

POMCA

RÍO NARE

Plan de Ordenación y Manejo
de la Cuenca Hidrográfica



**FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA
HIDROGRÁFICA DEL RÍO NARE (CÓDIGO 2308-04)**

CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE RIESGO

AUTOR: CONSORCIO POMCAS ORIENTE ANTIOQUEÑO

MEDELLÍN, JUNIO DE 2017



8 CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL RIESGO

Durante los últimos años, numerosas entidades del Estado colombiano han adelantado investigaciones y trabajos en las técnicas de zonificación de Riesgo del territorio para los fines de la planificación y el ordenamiento del territorio. Desde su fundación, el IDEAM fue encargado del levantamiento y manejo de la información científica y técnica sobre los ecosistemas para establecer las bases técnicas para clasificar y zonificar el uso del territorio nacional para los fines de la planificación y el ordenamiento del territorio (Ley 99 de 1993).

El Decreto 1640 de 2012, incluye la gestión del riesgo en la planificación territorial y define las directrices para la ordenación de cuencas. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, emitió la Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas –POMCA (Resolución 1907 de 2013). En el Anexo B de la citada Guía se presenta la conceptualización general y definición de los requerimientos mínimos a tener en cuenