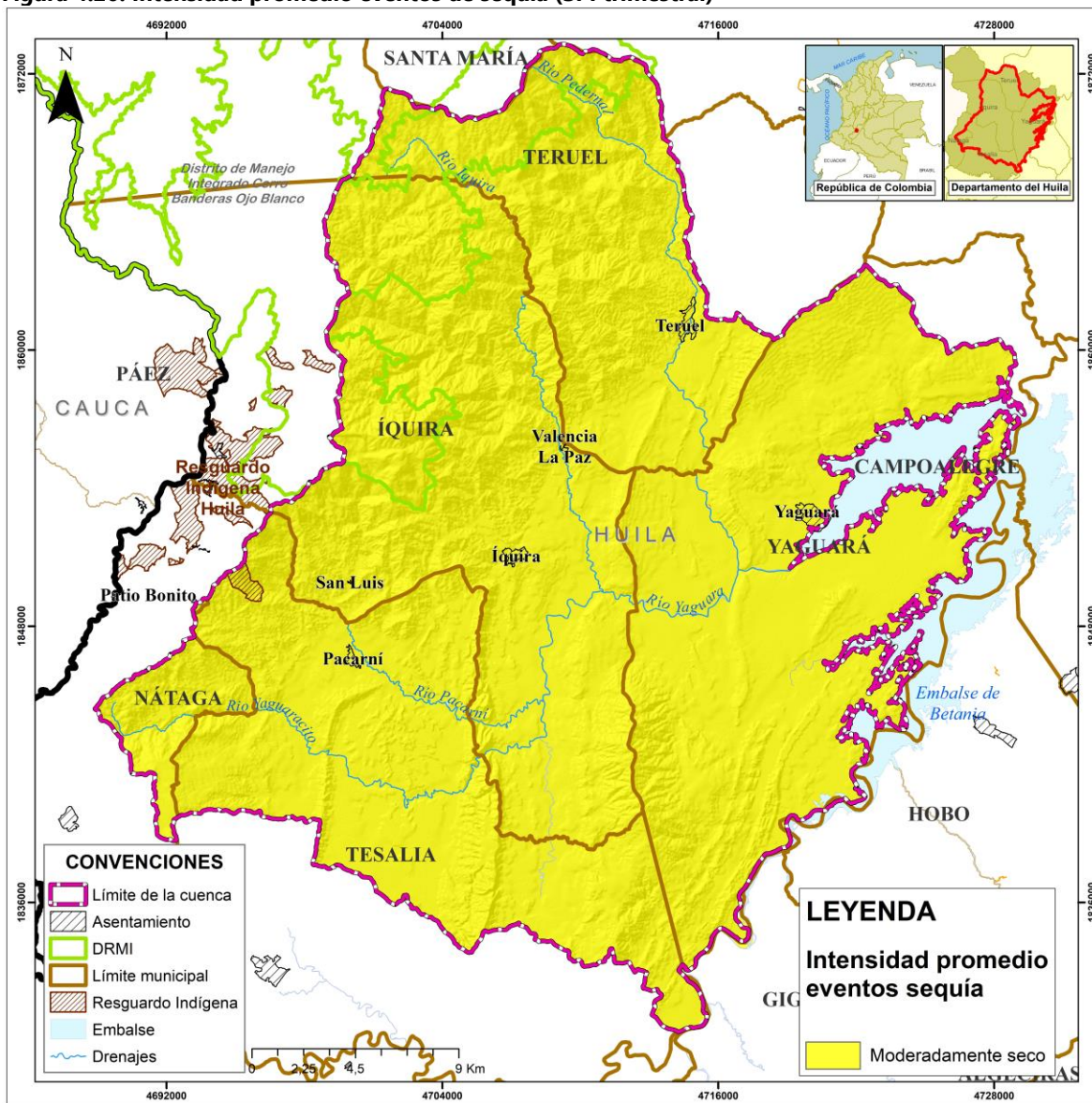
La Figura 4.26 muestra la distribución espacial de la intensidad promedio de la sequía en la cuenca objeto de ordenación; determinada con el promedio de las intensidades ≤ -1 de todo el periodo de registro en cada estación. Como resultado se obtuvo que, la cuenca presenta una intensidad moderadamente seca.

Figura 4.25. Intensidad máxima de los eventos de sequía



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

Figura 4.26. Intensidad promedio eventos de sequía (SPI trimestral)



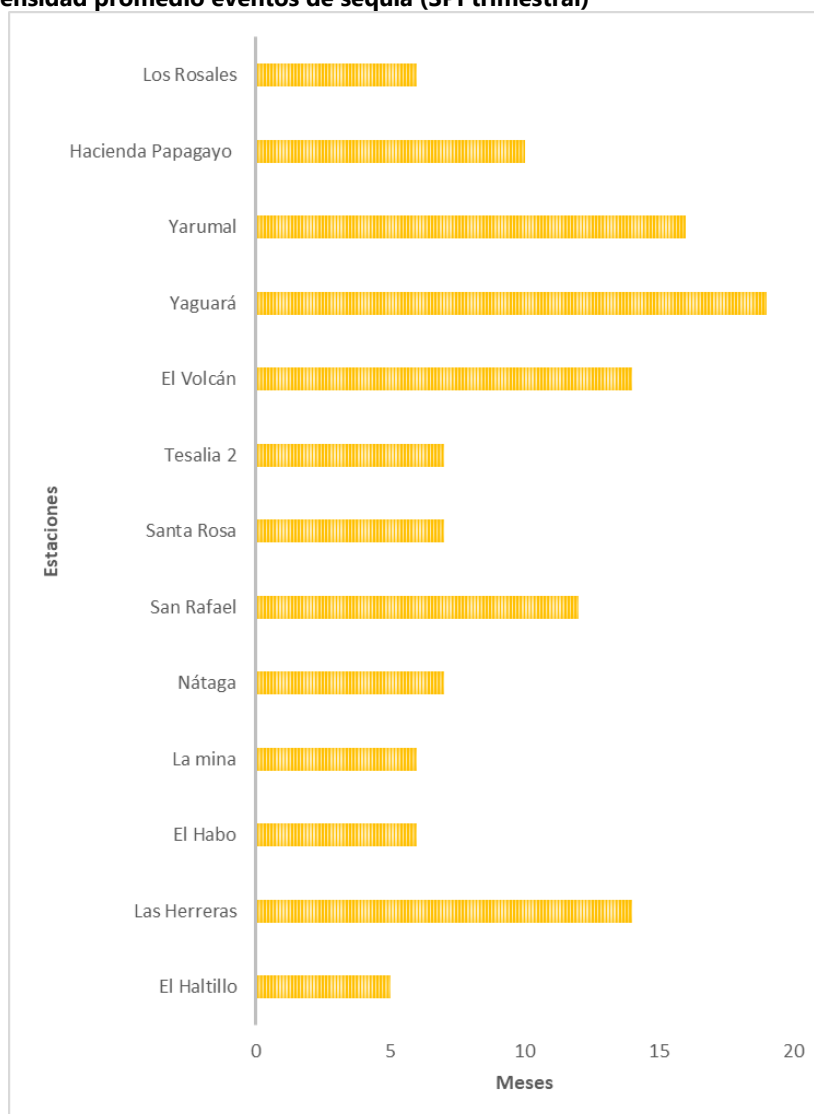
Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

El mapa de intensidad promedio eventos de sequía se presenta en el Anexo/07_cartografia_Tematica/01_Mapas/03_AMENAZA/06_AMENAZA_SQ

4.5.2.3.2. Análisis de la magnitud y duración de los eventos de sequía

Se puede evidenciar en la Figura 4.27 que sobre la cuenca hidrográfica del río Yaguará se han presentado periodos de sequía con duraciones que oscilan entre 5 a 19 meses; alcanzando una magnitud máxima de -49,38, siendo la estación Yaguará, la que registró el periodo más largo y la magnitud máxima de sequía.

Figura 4.27. Intensidad promedio eventos de sequía (SPI trimestral)

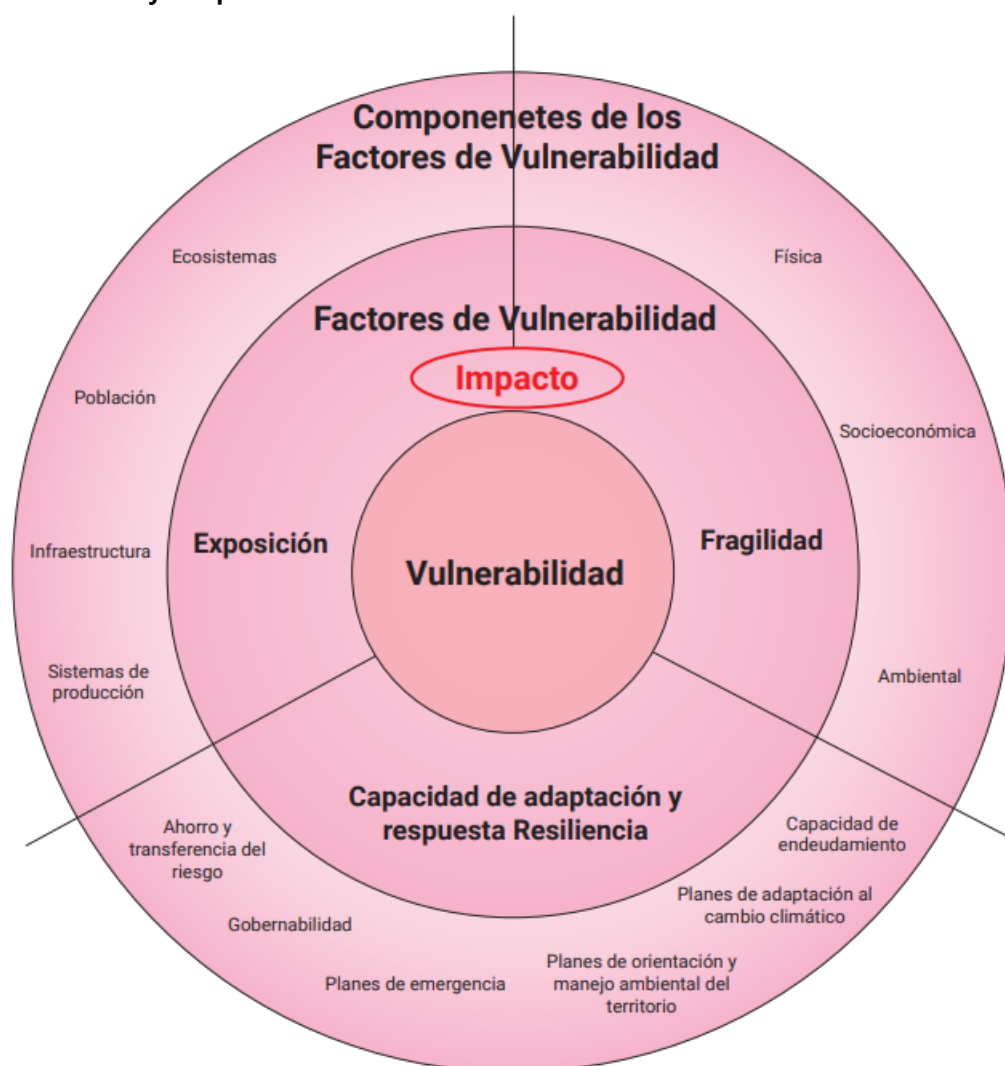


Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

5. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad es la condición determinada por factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales que aumenta la susceptibilidad de una comunidad al impacto de una amenaza (Comunidad Andina, 2018). La vulnerabilidad se compone de tres factores: la exposición ante amenazas, la fragilidad de los elementos expuestos y la capacidad de adaptación o recuperación (Vera, J. y Albarracín, A., 2017).

Figura 5.1. Factores y componentes de la vulnerabilidad



Fuente: Vera, J. y Albarracín, A., 2017, adaptado de Polsky, C., Neff, R. y Yarnal, B., 2007.

Luego de determinar las amenazas que inciden sobre el territorio de la cuenca del río Yaguará, se realiza el análisis de vulnerabilidad siguiendo los lineamientos del protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo del MINAMBIENTE (2014), el cual establece el uso del modelo de índices e indicadores.

El modelo de índices e indicadores integra las dimensiones social, económica y ambiental con la susceptibilidad física de los elementos expuestos a ser afectados por la ocurrencia de un evento, junto a la fragilidad física, social y de resiliencia (Cardona, O. & D., 2001).

- Fragilidad física o exposición, es la condición de susceptibilidad que tiene el asentamiento humano de ser afectado por estar en el área de influencia de los fenómenos peligrosos y por su falta de resistencia física ante los mismos.
- Fragilidad social, es la predisposición que surge como resultado del nivel de marginalidad y segregación social del asentamiento humano y sus condiciones de desventaja y debilidad relativa por factores socioeconómicos.
- Fragilidad de resiliencia, es la que expresa limitaciones de acceso y movilización de recursos del asentamiento humano, su incapacidad de respuesta y sus deficiencias para absorber el impacto.

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

$$Vulnerabilidad = Exposición \times Fragilidad \times Falta de resiliencia \text{ (12)}$$

Que mediante el uso de índices se convierte en la siguiente expresión:

$$Vulnerabilidad = IP * IF / IR \text{ (13)}$$

Donde:

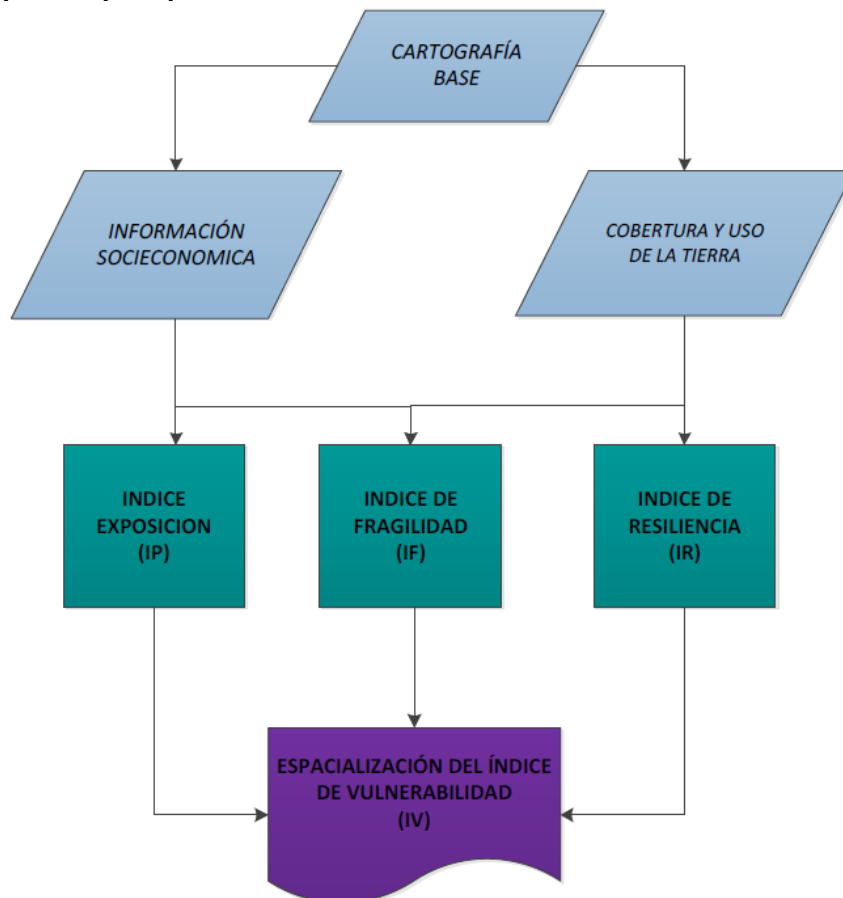
IP = Índice de pérdidas o índice de exposición

IF = Índice de fragilidad

IR = Índice de resiliencia

Los principales procesos organizados por fases para el análisis de la vulnerabilidad en la fase de diagnóstico del POMCA río Yaguará, se presenta en la Figura 5.2.

Figura 5.2. Mapa conceptual para el análisis de la vulnerabilidad en los POMCAS



Fuente: MINAMBIENTE (2014).

5.2. Exposición

La exposición es el inventario de bienes naturales y elementos expuestos que puedan ser afectados por los diferentes eventos amenazantes, se expresa en términos de activos de la población de acuerdo al porcentaje de daño y se calcula mediante el índice de pérdidas (IP), el cual está afectado por los niveles de confianza de la valoración y varía entre 0 y 1 (MINAMBIENTE, 2014).

5.2.1. Metodología

El análisis de la exposición para la cuenca se desarrolla teniendo en cuenta el mapa de Coberturas y uso de la tierra a escala 1:25.000, que contempla los elementos expuestos; este se desarrolla en tres pasos fundamentales:

1. Realizar la zonificación para obtener zonas homogéneas para centros poblados (ZHCP) y zonas homogéneas rurales (ZHR).

2. Asignar a las zonas homogéneas los índices e indicadores que permitan establecer el modelo de exposición del área de estudio.
3. Calcular el Índice de pérdida o daño (IP).

5.2.1.1. Zonas Homogéneas Urbanas (ZHU)

Las zonas homogéneas de centros poblados se determinan con base al mapa de cobertura y uso de la tierra, del cual se extraen los polígonos que definen los centros poblados dentro de la cuenca, asignándole a estos los siguientes atributos:

- Área del polígono (Km²).
- Uso del área, corresponde al obtenido en el mapa de cobertura y uso de Corine Land Cover (residencial, comercial, etc.).
- Densidad promedio de construcciones, se obtiene con la herramienta SIG.

$$DC = \frac{\text{Número de construcciones}}{\text{Km}^2 \text{ de terreno}} \quad (14)$$

- Densidad de población, se calcula para el periodo en el cual se prevé la mayor ocupación.

$$DP = \frac{\text{Número de habitantes}}{\text{Km}^2 \text{ de construcción}} \quad (15)$$

La densidad de población se clasificada en tres rangos de densidad así:

Tabla 5.2. Categorías de densidad poblacional

DENSIDAD DE POBLACIÓN Hab./Km ²	CATEGORÍA
<25	Baja
25 - 75	Media
>75	Alta

Fuente: MINAMBIENTE (2014).

Los atributos mínimos para la definición de las zonas homogéneas de los centros poblados se establecen en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3. Atributos mínimos para la definición de las ZHU

POLÍGONO	ATRIBUTO	UNIDAD
1	Área (A)	Km ²
	Área construida (Ac)	Área construida/Km ²
	Densidad promedio de construcciones (DC)	%
	Tipo de cobertura y uso	Corine Land Cover
	Densidad de población	Habitantes/Km ²
	Zona homogénea centro poblado	ZHCP

Fuente: MINAMBIENTE (2014).

5.2.1.2. Zonas Homogéneas Rurales (ZHR)

Las zonas homogéneas rurales se determinan con base a los diferentes tipos de cultivos, bosques, y densidad de vegetación, esto se hará mediante una reclasificación del mapa de cobertura y uso de la tierra, se extraerá el área de los centros poblados, y posteriormente se le asigna los siguientes atributos:

- Área de la zona.
- Cobertura y uso principal, usando la clasificación nivel 3.
- Relieve: plano, ondulado, montañoso.

Los atributos mínimos para la definición de las zonas homogéneas de las zonas rurales se establecen en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4. Atributos mínimos para la definición de las ZHR

POLÍGONO	ATRIBUTO	UNIDAD
1	Área (A)	Km ²
	Tipo de cobertura y uso	Corine Land Cover
	Tipo de relieve	Plano, ondulado, montañoso
	Zona homogénea rural	ZHR

Fuente: MINAMBIENTE (2014).

5.2.1.3. Índice de Pérdidas o daños (IP)

El índice de pérdida determina el porcentaje de daños de la infraestructura de los centros poblados y de las zonas productivas en áreas rurales pertenecientes a la cuenca del río Yaguará; para calcular este índice se requiere la estimación del indicador económico y de desarrollo. El objetivo del IP es obtener los valores de reposición del bien cuando se presente eventos de amenaza.

El indicador económico y de desarrollo de la cuenca se obtiene para la fecha estimada o escenario de amenaza definido previamente, se puede obtener el precio por metro cuadrado de construcción en cada zona, mediante los indicadores de valores per cápita o normalizados con el PIB (MINAMBIENTE, 2014).

5.2.1.3.1. IP para la zona urbana

El índice de pérdidas estimadas para los centros poblados corresponde a la infraestructura ubicada dentro de la cuenca, la cual debe indicar el tipo de infraestructura y el valor total de reposición.

Los diferentes tipos de infraestructura considerada para determinar el IP son:

- Red vial primaria y secundaria.
- Puentes en la red vial primaria y secundaria.
- Infraestructura de servicios (sectores de generación de energía, distribución de energía, comunicaciones e hidrocarburos).

Se realiza el análisis de cada zona homogénea con base a la densidad de habitantes por Km² previamente calculado, el cual sirve como índice de referencia para estimar los tamaños de diferentes componentes de infraestructura para obtener el IVE o índice de precios por Km² de la zona. Los indicadores deben estar compuestos por:

1. Área total construida en la zona

$$\text{Área total construida en la zona} = \left(\frac{\text{área ocupada promedio}}{\text{Km}^2} \right) * \text{área del polígono} \textbf{(16)}$$

2. Valor total de reposición

$$V_{uso} = CM * IVE \textbf{(17)}$$

Donde:

Vuso: valor expuesto de cada uso o valor total de reposición (US\$)

CM: cantidad de área construida para uso (Km²)

IVE: índice de precios unitarios por Km² promedio de la zona (US\$/ Km²)

3. Ocupación

$$O_{uso} = CM * IH * PO \textbf{(18)}$$

Donde:

Ouso: cantidad de personas ocupando un uso, ocupación (Hab)

CM: cantidad de área construida para cada uso (Km²)

IH: índice de ocupación para cada uso (Hab/Km²)

PO: porcentaje de ocupación de cada uso y para cada escenario (día o noche). Si no se tiene este dato se puede definir este valor como uno pensando en una ocupación total ya sea en el día o en la noche (%)

La Tabla 5.5 presenta la información requerida en la obtención de los indicadores.

Tabla 5.5. Atributos de los indicadores para el modelo de exposición para centros poblados

POLÍGONO	ATRIBUTO	UNIDAD
1	Área (A)	Km ²
	Tipo de cobertura y uso	Corine Land Cover
	CM, Cantidad de área construida para cada uso	Tipo de uso /Km ²
	IVE, Índice de precios unitarios por Km ² promedio de la zona.	US\$/ Km ²
	IH, Índice de ocupación para cada uso	Habitantes/ Km ²
	PO, porcentaje de ocupación de cada uso y para cada escenario	%
	Vuso, valor expuesto de cada uso	US\$
	Ouso, cantidad de personas ocupando un uso	Habitantes

Fuente: MINAMBIENTE (2014).

5.2.1.3.2. IP para la zona rural

El índice de pérdidas estimada para el área rural se determina para las zonas productivas y las áreas estratégicas generadoras de servicios ambientales, al cual se le asigna costos mediante ponderación de valores obtenidos por medio de los índices de precio por Ha estimados para Colombia, multiplicando por el área del polígono calculado.

1. Área total zonas productivas (agrícolas, ganaderas, etc.) o áreas estratégicas generadoras de servicios ambientales

$$\text{Área total} = \frac{\text{área ocupada promedio por tipo de uso}}{\text{Ha}} * \text{área del polígono (19)}$$

2. Valor total de reposición

$$V_{uso} = CM * IVE \text{ (20)}$$

Donde:

V_{uso} : valor expuesto de cada uso o valor total de reposición (US\$)

CM : cantidad de área dedicada a cada uso (Ha)

IVE : índice de precios unitarios por Ha promedio de la zona (US\$/Ha)

La Tabla 5.6 presenta la información requerida en la obtención de los indicadores.

Tabla 5.6. Atributos de los indicadores para el modelo de exposición para zona rural

POLÍGONO	ATRIBUTO	UNIDAD
1	Área (A)	Ha
	Tipo de cobertura y uso	Corine Land Cover
	CM, Cantidad de área construida para cada uso	Ha / Tipo de uso
	IVE, Índice de precios unitarios por Km ² promedio de la zona.	US\$/ Ha
	Vuso, valor expuesto de cada uso	US\$

Fuente: MINAMBIENTE (2014).

5.2.1.3.3. Cálculo del índice de pérdidas

El porcentaje de daño se calcula con la siguiente ecuación:

$$IP = \frac{(Vi - Vf)}{Vi} \text{ (21)}$$

Donde:

Vi : Valor inicial del bien (antes del evento)

Vf : Valor final del bien (después del evento o valor de reposición)

5.2.2. Resultados Obtenidos

5.2.2.1. Zonas Homogéneas Urbanas (ZHU)

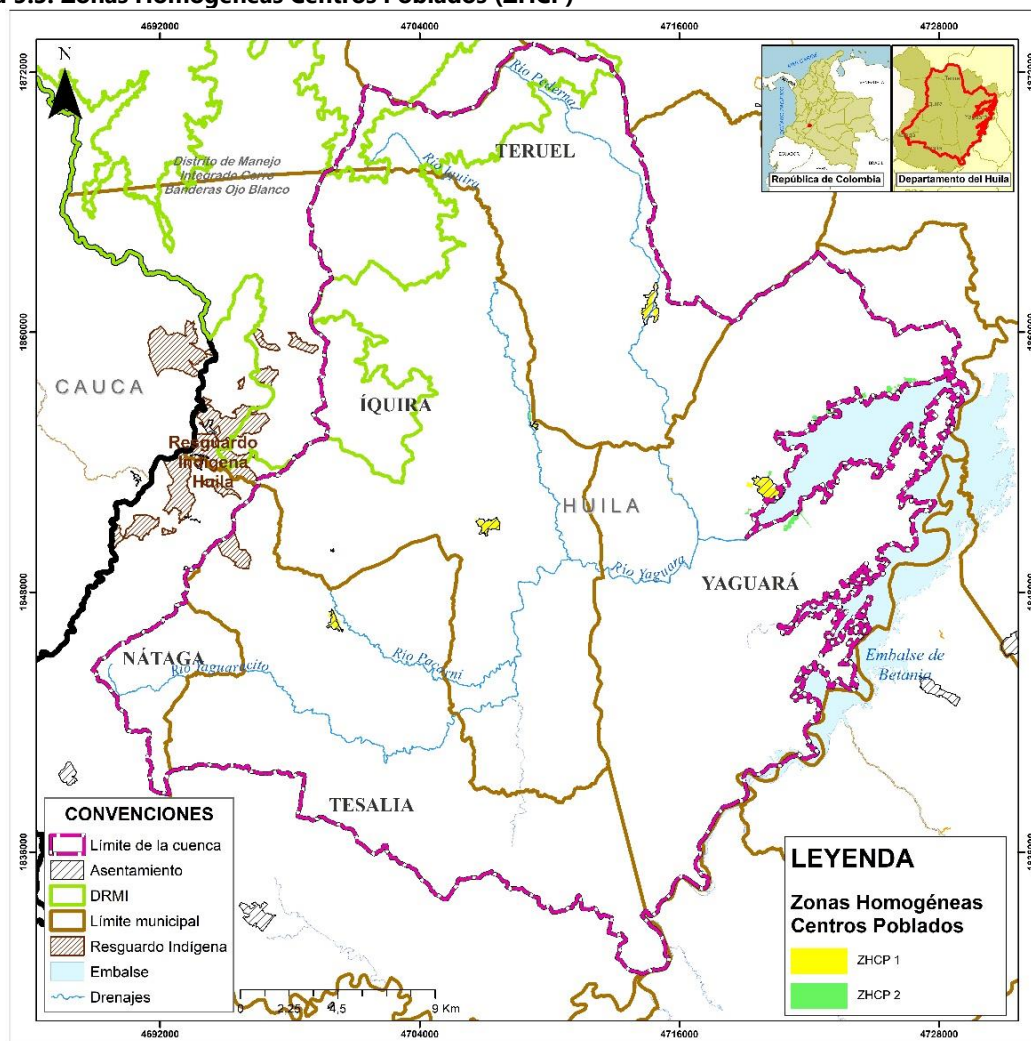
Tras analizar las zonas homogéneas urbanas, se evidencia en la Tabla 5.7 que el 65,48% de la cuenca del río Yaguará presenta áreas con coberturas de Tejido Urbano Continuo – ZHU 1, correspondiente a los asentamientos de las zonas urbanas de los municipios, abarcando un área de 202 ha. El 34,52% restante de la cuenca, se compone de áreas con coberturas de Tejido Urbano Discontinuo – ZHU 2.

Tabla 5.7. Atributos de las Zonas Homogéneas Centros Poblados

ZHCP	TIPO DE COBERTURA	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
ZHU 1	Tejido urbano continuo	202.06	65,48
ZHU 2	Tejido urbano discontinuo	106.51	34,52
TOTAL		308.57	100

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

Figura 5.3. Zonas Homogéneas Centros Poblados (ZHCP)



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

5.2.2.2. Zonas Homogéneas Rurales (ZHR)

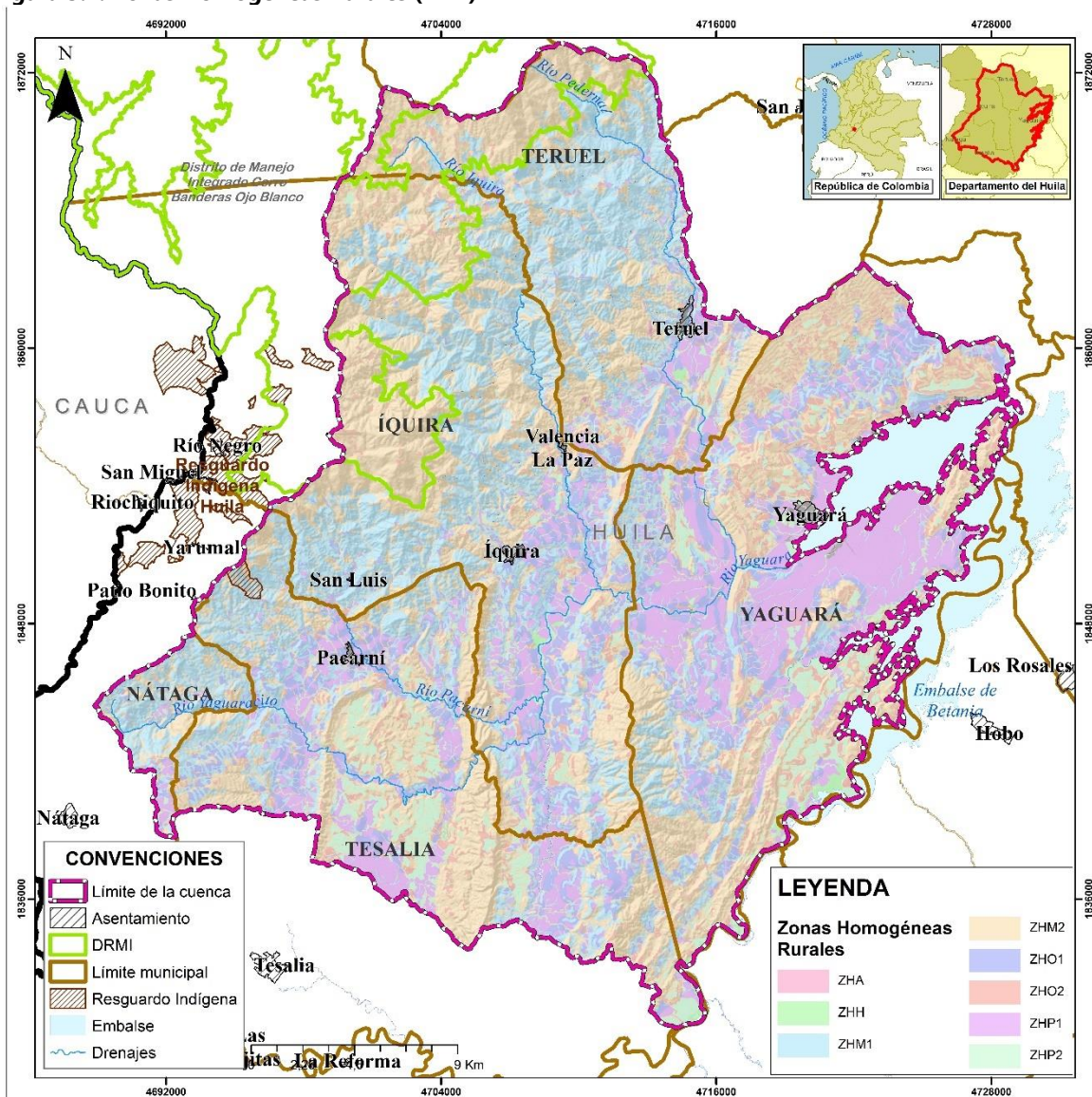
Posterior al análisis de zonas homogéneas rurales, se refleja en la Tabla 5.8 que el 66,34% del área de la cuenca se caracteriza por un relieve montañoso y una cobertura asociada a territorios agrícolas, bosques y áreas seminaturales. Le sigue en importancia las áreas planas con cobertura de territorios agrícolas, bosques y áreas seminaturales, representando un 28% de la cuenca. El 14,67% restante, corresponde a áreas con relieve ondulado y coberturas de territorios agrícolas, bosques y áreas seminaturales.

Tabla 5.8. Atributos de las Zonas Homogéneas Centros Poblados

ZHR	TIPO DE COBERTURA	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
ZHA	Coberturas en las cuales se desarrollan actividades industriales, comerciales, extracción minera, instalaciones recreativas, obras hidráulicas, y red vial, ferroviaria y terrenos asociados.	440,00	0,49
ZHH	Cuerpos de agua.	754,00	0,85
ZHM 1	Coberturas asociadas a territorios agrícolas, ubicadas en pendientes topográficas superiores a 25%.	24.729,56	27,73
ZHM 2	Coberturas asociadas a bosques y áreas seminaturales, ubicadas en pendientes topográficas superiores a 25%.	34.428,01	38,61
ZHO 1	Coberturas asociadas a territorios agrícolas, ubicadas en pendientes topográficas entre 7% y 25%.	7.899,86	8,86
ZHO 2	Coberturas asociadas a bosques y áreas seminaturales, ubicadas en pendientes topográficas entre 7% y 25%.	5.180,73	5,81
ZHP 1	Coberturas asociadas a territorios agrícolas, ubicadas en pendientes topográficas entre 0% y 7%.	10.557,30	11,84
ZHP 2	Coberturas asociadas a bosques y áreas seminaturales, ubicadas en pendientes topográficas entre 0% y 7%.	5.178,58	5,81
TOTAL		89.168,04	100

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

Figura 5.4. Zonas Homogéneas Rurales (ZHR)



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

5.2.2.3. Índice de Pérdida o Daños (IP)

Se determinó el índice de pérdida o daño para cada zona homogénea, como se observa en la Tabla 5.9, considerando la cantidad de área construida para cada uso - CM, el valor expuesto de cada uso - IVE, y el valor expuesto de cada uso - Vuso. El índice de pérdida o daños de la cuenca hidrográfica del río Yaguará oscila entre 0 hasta 1; se observan niveles de pérdidas o daños más significativos en las zonas asociadas a tejidos urbanos continuos y discontinuos, seguido de zonas con coberturas de bosques y áreas seminaturales, ubicadas en pendientes topográficas superiores a 25%; zonas con coberturas asociadas a bosques y áreas seminaturales, ubicadas entre pendientes de 7% a 25%; y zonas con coberturas

asociadas a bosques y áreas seminaturales, ubicadas en pendientes topográficas entre 0% y 7%.

Tabla 5.9. Índice de Pérdida o Daño por zonas homogénea

ZH	IVE	CM_USO	V_USO	IP
ZHA	5385255	440,00	850665091	0,59
ZHH	0	754,00	0	0
ZHM 1	75863735	24729,56	1,32465E+11	0,40
ZHM 2	45189490	34428,01	1,0431E+11	0,76
ZHO 1	75863735	7899,86	3,6074E+10	0,32
ZHO 2	41639490	5180,73	1,396E+10	0,70
ZHP 1	75863735	10557,30	5,2E+10	0,38
ZHP 2	45189490	5178,58	1,3234E+10	0,52
ZHU 2	1859115	106,51	198007818	0,97
ZHU 1	1859115	202,06	375658100	1,00

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

El índice por pérdidas o daños fue consolidado y definido en tres categorías con el objetivo de llevar a cabo un análisis espacial (Figura 5.5), las categorías fueron: alta para valores IP mayores a 0,75; media para valores IP entre 0,50 y 0,75; y baja para valores IP menores a 0,50.

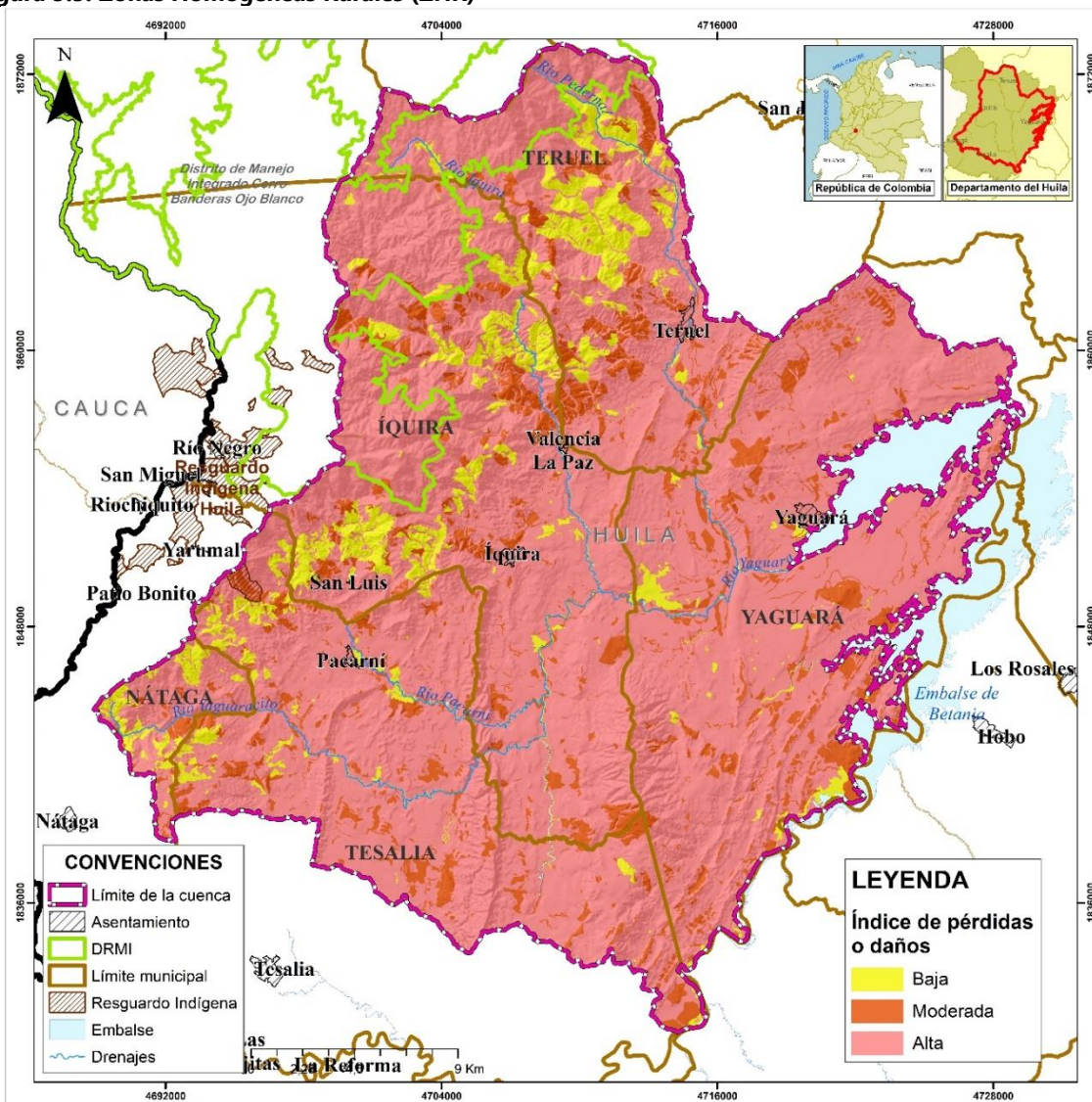
Tabla 5.10. Índice de Pérdida o Daños (IP)

CATEGORÍA	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
Alta	72.594,73	81,13
Moderada	9.960,01	11,13
Baja	6.921,87	7,74
TOTAL	89.476,61	100

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

La cuenca hidrográfica está predominada por un índice alto de pérdidas o daños, abarcando el 81,13%, comprendiendo un área de 72.595 ha. Seguido por la categoría moderada, representando el 11,13% (9.960 ha) del área de la cuenca objeto de ordenación, y la categoría baja, correspondiente al 7,74% (6.922 ha).

Figura 5.5. Zonas Homogéneas Rurales (ZHR)



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

5.3. Fragilidad

La fragilidad se refiere a las condiciones que ponen en desventaja o debilidad a la estructura social de una comunidad frente a las adversidades que presentan los eventos (MINAMBIENTE, 2014).

El análisis del índice de fragilidad se efectúa en las zonas críticas de la cuenca establecidas anteriormente, y se divide en tres tipos:

1. Fragilidad física.
2. Fragilidad socio-cultural.

3. Fragilidad ecosistémica.

5.3.1. Metodología

El índice de fragilidad es determinado por el promedio de la fragilidad física, sociocultural y ecosistémica. A continuación, se describe la metodología para determinar cada tipo de fragilidad.

5.3.1.1. Fragilidad física (Ff)

La fragilidad física es la condición de susceptibilidad de los asentamientos humanos de ser afectados al estar ubicados en el área de influencia de los eventos, teniendo en cuenta que los elementos expuestos no cuentan con la resistencia adecuada para soportar las adversidades.

Este índice oscila entre los valores de 0 a 1, esta escala es establecida por el protocolo del MINAMBIENTE como se observa en la Tabla 5.11, y la calificación dependerá de la zona de amenaza (alta, media o baja) en la que estén expuestos los elementos.

Tabla 5.11. Índice de fragilidad física

NIVEL DE AMENAZA	ÍNDICE
Alta	1,0
Media	0,5
Baja	0,0

Fuente: MINAMBIENTE (2014).

5.3.1.2. Fragilidad socio-cultural (Fsc)

La fragilidad sociocultural es la predisposición que surge como resultado de nivel de marginalidad y segregación social del asentamiento humano, junto a las desventajas y debilidades de los factores que lo componen.

Para determinar la fragilidad sociocultural, el protocolo del MINAMBIENTE adopta la metodología de evaluación de la vulnerabilidad presentada por la Universidad Nacional (2013), siendo la sumatoria entre el índice de calidad de vida (ICV) y el índice de fragilidad cultural.

$$Fsc = ICV + Fc \quad (22)$$

Donde:

Fsc = Fragilidad socio-cultural

ICV = Índice de calidad de vida

Fc = Índice de fragilidad cultural

El índice de calidad de vida – ICV se calcula con base a la información disponible de marginalidad de los hogares urbanos y rurales asentados en la cuenca; esta información se obtendrá del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y el Sistema de

Información Geográfica para la Planeación y el Ordenamiento Territorial Nacional (SIGOT). Los valores del índice variaran entre 0 y 0,5 (Tabla 5.12).

Tabla 5.12. Categorización del índice de calidad de vida

ICV	VALOR	CATEGORÍA
> 80	0,1	Baja
67 - 80	0,25	Media
< 67	0,5	Alta

Fuente: MINAMBIENTE (2014).

El índice de fragilidad cultural – Fc se determinará por el experto calificando las áreas de 0 a 0,5 (Tabla 5.13), según este conformada la cuenca, si existen áreas declaradas como patrimonio natural o áreas apropiadas para el desarrollo de actividades de aprovechamiento del espacio público o de fuentes de subsistencia de comunidades, este índice se apoya del mapa de coberturas y uso de la tierra.

Tabla 5.13. Categorización del índice de fragilidad cultural

ÁREA DE DIMENSIÓN CULTURAL	VALOR	CATEGORÍA
Área A	0,0	Baja
Área B	0,25	Media
Área C	0,5	Alta

Fuente: MINAMBIENTE (2014).

5.3.1.3. Fragilidad ecosistémica (Fe)

La fragilidad ecosistémica es la condición de susceptibilidad de las áreas protegidas, áreas que prestan servicios ambientales o áreas que prestan servicios para satisfacer las necesidades básicas a las comunidades (acceso al agua, energía y aire) en la cuenca, que se encuentran sobre áreas clasificadas con amenaza alta y media.

El protocolo del MINAMBIENTE adoptó la categorización del índice de la UNAL (2013), estableciendo valores que varían entre 0 y 1 (Tabla 5.14). El valor más alto (1) corresponderá al tipo de cobertura que esté localizada en áreas protegidas; y cuando la cobertura no se encuentra dentro del área protegida, la categorización estará a juicio de los expertos del POMCA.

Tabla 5.14. Categorización del índice de fragilidad de ecosistemas estratégicos

ÁREA Y ECOSISTEMA ESTRATÉGICO	VALOR	CATEGORÍA
Satisfacción de necesidades básicas y equilibrio natural	1,00	Alta
Productividad y equilibrio natural	0,75	Media
Productividad	0,30	Baja
No constituye un área o ecosistema estratégico en la cuenca	0,00	Ninguna

Fuente: MINAMBIENTE (2014).

5.3.1.4. Índice de fragilidad

El índice de fragilidad es el resultado promedio de los valores resultantes de los tres tipos de fragilidad, como se muestra en la ecuación (22).

$$IF = \frac{\text{fragilidad física} + \text{fragilidad socio – cultural} + \text{fragilidad ecosistémica}}{3} \quad (23)$$

Posterior al cálculo del IF, el resultado se categoriza con los valores establecidos por el protocolo, como se observa en la Tabla 5.15.

Tabla 5.15. Indicador de fragilidad

VALOR	CATEGORÍA
0,75 – 1	Alta
0,5 – 0,75	Media
0 – 0,5	Baja

Fuente: MINAMBIENTE (2014).

5.3.2. Resultados Obtenidos

5.3.2.1. Fragilidad física

La fragilidad física corresponde al grado de exposición de los elementos expuestos (Viviendas, centros educativos, hospitales, infraestructura vial, cultivos y/o pastos) frente a los fenómenos amenazantes evaluados en la cuenca del río Yaguará. Esta clasificación está acorde con las categorías de amenaza exhibidas en el territorio, tal como se muestra a continuación:

Figura 5.6. Fragilidad física por incendios de la cobertura vegetal



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

Figura 5.7. Fragilidad física por movimientos en masa



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

Figura 5.8. Fragilidad física por inundaciones



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

Figura 5.9. Fragilidad física por avenidas torrenciales



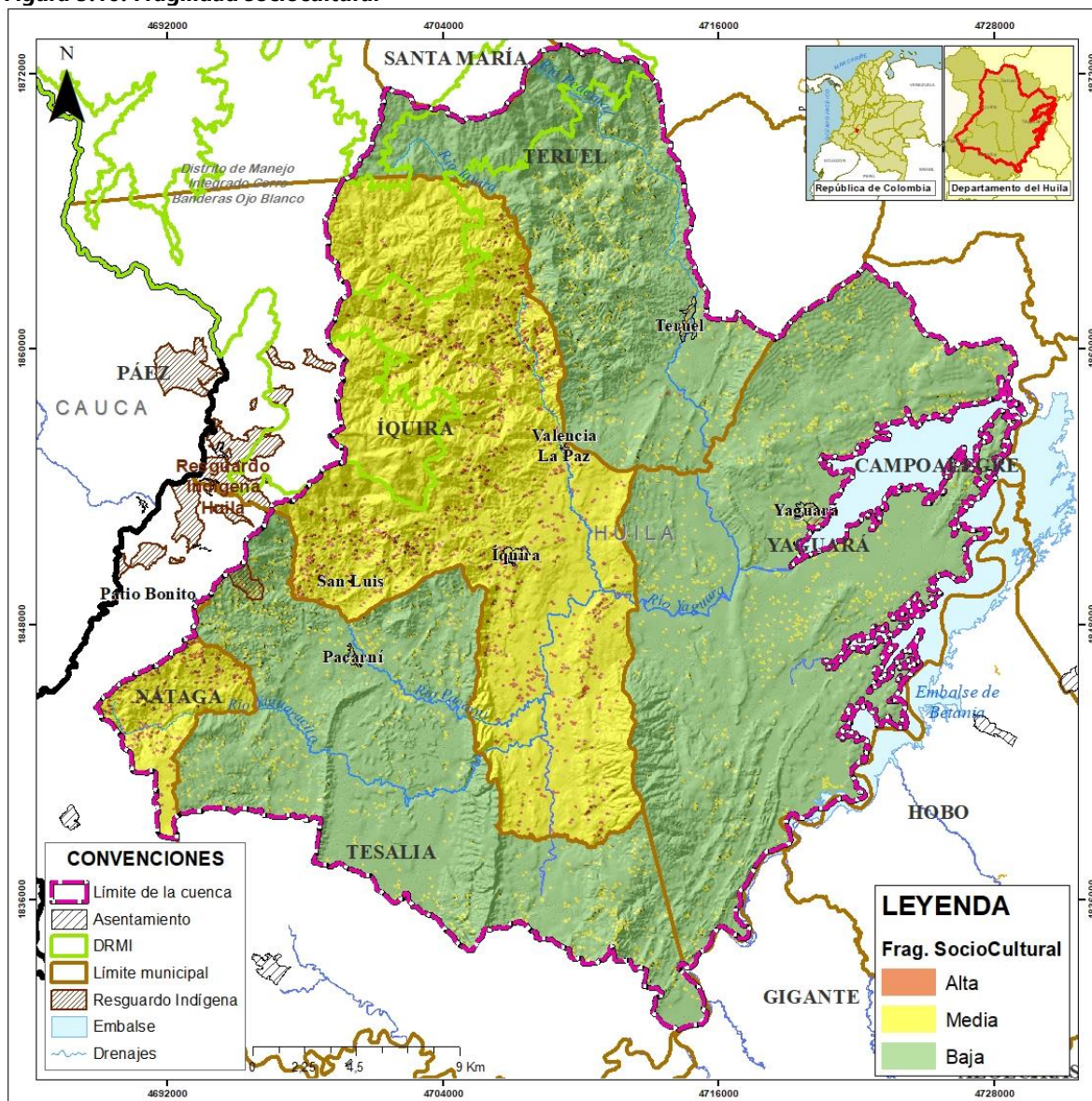
Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

5.3.2.2. Fragilidad socio-cultural

La fragilidad social se determinó a partir del índice de calidad de vida reportado para cada uno de los municipios de la jurisdicción del departamento del Huila. Para la fragilidad cultural se consideraron los lugares de importancia para la comunidad, tales como: sitios de interés, centros educativos, bocatamos, tanques para acueducto, áreas turísticas y centros religiosos.

En la siguiente figura se representa la fragilidad sociocultural para la cuenca:

Figura 5.10. Fragilidad sociocultural

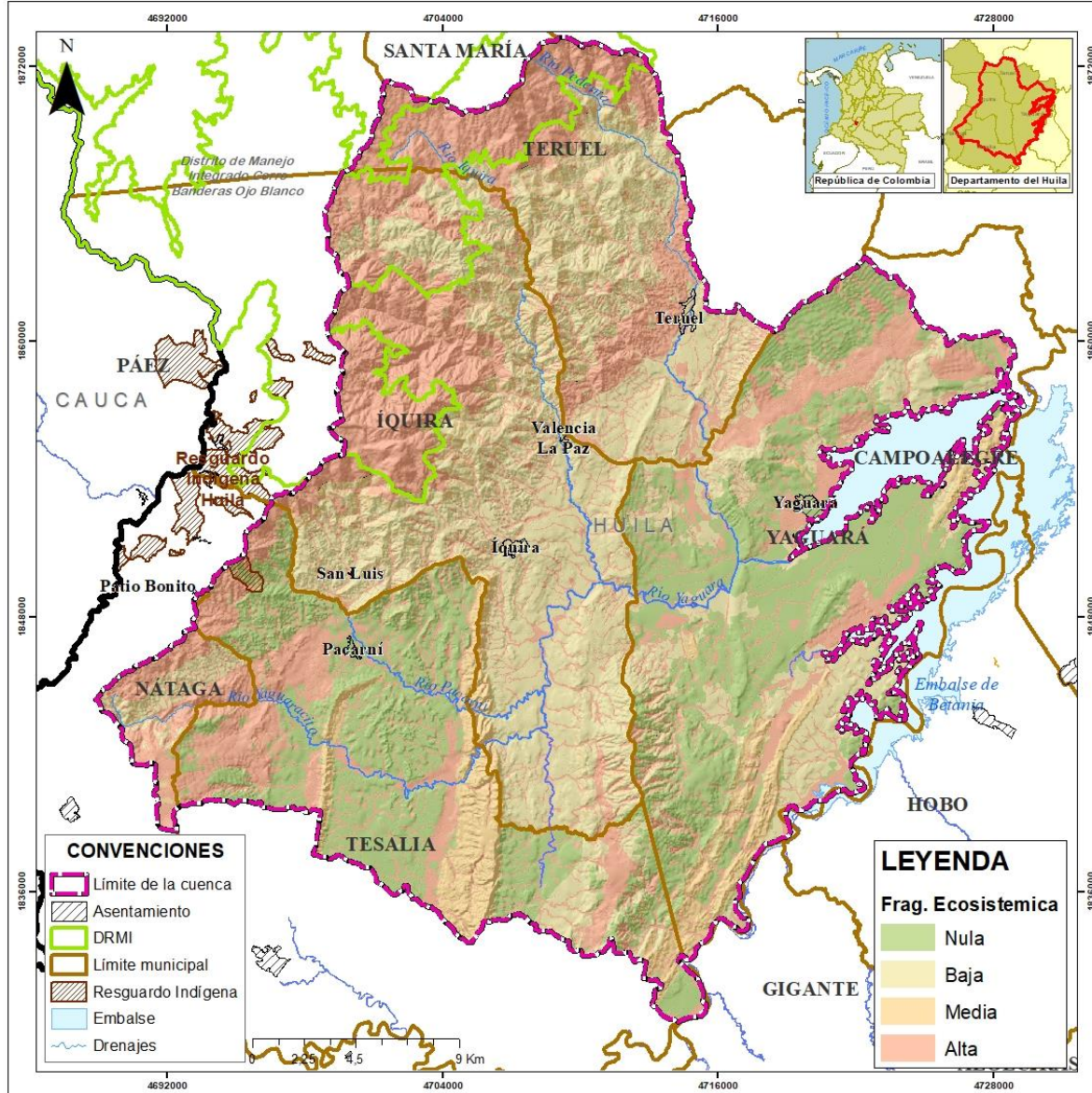


Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

5.3.2.3. Fragilidad ecosistémica

De acuerdo con los ecosistemas estratégicos identificados en el volumen 1, del presente documento de diagnóstico, se evaluaron cada una de las áreas protegidas según su importancia para la provisión de bienes y servicios ambientales a la comunidad y el grado de afectación ante la ocurrencia de un evento amenazante. En la Figura 5.11, se observa la categorización de la fragilidad ecosistémica.

Figura 5.11. Fragilidad ecosistémica.

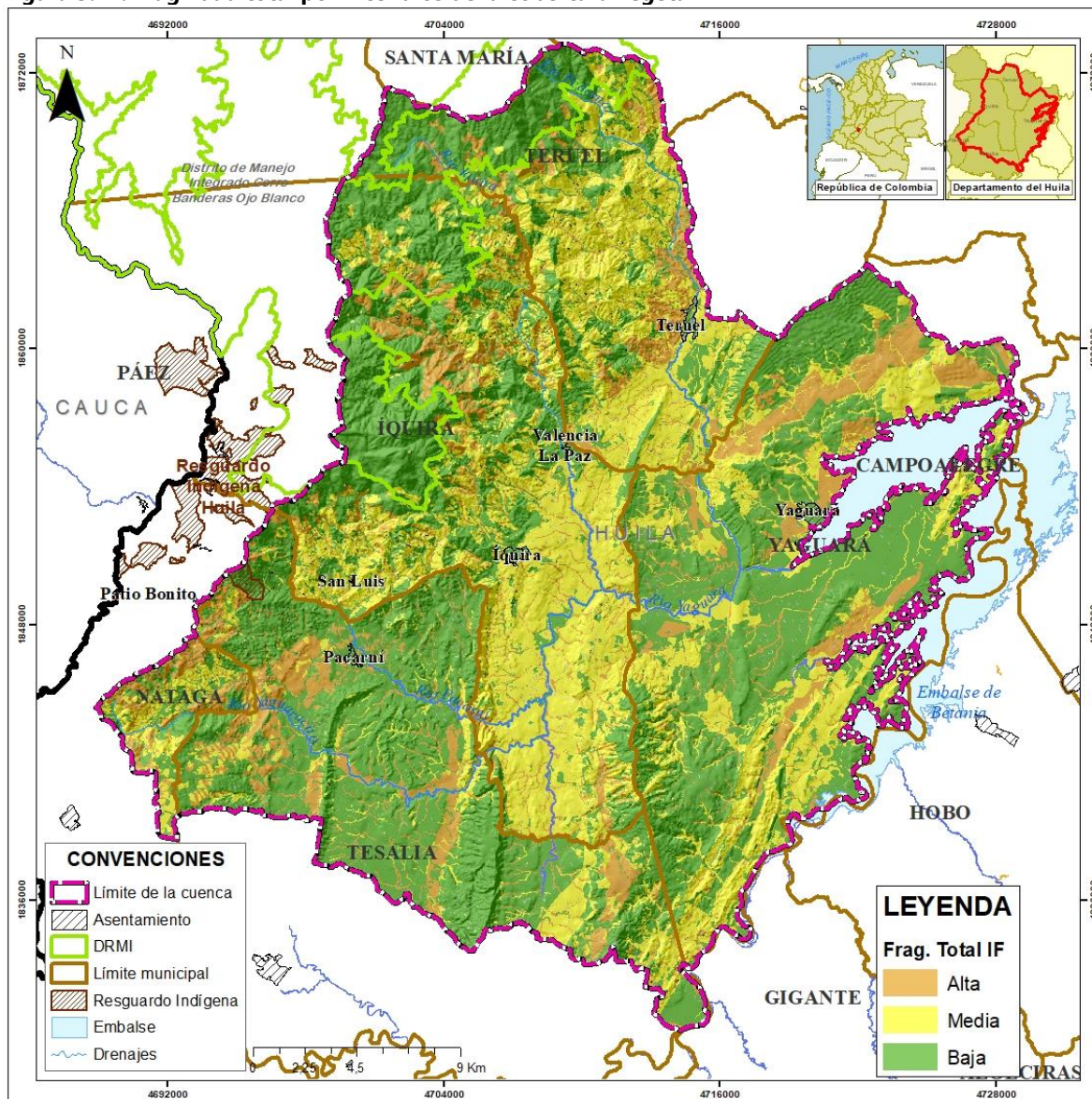


Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

5.3.2.4. Fragilidad total

Una vez determinada cada una de las fragilidades se estimó la fragilidad total por tipo de amenaza, tal como se exhibe a continuación:

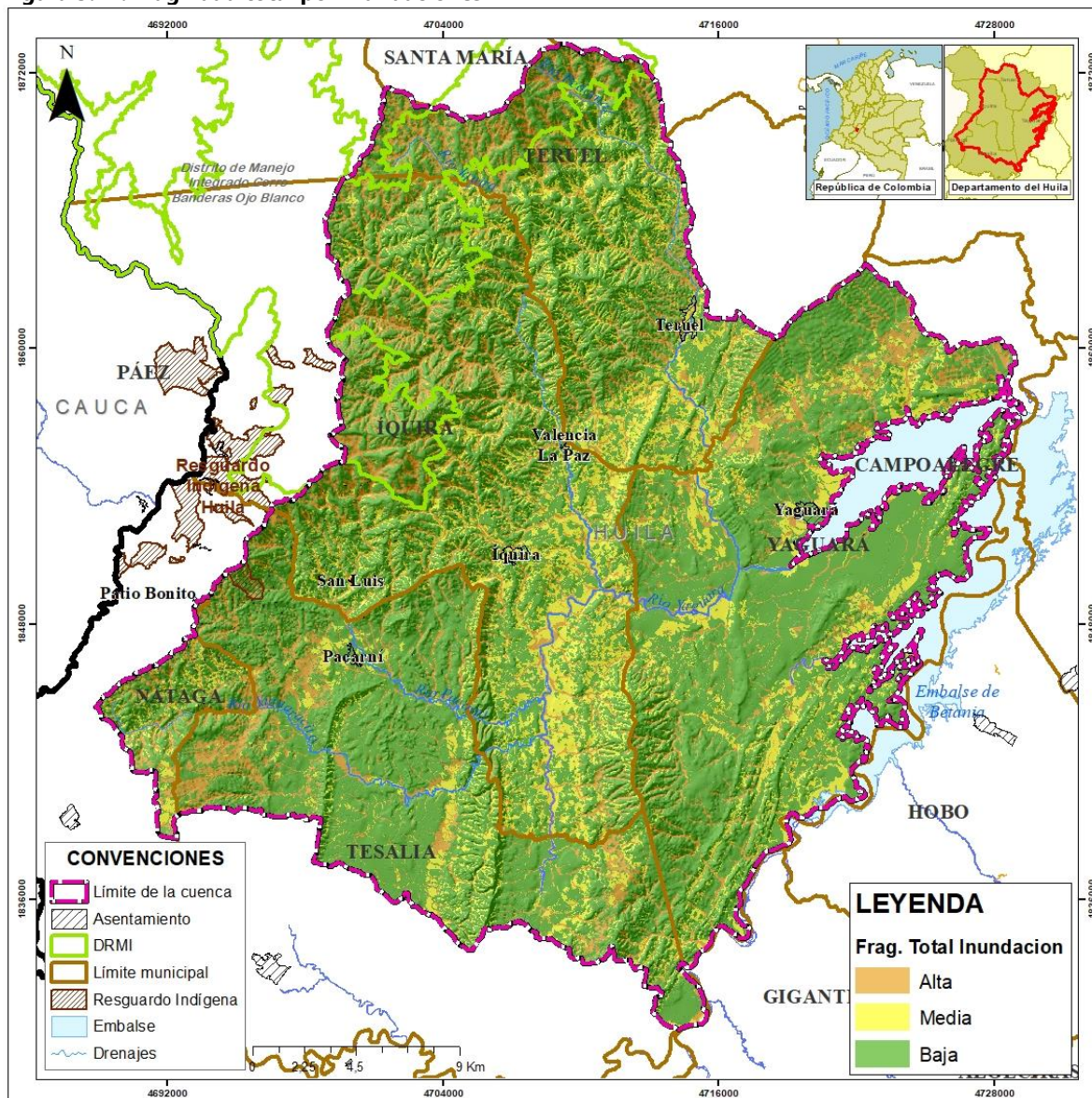
Figura 5.12. Fragilidad total por incendios de la cobertura vegetal



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

Carrera 51B N° 82 - 254, Piso 2, Oficina 26,
C.C. Bahía, Barranquilla D.E.I.P.
Correo electrónico: yaguara@ecocialt.com

Figura 5.14. Fragilidad total por inundaciones



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

Figura 5.15. Fragilidad total por avenidas torrenciales



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

5.4. Resiliencia

La resiliencia se refiere a la capacidad que tiene una comunidad en reaccionar con efectividad y rapidez a los efectos ocasionados por los eventos de amenaza sobre las actividades productivas y la infraestructura estratégica como de transporte y servicios públicos. De igual manera, la resiliencia mide la capacidad de absorber esos impactos y la recuperación a corto, mediano y largo plazo.

5.4.1. Metodología

La evaluación de la resiliencia de la cuenca del río Yaguará, se categoriza de acuerdo con los términos establecidos por el protocolo del MINAMBIENTE (2014), ver Tabla 5.16.

Tabla 5.16. Indicador de la falta de resiliencia

FALTA DE RESILIENCIA ECONÓMICA	VALOR	CATEGORÍA
Se localizan las más importantes actividades productivas para el desarrollo económico de la región y/o hay presencia de infraestructura estratégica o vital. Hay destrucción total del medio ambiente físico	1,00	Muy alta
Se desarrollan algunas actividades económicas y se localiza infraestructura estratégica. Daños ambientales muy grandes y difíciles de reparar.	0,75	Alta
Pocas actividades productivas o de servicios. Pérdidas ambientales serias pero reparables.	0,50	Media
Pocas actividades productivas o de servicios locales. Pérdidas ambientales locales.	0,25	Baja
No se desarrollan actividades productivas y no hay infraestructura. Elementos ambientales intactos.	0,0	Cero

Fuente: MINAMBIENTE (2014).

5.4.2. Resultados Obtenidos

La categoría media correspondiente a la resiliencia económica presenta una mayor superficie respecto a las demás categorías, abarcando el 58% del área de la cuenca hidrográfica río Yaguará, debido a que se desarrollan pocas actividades productivas como áreas agrícolas heterogéneas, pastos, bosques, cuerpos de agua y áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva. Seguido de la resiliencia económica baja, comprendiendo el 32% del área (28.889 ha), donde se presentan actividades productivas de pastos limpios, arbolados y enmalezados, y áreas agrícolas heterogéneas como mosaicos de pastos y cultivos.

La categoría alta ocupa el 6,92% de la cuenca objeto de ordenación, hay presencia de cultivos transitorios, cultivos permanentes y áreas heterogéneas. En menor proporción, el índice de resiliencia - muy alta – abarca el 0,75%, en donde se desarrollan zonas urbanizadas de tejido urbano continuo y discontinuo, actividades industriales, obras hidráulicas, redes viales e instalaciones recreativas.

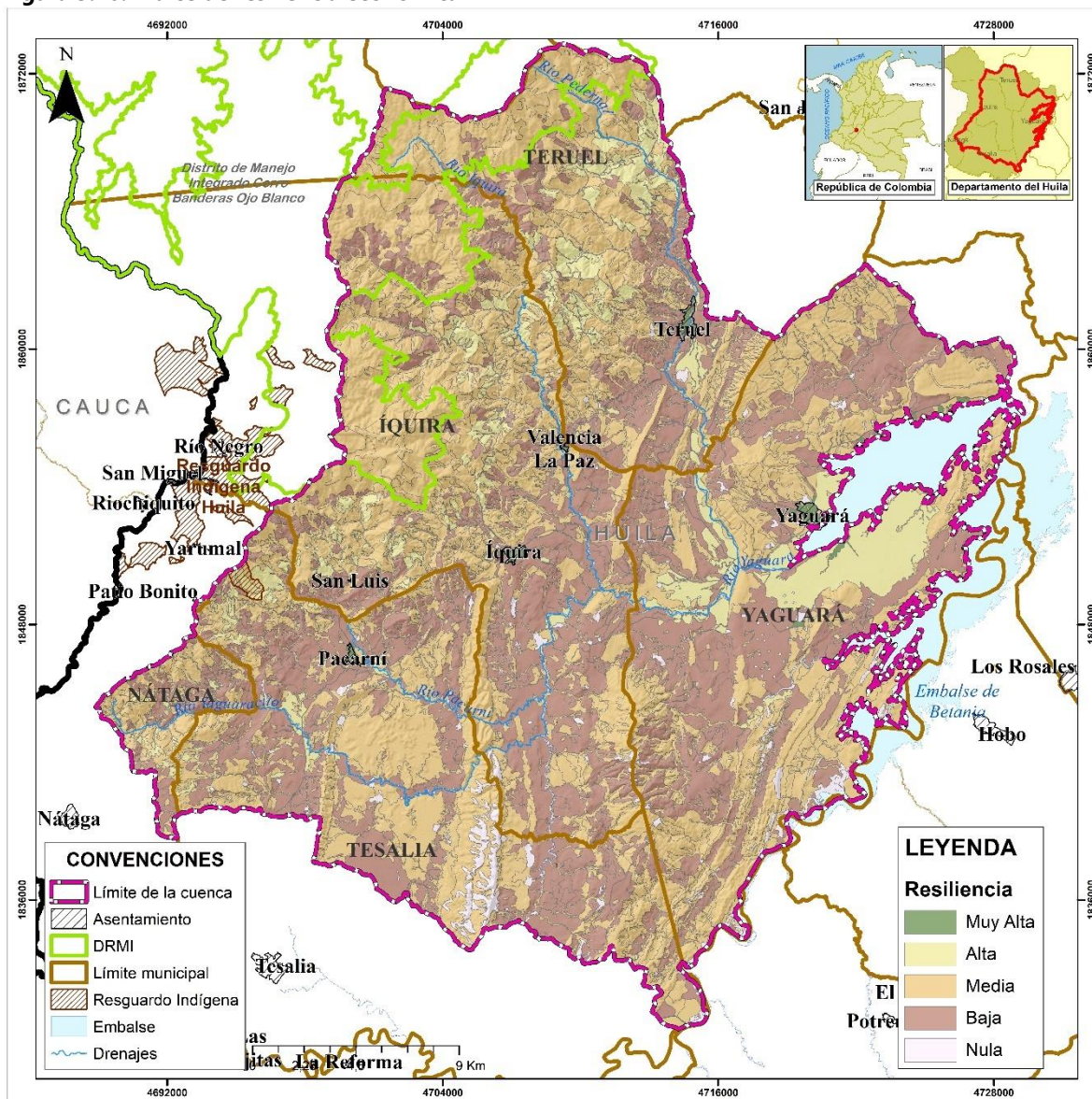
La falta de resiliencia comprende el 2,50% del área de la cuenca, correspondiente a zonas de extracción minera y escombrera, áreas agrícolas heterogéneas como el mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, bosques, áreas húmedas continentales, aguas continentales y áreas abiertas, sin o con poca vegetación.

Tabla 5.17. Resiliencia económica

CATEGORÍA	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
Muy alta	671,97	0,75
Alta	6.189,77	6,92
Media	51.484,47	57,54
Baja	28.889,07	32,29
Nula	2.241,33	2,50
TOTAL	89.476,61	100

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

Figura 5.16. Índice de resiliencia económica



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

5.5. Estimación de la Vulnerabilidad

Luego de evaluar cada uno de los elementos que hace parte del modelo de vulnerabilidad se aplica la ecuación establecida en el protocolo del MINAMBIENTE (2014).

5.5.1. Metodología

El índice de vulnerabilidad se calcula con la siguiente ecuación:

$$IV = [IP \times IF \times IR] / IP_{max} \quad (24)$$

Donde:

IP = Índice de pérdida

IF = Índice de fragilidad

IR = Índice de falta de resiliencia

IP_{max} = Índice de pérdida máxima

El análisis índice de la vulnerabilidad de la cuenca se determina con la siguiente clasificación y se puede obtener el mapa de vulnerabilidad total de la cuenca.

Tabla 5.18. Niveles de vulnerabilidad

VALOR	CATEGORÍA IV
0,75 – 1,0	Alta
0,30 – 0,75	Media
0,0 – 0,30	Baja

Fuente: MINAMBIENTE (2014).

5.5.2. Resultados obtenidos

5.5.2.1. Vulnerabilidad a inundaciones

En el 85% del área de la cuenca del río Yaguará se presenta vulnerabilidad baja a inundaciones, como se observa en la Tabla 5.19, comprendiendo 76.302 ha. Seguido de la vulnerabilidad media, comprendiendo el 15%, abarcando el 13.171 ha; presentándose casos de eventos de inundación debido a la dinámica de los ríos Yaguará, Pacarní, Yaguaracito, Íquira y Pedernal, afectando en menor medida socioeconómicamente a la población asentada cerca a los cuerpos de agua. La vulnerabilidad alta representa el 0,004% del área de la cuenca, comprendiendo 3,36 ha; ubicándose sobre el Distrito de Manejo Integrado Cerro Banderas de Ojo Blanco, en el municipio de Íquira entre las veredas Quebradón, San Francisco y Nazaret.

Tabla 5.19. Categorización de vulnerabilidad a inundaciones

CATEGORÍA	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
Alta	3,36	0,004
Media	13.170,61	14,72
Baja	76.302,63	85,28
TOTAL	89.476,61	100

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

El mapa de vulnerabilidad por inundación se presenta en el Anexo/07_cartografia_Tematica/01_Mapas/05_INDICE_VULNERABILIDAD/03_VULNERABILIDAD IN

Se puede observar en el mapa de zonificación de vulnerabilidad baja predomina en la cuenca, comprendiendo el 96% del territorio, ocurriendo en las veredas Santa Bárbara, Potreritos, Jaho, Río Íquira, Las Brisas, San Isidro, Lejanías y El Rosario en el municipio de Íquira; las veredas San Isidro, Las Honduras, Buenas Vista, Los Laureles y Alto Carmelo en el municipio de Nátaga; las veredas Río Iquira, Corrales, La Armenia, La Florida, Piedra Gorda y

La Esperanza en Teruel; y las veredas Arenoso y La Floresta en Yaguará; influenciadas por los cuerpos hídricos: río Íquira, río Pacarní, río Yaguaracito y el río Yaguará en los municipios de Teruel, Íquira, Tesalia y Yaguará. En menor medida, la vulnerabilidad media abarca el 4% (3.413,47 ha).

Tabla 5.20. Categorización de vulnerabilidad a avenidas torrenciales

CATEGORÍA	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
Media	3.413,47	3,81
Baja	86.063,14	96,19
TOTAL	89.476,61	100

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

Figura 5.18. Zonificación de la vulnerabilidad a avenidas torrenciales



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

El mapa de vulnerabilidad por avenidas torrenciales se presenta en el Anexo/07_cartografia_Tematica/01_Mapas/05_INDICE_VULNERABILIDAD/01_VULNERABILIDAD_AT

5.5.2.3. Vulnerabilidad a movimientos en masa

De acuerdo con la clasificación (Tabla 5.21) y zonificación (Figura 5.19) de la vulnerabilidad a movimientos en masa, el 84% de la cuenca del río Yaguará presenta una categoría baja, empero, la cuenca presenta fragilidad física que expone a la población ante las adversidades generado por el evento. La vulnerabilidad media abarca el 16% del área (14.254 ha), se presenta en su mayoría en la parte noroccidental de la cuenca, en los municipios: Teruel abarcando veredas como Beberrecio, Corrales, Estambul, Gualpi, La Armenia, La floresta, Portachuelo, Pedernal, Sinaí, Río Íquira, Varas Mesón, Primavera y La Mina; e Íquira en las veredas como Buenos Aires, Cachimbo, El Chaparro, Garvanzal, Ibirco, Jaho, La Hocha, Lejanías, Limonar, Nazaret, San Isidro, San Luis y Río Negro.

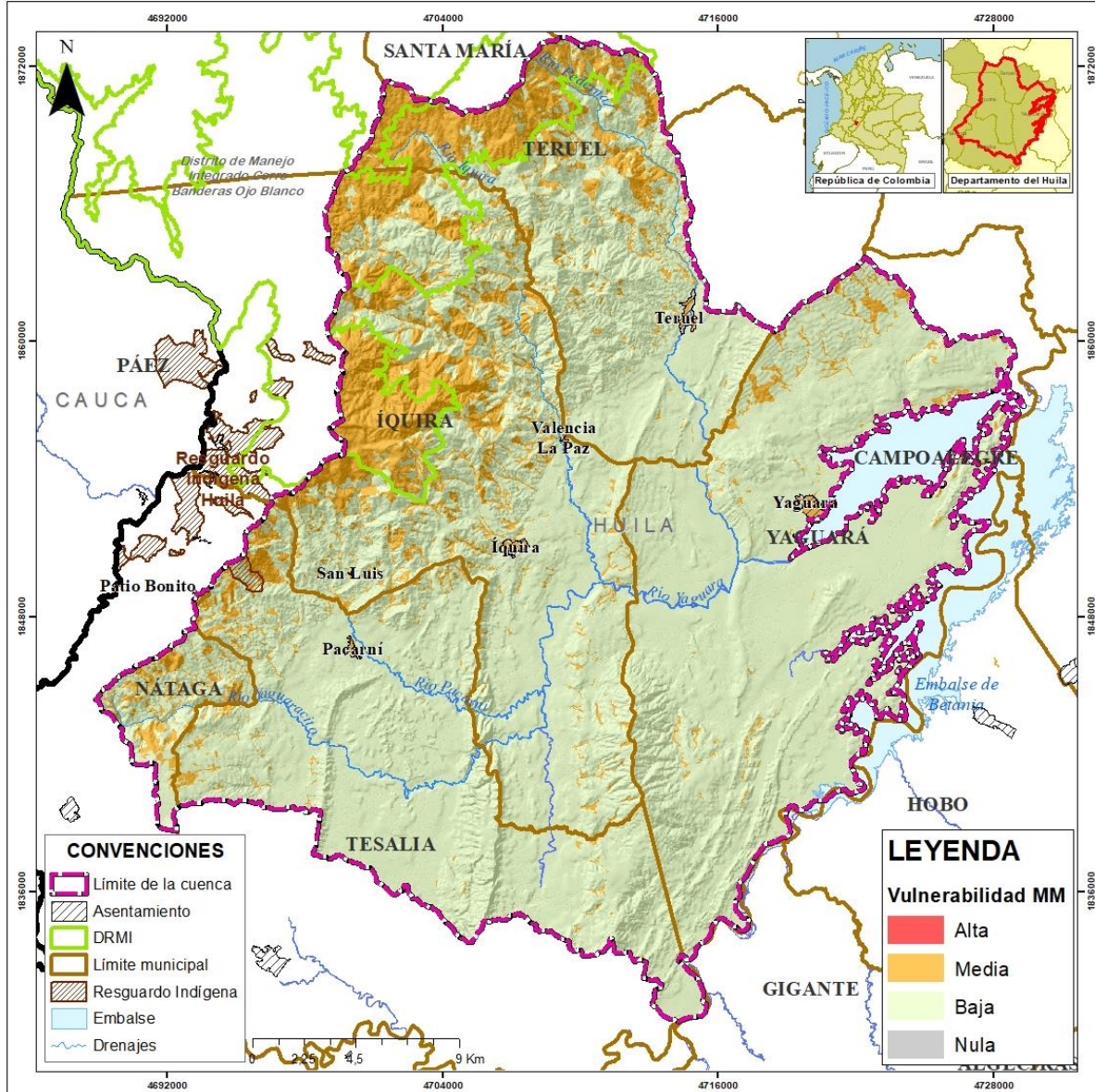
En menor medida, se presenta la vulnerabilidad alta, representando el 0,003% del área total, abarcando sólo 2,35 ha; la vulnerabilidad se presenta sobre el río Pedernal en los municipios de Teruel y Yaguará.

Tabla 5.21. Categorización de vulnerabilidad a movimientos en masa

CATEGORÍA	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
Alta	2,35	0,003
Media	14.254,72	15,93
Baja	75.219,536	84,07
TOTAL	89.476,61	100

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

Figura 5.19. Zonificación de la vulnerabilidad a movimientos en masa



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

El mapa de vulnerabilidad por movimientos en masa se presenta en el Anexo/07_cartografia_Tematica/01_Mapas/05_INDICE_VULNERABILIDAD/04_VULNERABILIDAD_MM

5.5.2.4. Vulnerabilidad a incendios de la cobertura vegetal

La cuenca del río Yaguará presenta predominancia de la vulnerabilidad baja a incendios de la cobertura vegetal cubriendo el 91% del área total, abarcando 81.693 ha; esta condición se le atribuye a la cantidad de reportes ante estos eventos, además de que en estas extensiones del territorio se presentan áreas heterogéneas de los diferentes tipos de coberturas.

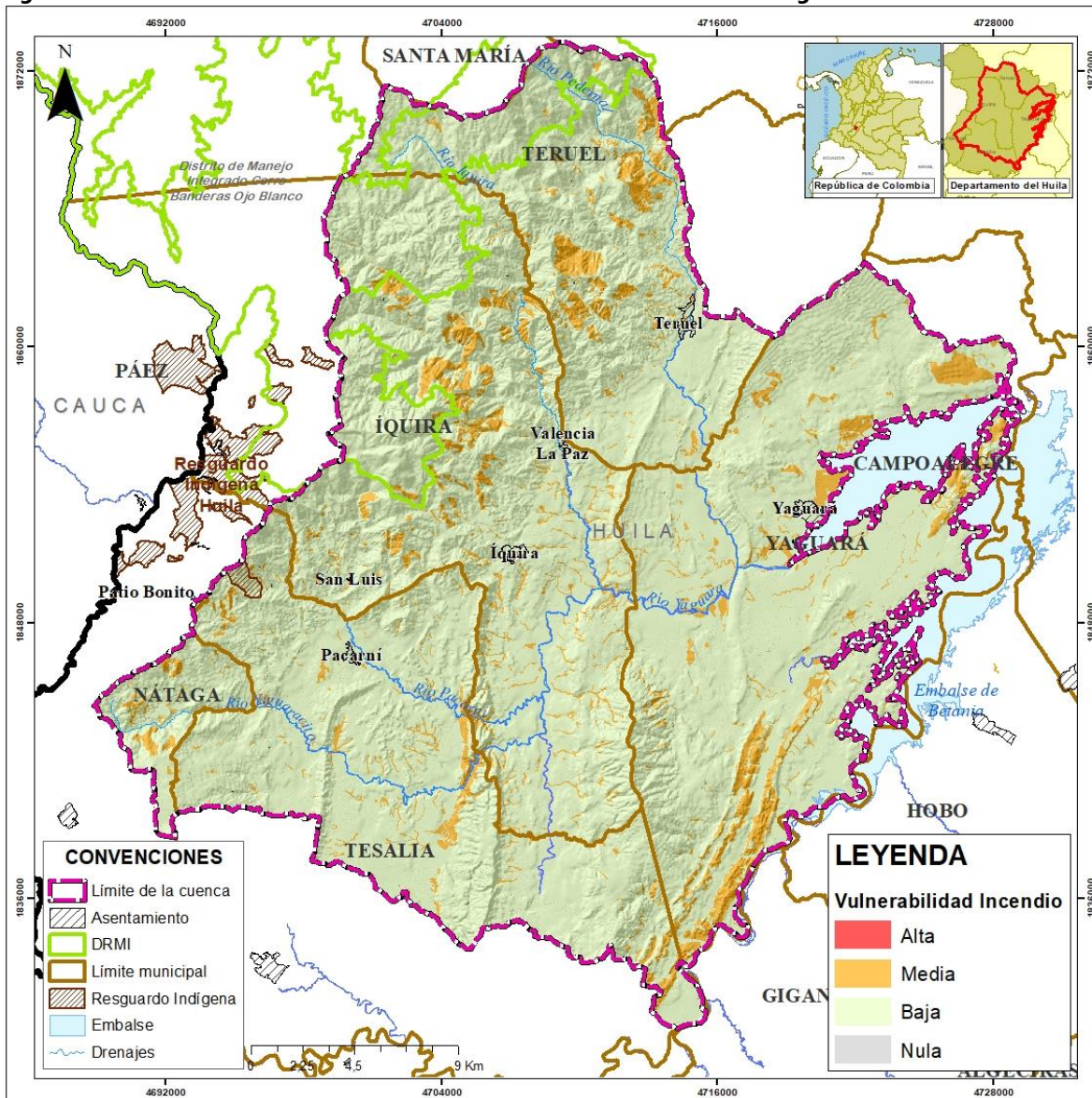
El resto de la cuenca, 9% del área (7.783 ha), presenta vulnerabilidad media, incrementando la ocurrencia de los eventos, ocasionados por el tipo de vegetación, la radiación, incremento de la temperatura y disminución en la precipitación.

Tabla 5.22. Categorización de vulnerabilidad a incendios de la cobertura vegetal

CATEGORÍA	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
Media	7.783,20	8,70
Baja	81.693,41	91,30
TOTAL	89.476,61	100

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

Figura 5.20. Zonificación de la vulnerabilidad a incendios de la cobertura vegetal



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

El mapa de vulnerabilidad por incendios de la cobertura vegetal se presenta en el Anexo/07_cartografía_Tematica/01_Mapas/05_INDICE_VULNERABILIDAD/02_VULNERABILIDAD_IF

6. ANÁLISIS DEL RIESGO

La gestión del riesgo de desastres - GRD es un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible (Ley 1523 de 2012).

Cumpliendo la normatividad nacional, se incorpora la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica, cuyo alcance será:

- La ordenación y manejo de la cuenca de manera participativa buscando establecer consensos en la zonificación ambiental que conduzcan a: a) la protección, conservación, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables; b) una ocupación del territorio de forma segura; y c) evitar nuevas condiciones de riesgo en la cuenca, objetivos que hacen parte de la gestión integral del riesgo.
- La definición de acciones y medidas para el manejo y administración de los recursos naturales renovables, así como para el conocimiento, reducción y manejo del riesgo en la cuenca.
- Referente fundamental para ser incluido (Determinantes y Asuntos Ambientales) en los procesos de ordenamiento territorial y planificación del desarrollo.

El análisis del riesgo, como subproceso de la GRD, tiene como objetivo pronosticar y evaluar el comportamiento de los fenómenos naturales potencialmente dañinos para determinar los procesos adecuados de reducción del riesgo y el manejo de desastres, junto a estimar los niveles de daños y pérdidas económicas y la probabilidad de que esos efectos identificados se presenten (UNGRD, 2020). El análisis de riesgo se efectuará gracias a los subprocesos anteriores realizados, los cuales son: primero determinar la amenaza mediante el análisis de susceptibilidad y la vulnerabilidad por medio de los componentes de exposición, fragilidad y resiliencia.

6.1. Metodología

El análisis de riesgo es el proceso de evaluación de las consecuencias ocasionadas por los fenómenos naturales sobre la cuenca, como las pérdidas (material o de vidas) sobre un grupo poblacional.

El protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas del MINAMBIENTE (2014) propone la siguiente igualdad, para determinar el índice de riesgo.

$$IR = Pf * IV \text{ (25)}$$

Donde:

IR= Índice de riesgo

Pf= Probabilidad de ocurrencia del evento amenazante

IV= Índice de vulnerabilidad

El riesgo se cataloga dependiendo de las pérdidas esperadas a nivel anual, como se puede observar la Tabla 6.1.

Tabla 6.1. Categorización del riesgo para los diferentes eventos en POMCAS

CATEGORÍA	CRITERIO
Alta	Las pérdidas esperadas anuales superan el 50% IR promedio $\geq 0,5$
Media	Las pérdidas esperadas anuales se encuentran entre el 25% y 50% IR promedio entre 0,25 y 0,50
Baja	Las pérdidas esperadas anuales son inferiores al 25% IR promedio < 0.25

Fuente: MINAMBIENTE (2014).

Existen dos métodos para analizar los riesgos, el cualitativo o cuantitativo, estos dos involucran las variables de amenaza y vulnerabilidad; sin embargo, la cuantitativa es probabilística utilizando métodos numéricos, y la cualitativa es determinística, la cual se basa en la experiencia y observaciones en campo. (MINAMBIENTE, 2014)

6.1.2. Amenaza determinística

El método de análisis de riesgo utilizado para la cuenca del río Yaguará, es el cualitativo o de amenaza determinística, el cual utiliza la especialización del índice de vulnerabilidad y la amenaza determinística con el uso del SIG por superposición de la capa de amenaza para el evento en evaluación y los niveles de vulnerabilidad dados por el índice de vulnerabilidad para el escenario seleccionado, como se observa en la Figura 6.1.

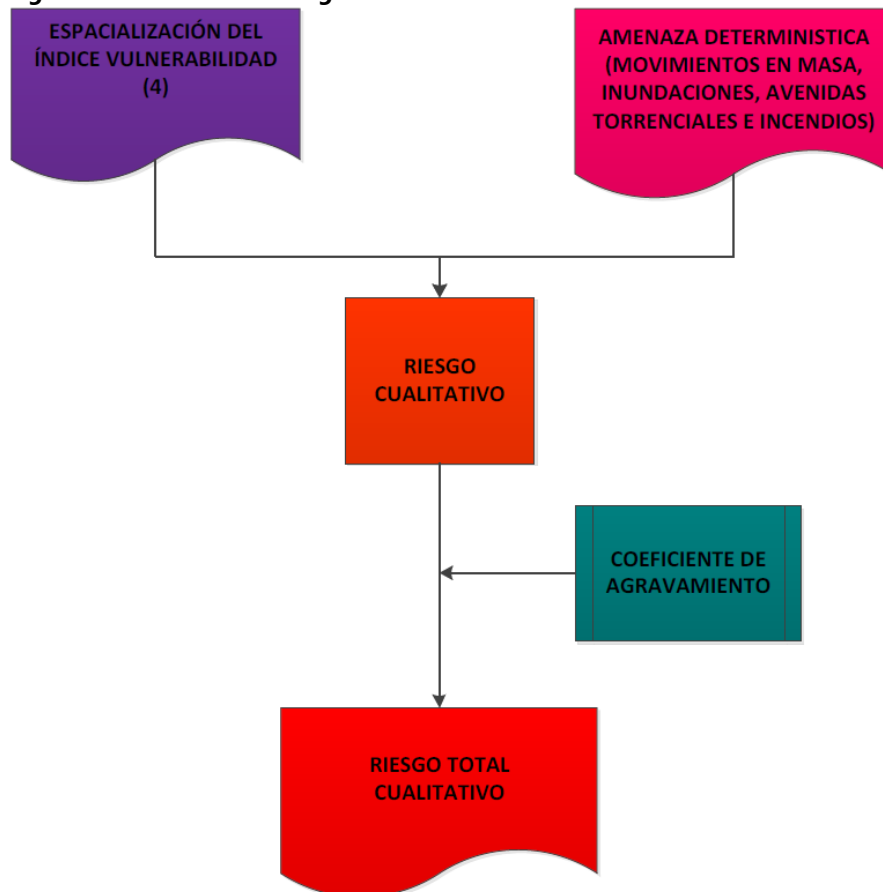
El protocolo del MINAMBIENTE (2014) propone la matriz de categorización de niveles de riesgo (Tabla 6.2); y como resultado final de análisis de riesgo se genera el mapa que debe describir los aspectos referidos al evento amenazante y las condiciones de vulnerabilidad asociadas a las características de la zona homogénea, junto a las pérdidas en vidas y bienes.

Tabla 6.2. Categorización de niveles de riesgo del IR

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

Fuente: MINAMBIENTE (2014).

Figura 6.1. Diagrama del análisis del riesgo



Fuente: MINAMBIENTE (2014).

6.2. Estimación del Riesgo

6.2.1. Incendios de la cobertura vegetal

El riesgo alto por incendios de la cobertura vegetal comprende el 6,64% de la superficie de la cuenca, correspondiendo a 5.945 hectáreas. La mayor concentración de esta categoría de riesgo se ubica en los siguientes municipios: Teruel abarcando las veredas de Pedernal, Sinaí, Gualpi, Los Arrayanes, Beberrecio y Varas de Mesón; en Yaguará abarcando las veredas de Upar, Letrán, Jaguar, Alta de la Hocha y Vilú, y en Tesalia en las veredas Potrerogrande y

Piedra Gorda. Estas áreas se caracterizan por presentar coberturas de pastos y herbazales, siendo un tipo de combustible alto.

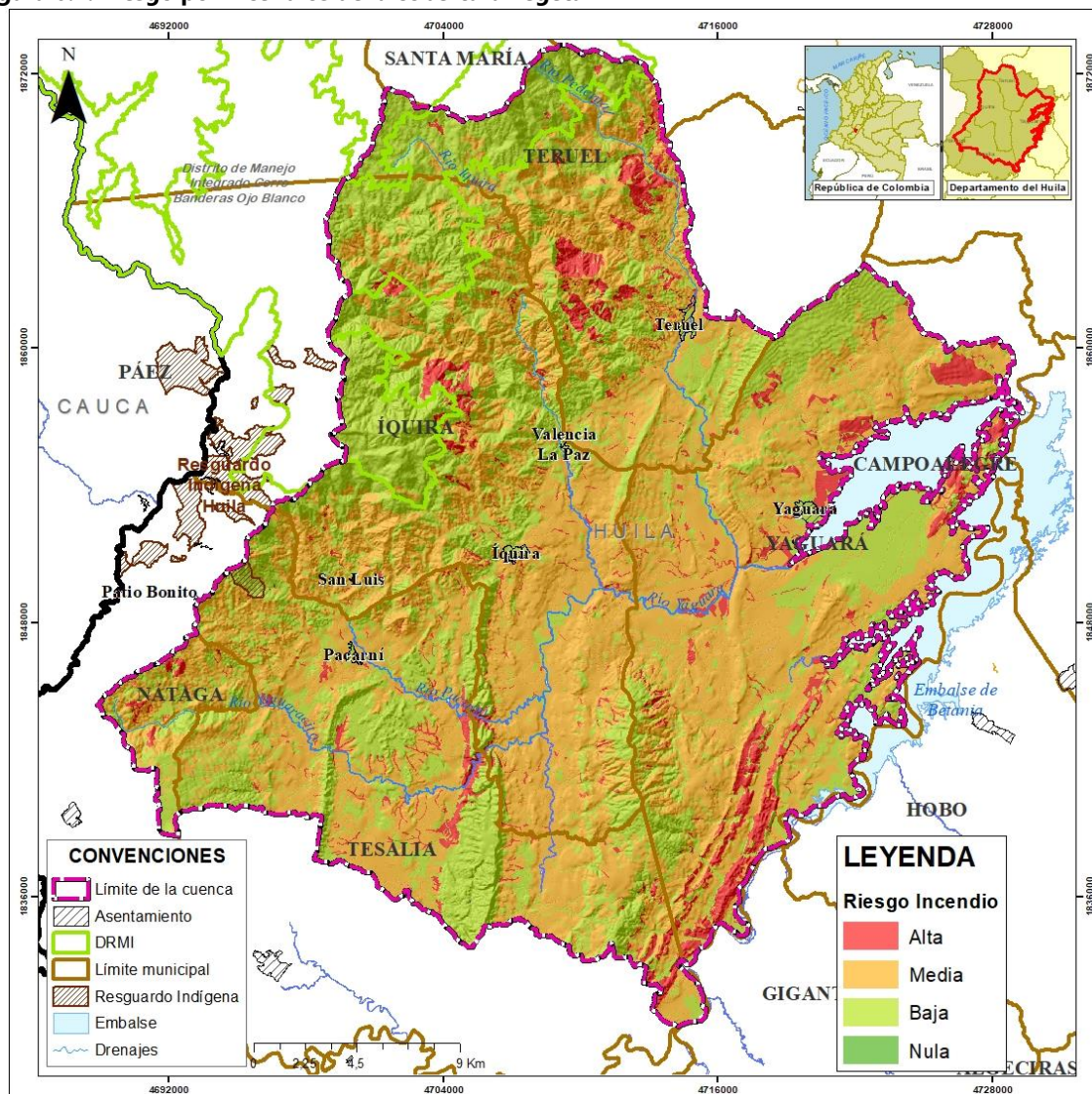
El riesgo correspondiente a la categoría media abarca el 52,34% del área de la cuenca, y la categoría baja comprende el 41,01% del área.

Tabla 6.3. Categorización del riesgo por incendios de la cobertura vegetal

CATEGORÍA	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
Alta	5.945,40	6,64
Media	46.833,51	52,34
Baja	36.697,69	41,01
TOTAL	89.476,61	100

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

Figura 6.2. Riesgo por incendios de la cobertura vegetal



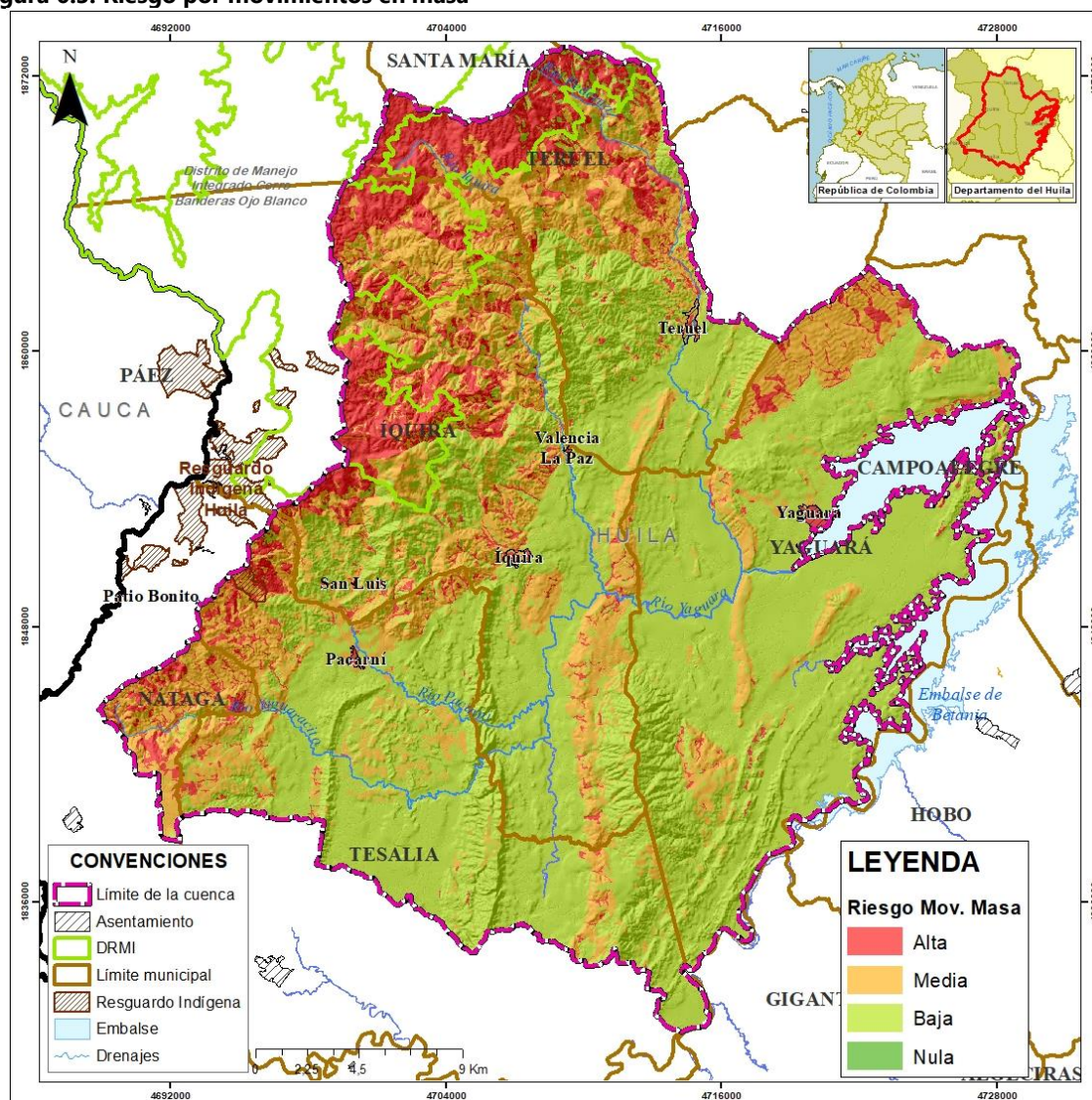
Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

El mapa de riesgo por incendios de la cobertura vegetal se presenta en el Anexo/07_cartografia_Tematica/02_Salidas_Cartograficas/06_ESCENARIOS_RIESGO_PRIORIZADOS/02_ESCENARIO_RIESGO_IF

6.2.2. Movimientos en masa

Como se puede observar en la Tabla 6.4, el riesgo alto por movimientos en masa corresponde al 13,24% del área de la cuenca, ubicado en el sector noroeste abarcando gran parte de las siguientes veredas: La Armenia, Nevado del Huila, Corrales y Pedernal del municipio de Teruel; Narváez, Nazaret, Quebradón y El Pato en el municipio de Íquira; El Palmito en Tesalia; y Las Honduras y Buena Vista en Nátaga. La categoría media del riesgo abarca el 26% de la cuenca. Se observa en la Figura 6.3 que la categoría baja se localiza en zonas de pendientes bajas, representando el 61% de la superficie de la cuenca.

Figura 6.3. Riesgo por movimientos en masa



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

El mapa de riesgo por movimientos en masa se presenta en el Anexo/07_cartografia_Tematica/02_Salidas_Cartograficas/06_ESCENARIOS_RIESGO_PRIORIZADOS/04_ESCENARIO_RIESGO_MM

Tabla 6.4. Categorización del riesgo por movimientos en masa

CATEGORÍA	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
Alta	11.849,88	13,24
Media	22.995,85	25,70
Baja	54.630,87	61,06
TOTAL	89.476,61	100

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

6.2.3. Inundaciones

El riesgo alto por inundaciones representa el 13,24% del área de la cuenca objeto de ordenación, con un área correspondiente a 12.029 hectáreas. La categoría alta se localiza en toda la extensión de la cuenca, influenciada por la dinámica de los cuerpos hídricos como el río Yaguará, río Yaguaracito, río Pedernal, río Íquira, río Pacarní y sus tributarios que han reportado eventos del incremento de sus niveles; ubicándose sobre geoformas de sierra denudada, espinazo, escarpe lineal de falla, embalse de Betania, cima, cauces aluviales, planicies o llanuras de inundación, entre otras.

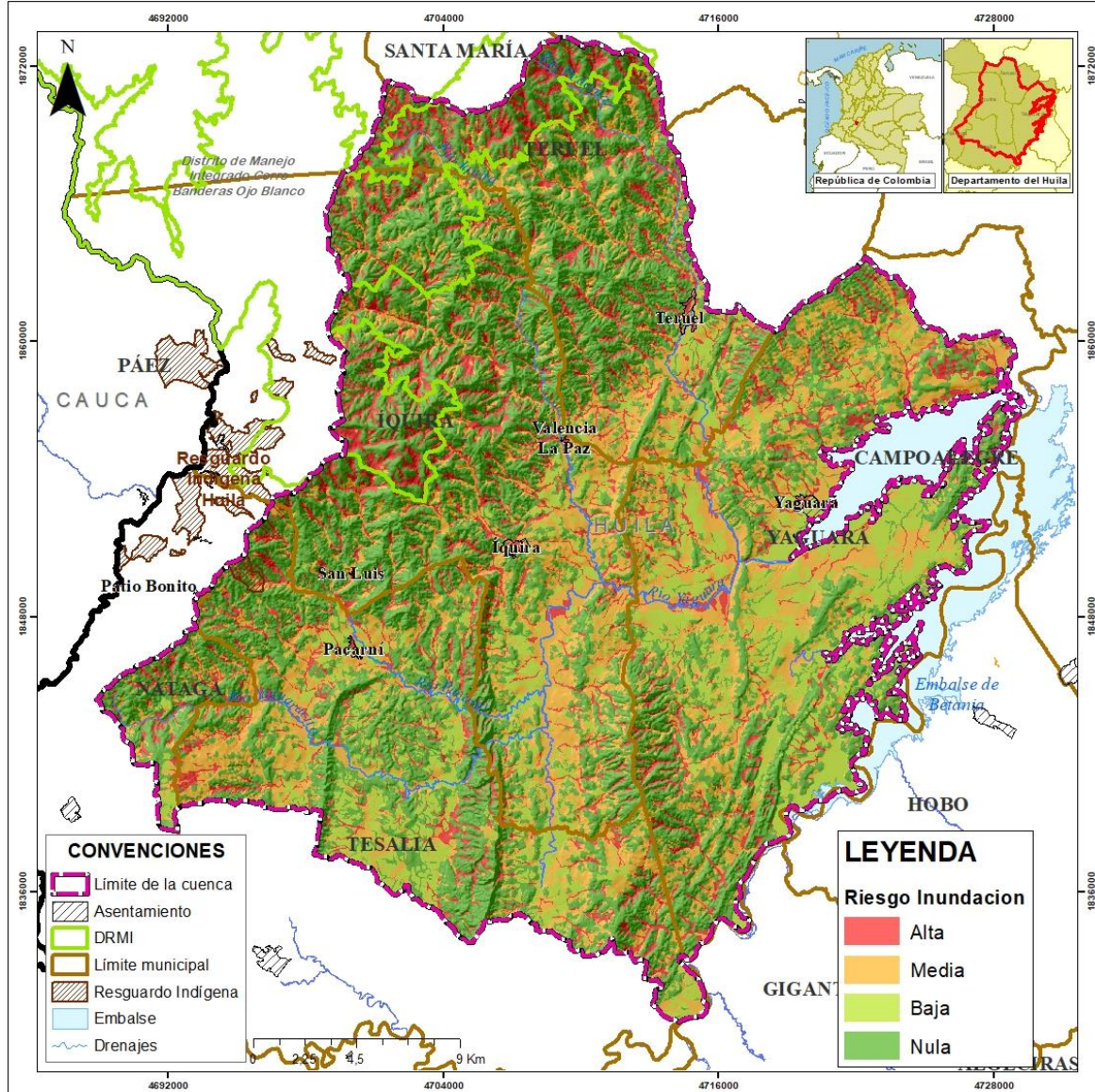
El 50% de la superficie del territorio de la cuenca hidrográfica no presenta riesgos por inundaciones, seguido de la categoría media abarcando el 24% del área (21.358 ha) y la categoría baja en un 12% del área (11.089 ha).

Tabla 6.5. Categorización del riesgo por inundaciones

CATEGORÍA	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
Alta	12.029,06	13,44
Media	21.358,84	23,87
Baja	11.089,50	12,39
Nula	44.999,21	50,29
TOTAL	89.476,61	100

Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

Figura 6.4. Riesgo por inundaciones



Fuente: Consorcio Quebrada Yaguará 2022 (2023).

El mapa de riesgo por inundaciones se presenta en el Anexo/07_cartografia_Tematica/02_Salidas_Cartograficas/06_ESCENARIOS_RIESGO_PRIORIZADOS/03_ESCENARIO_RIESGO_IN

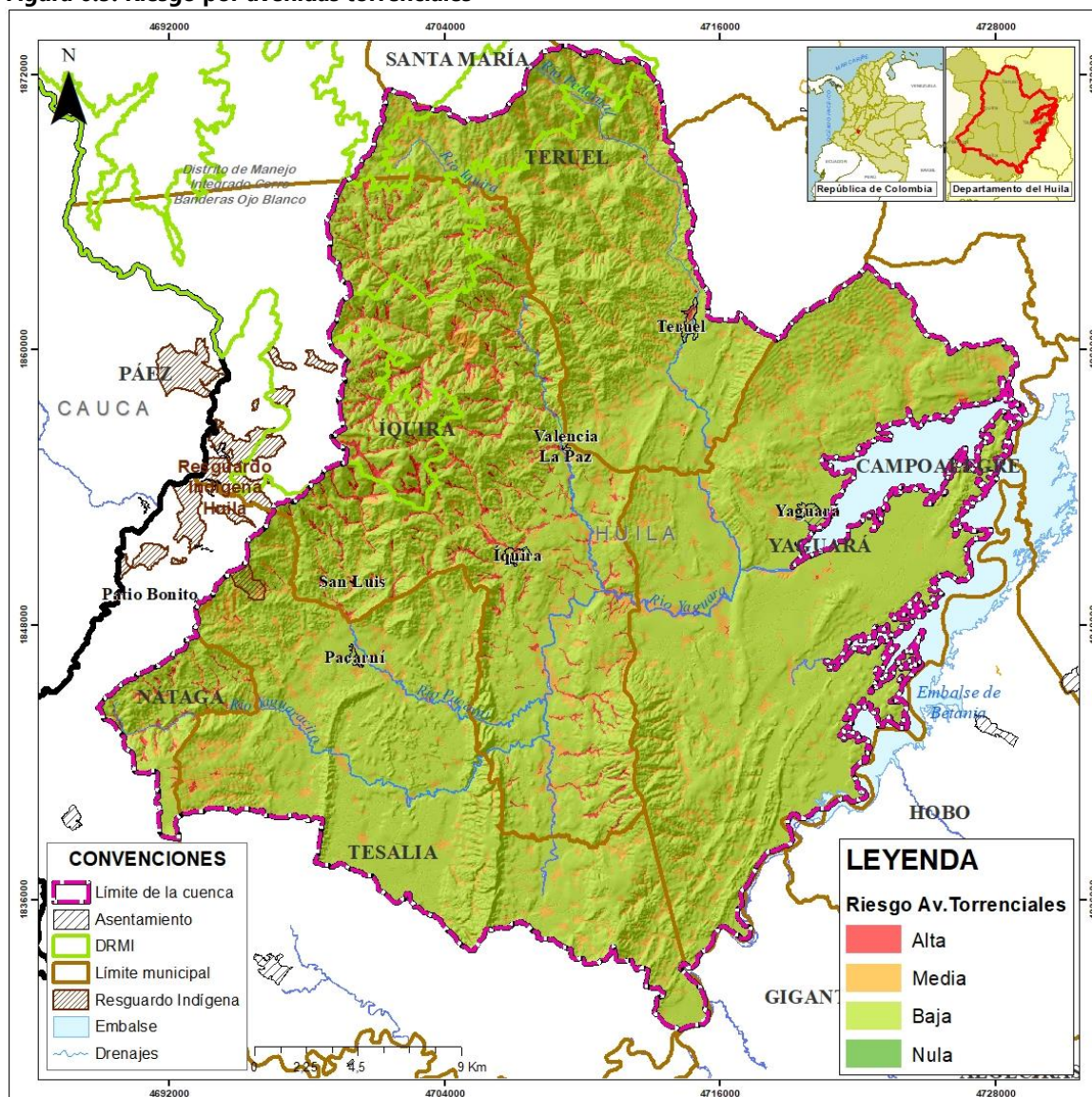
6.2.4. Avenidas torrenciales

Las avenidas torrenciales es el riesgo con menor significancia con respecto a los otros; se observa en la Tabla 6.6 que, el 3% del área de la cuenca hidrográfica de la cuenca del río Yaguará es representando por la categoría alta. De acuerdo con la Figura 6.5, el riesgo alto se localiza gran parte en el municipio de Iquira, afectando las veredas de El Pato, Villa María, El Tote, Buenos Aires, El Recreo, El Cachimbo, Quebradón, El Jardín, El Rosario y San Luis.

Tabla 6.6. Categorización del riesgo por avenidas torrenciales

CATEGORÍA	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
Alta	2.673,53	2,99
Media	10.055,90	11,24
Baja	76.747,17	85,77
TOTAL	89.476.61	100

Figura 6.5. Riesgo por avenidas torrenciales



Carrera 51B N° 82 - 254, Piso 2, Oficina 26,
C.C. Bahía, Barranquilla D.E.I.P.
Correo electrónico: yaguara@ecocialt.com

El mapa de riesgo por avenidas torrenciales se presenta en el Anexo/07_cartografía_Tematica/02_Salidas_Cartograficas/06_ESCENARIOS_RIESGO_PRIORIZADOS/01_ESCENARIO_RIESGO_AT

7. NECESIDADES DE INFORMACIÓN

Incendios de la cobertura vegetal

Para el análisis y validación de las categorías de amenazas de cada uno de los fenómenos amenazantes (movimientos en masa, avenidas torrenciales, incendios de la cobertura vegetal e inundaciones), es imprescindible contar con un inventario de eventos que incluya la localización geográfica de los procesos, con el objeto de correlacionar con precisión los registros con las características intrínsecas del territorio.

Movimientos en Masa

Para el análisis y validación de las categorías de amenazas de cada uno de los fenómenos amenazantes (movimientos en masa, avenidas torrenciales, incendios de la cobertura vegetal e inundaciones), es imprescindible contar con un inventario de eventos que incluya la localización geográfica de los procesos, con el objeto de correlacionar con precisión los registros con las características intrínsecas del territorio.

Información geotécnica detallada de las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) existentes en la cuenca hidrográfica, a fin de complementar la revisión bibliográfica y los ensayos de rocas efectuados.

De acuerdo con las especificaciones técnicas, el análisis de susceptibilidad a movimientos en masa se realizó con base a un Modelo de Elevación Digital (DEM) con resolución de 12.5m. No obstante, para obtener mayor precisión en las variables derivadas del DEM (Curvatura, Orientación, Insolación, entre otros), se recomienda emplear un modelo con mayor resolución.

Inundaciones

Para el análisis y validación de las categorías de amenazas de cada uno de los fenómenos amenazantes (movimientos en masa, avenidas torrenciales, incendios de la cobertura vegetal e inundaciones), es imprescindible contar con un inventario de eventos que incluya la localización geográfica de los procesos, con el objeto de correlacionar con precisión los registros con las características intrínsecas del territorio.

La zonificación de amenaza por avenidas torrenciales, puede ser validada con precisión al identificar y registrar sistemáticamente por parte de las autoridades municipales, el cambio en los niveles de los principales cuerpos hídricos de la cuenca hidrográfica.

Avenidas Torrenciales

Para el análisis y validación de las categorías de amenazas de cada uno de los fenómenos amenazantes (movimientos en masa, avenidas torrenciales, incendios de la cobertura vegetal e inundaciones), es imprescindible contar con un inventario de eventos que incluya la localización geográfica de los procesos, con el objeto de correlacionar con precisión los registros con las características intrínsecas del territorio.

La zonificación de amenaza por avenidas torrenciales, puede ser validada con precisión al identificar y registrar sistemáticamente por parte de las autoridades municipales, evidencias cronológicas asociadas a procesos torrenciales.

8. RECOMENDACIONES FINALES

Localización y monitoreo de estaciones limnigráficas o limnimétricas en los principales cuerpos de agua de la unidad hidrográfica, con el objeto de aumentar el conocimiento de la dinámica fluvial y ajustar los modelos de inundación y avenidas torrenciales.

Desarrollo de estudios detallados en las áreas categorizadas como de riesgo alto, para definir las áreas sin y con condición de riesgo; así como, las medidas de mitigación requeridas para su manejo.

Diseño de medidas estructurales en las áreas con vulnerabilidad alta por movimientos en masa, especialmente en las zonas con elementos expuestos asociados a infraestructura vial y de servicios sociales esenciales (Escuelas, centros de salud).

Fortalecimiento de los sistemas de alerta temprana en los cuerpos hídricos con alta probabilidad de ocurrencia de avenidas torrenciales, a fin de minimizar los impactos y/o pérdidas causadas por este tipo de eventos.

Implementación de planes de restauración en las rondas forestales protectoras de los cauces y afluentes principales de la unidad hidrográfica, con el objeto de mantener estables las laderas con pendientes abruptas y no ocasionar bloqueos que posteriormente desencadenen eventos torrenciales.

Mantener actualizado el catálogo histórico de eventos amenazantes para aumentar el conocimiento de la frecuencia y distribución de los fenómenos y así garantizar la formulación de estrategias eficientes de reducción y mitigación de los escenarios de riesgos.

9. BIBLIOGRAFÍA

Acuña, C. C. y Ordoñez, M. J. (2018). Evaluación de amenaza y vulnerabilidad por desbordamiento del río Cusiana en la zona urbana de Mani Casanare. Universidad de la Salle. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1360&context=ing_civil

Alcaldía de Medellín. (2013). *MOVIMIENTOS EN MASA*. Centro administrativo municipal de Medellín. https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/SubportaldelCiudadano_2/PlandeDesarrollo_0_8/Publicaciones/Shared%20Content/Documentos/2016/CartillaMovMasa.pdf

Algarra, M. (2009). *Propuesta Metodológica para Medir el Impacto del Fenómeno de la Sequía en la Huasteca Potosina y Propuesta General de Manejo*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/bitstream/handle/i/3625/MarcosAlgaraSiller_TesisDoctoral_CienciasAmbientales_090907.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Baridón, E. (2019). *CURSO EDAFOLOGÍA DEPARTAMENTO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIA Y FORESTALES U.N.L.P. TEMA 2: "MORFOLOGÍA DEL SUELO"*. Universidad Nacional de La Plata. https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/42968/mod_resource/content/1/TEMA%202%20MORFOLOG%C3%8DA%2026-03-19.pdf

Brea, J. y Sapalletti, P. (2005). *FLUJOS DENSOS E HIDRÁULICA DE RÍOS*. Instituto Nacional del Agua (INA) Casilla de Correo 21. http://irh-fce.unse.edu.ar/Rios2003/TC/TC_1_2.pdf

Brea, J. et al. (2005). *CONCEPTOS Y APLICACIONES SOBRE FLUJOS DENSOS EN LA HIDRÁULICA DE RÍOS. Ingeniería del agua, Vol 12 n° 3*. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/76019/CONICET_Digital_Nro.39979fdc-d5f7-427d-b12b-833b0adea8da_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Cardona, O. D. (2001). *Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos*. Universidad Politécnica de Cataluña. <http://www.desenredando.org/public/varios/2001/ehrisusd/index.html>

Centro Nacional de Prevención de Desastres [CENAPRED]. (2014). *Incendios Forestales*. Centro Nacional de Prevención de Desastres https://www.escom.ipn.mx/docs/escomunidad/formatosDocumentos/uipc_incendiosTornados.pdf

Centro Nacional de Prevención de Desastres [UNGRD], 2019. *Lo que usted debe saber sobre incendios de cobertura vegetal*.
https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/28309/Cartilla_incendios_2019-.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Comunidad Andina, (2018). *GLOSARIO DE TÉRMINOS Y CONCEPTOS DE LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES PARA LOS PAÍSES MIEMBROS DE LA COMUNIDAD ANDINA* Decisión 825.
<https://www.comunidadandina.org/StaticFiles/2018619133838GlosarioGestionDeRiesgoSGCA.pdf>

Corominas, J. y Moya, J. (2008). *A review of assessing landslide frequency for hazard zoning purposes*. *Engineering Geology*,
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013795208001841>

Cortez A., Olivares, B., Parra, R., Lobo, D., Rodríguez, MF. y Rey, J.C. (2018). *Descripción de los eventos de sequía meteorológica en localidades de la cordillera central, Venezuela*. *Ciencia, Ingenierías y Aplicaciones*. I (1):22-44. doi:10.22206/CYAP.2018. V111.PP23-45

Coussot, P, y M. Meunier (1996) Recognition, Classification and Mechanical Description of Debris Flows. *Earth-Science Reviews* 40 (3-4): 209-227.

Cruden. D. (1991). *A Simple definition of a landslide: Bulletin of the International Association of Engineering Geology*.
https://www.researchgate.net/publication/257144374_A_simple_definition_of_a_landslide#:~:text=The%20term%20%22landslide%22%20means%20the,of%20gravity%20force%20%5B1%5D%20

Desinventar. (2009). *DesInventar Sistema de inventario de desastres Guía metodológica*.
<https://www.desinventar.org/docs/DesInventar-GuiaMetodologica-2.pdf>

Espíndola, V. y Pérez, X. (2018). Sismos. Secretaria de cultura de la Gobernación de México.
https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/69_3/PDF/QueSonSismos.pdf

García, A. (2004). *Inestabilidades por degradación superficial de taludes en suelos. corrección mediante sistemas de refuerzo anclados*. Universidad de la Rioja.
<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/10601/1de7.ADCGcap1.pdf;jsessionid=99171F345EB41AEC0248545F391C255B?sequence=2>

Gonzáles, N., Carvajal, Y. y Loaiza, W. (2016). *Análisis de sequías meteorológicas para la cuenca del río Dagua, Valle del Cauca, Colombia*.
https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_standardized_precipitation_index_user_guide_es_2012.pdf

Guisao, Y. (2015). *ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA PARA EL MUNICIPIO DE TÁMESIS, EN EL ÁREA RURAL A ESCALA 1:25.000 Y EN EL ÁREA URBANA A ESCALA 1:2.000*. Universidad EAFIT. <https://core.ac.uk/download/pdf/47252102.pdf>

Hungr, O., Leroueil, S., y Picarelli, L. (2014). The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*. https://moodle2.units.it/pluginfile.php/454807/mod_resource/content/1/Hungr%20et%20al.%2C%202013.pdf

Hungr, O., Evans, S. G., Bovis, M. & Hutchinson, J. N. 2001. Review of the classification of landslides of the flow type. *Environmental and Engineering Geoscience*. https://www.researchgate.net/publication/279333490_Review_of_the_classification_of_landslides_of_the_flow_type

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2011). *Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal – Escala 1:100.000*. <http://www.ideam.gov.co/documents/13257/14369/PROTOCOLO+INCENDIOS+4Oct.pdf>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2017). *GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE INUNDACIÓN*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023774/GUIA_METODOLOGICA_MAPAS_INUNDACION_MARZO_2018.pdf

Johson, C. et al. (2017). *An Introduction to Geology*. Chris Johnson, Matthew D. Affolter, Paul Inkenbrandt, Cam Mosher. Salt Lake Community College. <https://opengeology.org/textbook/10-mass-wasting/>

Julien, P. y León, C. (2000). *Mud floods, mudflows and debris flows. Classification, rheology and structural design*. Jornadas de Investigación JIFI 2000: the debris flow disaster of december 1999 in Venezuela.

Landínez, A. y Beltrán, D. (2019). *Modelo de susceptibilidad a deslizamientos del departamento de Cundinamarca Colombia, fundamentado en las características topográficas del terreno*. Universidad de la Salle https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1544&context=ing_civil

McKee, T.B., N.J. Doesken and J. Kleist, 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scale. In: *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*, Anaheim, California, 17 a 22 de enero de 1993. American Meteorological Society, Boston, 179–184.

Melo, C. y Sharma, S. (2004). SEISMIC COEFFICIENTS FOR PSEUDOSTATIC SLOPE ANALYSIS. 13th World Conference on Earthquake Engineering. https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13_369.pdf

Mergili, M., Marchant, C. y Moreiras, M. (2015). *Causas, características e impacto de los procesos de remoción en masa, en áreas contrastantes de la región Andina*. Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía <http://www.scielo.org.co/pdf/rcdg/v24n2/v24n2a7.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MINAMBIENTE]. (2014). *Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas*.

Moragues, S. (2019). *GEOMORFOLOGÍA PARAGLACIAL ASOCIADA A LA INESTABILIDAD DE LADERAS EN EL BRAZO NORTE DEL LAGO ARGENTINO, PATAGONIA, ARGENTINA*. S. Moragues, M.G. Lenzano, S. Moreiras, L. Lenzano. Universidad de La Rioja. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/124098/CONICET_Digital_Nro.99bf93f5-4c39-4a4c-8f15-4621bfd13bea_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Ley 1523 de 2012. (04 de abril de 2012). Congreso de la República del Diario oficial No. 48.411. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=47141>

O'Brien, J.S., and Julien, P.Y (1988) Laboratory Analysis of Mudflow Properties. *Journal of Hydraulic Engineering*, 114(8), pp. 877 – 887.

O'Brien, J. (2014). *FLO-2D Webinar Hyperconcentrated Sediment Flows - Mud and Debris Flows*. FLO-2D Software, Inc.

Pérez, R. y Rojas, J. (2005). *Estudio de vulnerabilidad ante deslizamientos de tierra en la microcuenca Las Marías. Telica, León*. Universidad Nacional Agraria. <https://repositorio.una.edu.ni/1077/1/tnp35p438.pdf>

Piedrahita, L. y Hermelín, M. (2005). *La Avenida Torrencial del río Tapartó de 1993. Desastres de origen natural en Colombia 1979-2004*. Universidad Eafit.

Pinazo, O. (1995). *Manual de climatización, Tomo II*. Servicio de publicaciones, Universidad Politécnica de Valencia-España. <https://es.scribd.com/document/334017649/178521705-Manual-de-Climatizacion-Tomo-II-Cargas-Termicas>

Servicio Geológico Colombiano (2021). *Guía Metodológica para zonificación de amenaza por avenidas torrenciales*. Bogotá, D.C.: SGC.

Servicio Geológico Colombiano [SGC]. (2017). *Clasificación de movimientos en masa y su distribución en terrenos geológicos de Colombia*.
<https://libros.sgc.gov.co/index.php/editorial/catalog/view/36/31/381>

Sedano, R. (2012). *Gestión integrada del riesgo de inundaciones en Colombia*. Universidad Politécnica de Valencia.
https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/27223/TFM_Gesti%c3%b3n_%20Inundaciones_Colombia_Karime_Sedano.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sedano, R. K. (2012). *GESTIÓN INTEGRADA DEL RIESGO DE INUNDACIONES EN COLOMBIA*. Universidad Politécnica de Valencia.
https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/27223/TFM_Gesti%c3%b3n_%20Inundaciones_Colombia_Karime_Sedano.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Spikermann, J. P. (2010). *Elementos de geología general*. Fundación de Historia Natural.
https://www.fundacionazara.org.ar/img/libros/elementos-de-geologia-general.pdf?fbclid=IwAR1cT9wpVdsadu0qu19-X9bpc_7wvYSDyhMjcrxE1zTfAJrG2-T_MUnkBLQ

Suárez, J. (2009). *Deslizamientos: análisis geotécnico – Capítulo 1: nomenclatura y clasificación*. Universidad Industrial de Santander.
<https://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico/>

Tarbuck, et al. (2005). *Ciencias de la tierra*. Editorial Pearson Prentice Hall.
<http://www.xeologosdelmundu.org/wp-content/uploads/2016/03/TARBUCK-y-LUTGENS-Ciencias-de-la-Tierra-8va-ed.-1.pdf>

Universidad Autónoma de Occidente. (2011). *Incendios de la cobertura vegetal en Colombia*. Universidad Autónoma de Occidente <https://gfmco.online/wp-content/uploads/Incendios-de-la-Cobertura-Vegetal-en-Colombia-Tomo-I-2011.pdf>

Universidad de Cartagena. (2018). *GEOLOGÍA UNIDAD 4 GEODINÁMICA*.
http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado_itop/113/pdfs/TEMA%209-1%20geomorfologia.pdf

UNAL, (2013): Metodología para la evaluación del riesgo en los POMCA (Informe final inédito), Convenio UNAL-MADS.

UNGRD, (2020). Análisis del riesgo. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, Conocimiento del Riesgo.
<https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/Conocimiento/Conocimiento-In-Analisis-del-Riesgo.pdf>

Universidad Rovira i Virgili. (2005). *Módulos Universitarios en ciencia del Desarrollo Sostenible (MOUDS)*. <http://www.desenvolupamentsostenible.org/es/los-riesgos-naturales>

Universidad Pontificia Bolivariana. [UPB], 2020. *¿Por qué se producen los movimientos en masa?* <https://www.upb.edu.co/es/central-blogs/divulgacion-cientifica/movimientos-en-masa>

Valdivia, A. (2014). *SUSCEPTIBILIDAD DE MOVIMIENTOS EN MASA EN EL VALLE DE SOCOROMA, PRECORDILLERA ANDINA DE ARICA Y PARINACOTA*. Diálogo Andino. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0719-26812014000200004#:~:text=De%20acuerdo%20con%20los%20resultados,las%20zonas%20que%20presentan%20altas

Vargas, G. (2000). *Criterios para la clasificación y descripción de movimientos en masa*. Boletín de Geología, Vol 22 No 37. <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaboletindegologia/article/view/3965/4307>

Vera, J. y Albarracín, A. (2017). *Metodología de análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas*. Ciencia e ingeniería neogranadina. <http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v27n2/0124-8170-cein-27-02-00109.pdf>

Villamil, J., Gómez, U. y Ortiz, N. (2018). Distribución espacial y temporal de deslizamientos (1999-2015) en la cuenca del río Combeima, Colombia. Universidad de Tolima https://www.redalyc.org/journal/3477/347760473008/html/#redalyc_347760473008_ref3

Villegas, J. C. (2004). *ANÁLISIS DEL CONOCIMIENTO EN LA RELACIÓN AGUA-SUELO-VEGETACIÓN PARA EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA*. Revista EIA. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372004000100008

Vidal, J. A. (2013). *¿Qué es la magnitud Richter?* Ciencia y Desarrollo. <https://resnom.cicese.mx/sitio/images/Richter.pdf>

Wan, Z. y Wang, Z. (1994). "Hyperconcentrated Flow". IAHR Monograph Series. A.A.Balkema.

Wang, G., Sassa, K. 2003. Pore pressure generation and movement of rainfall-induced landslides: effects of grain size and fine particle content. Engineering Geology Vol. 69, Pág. 109-125.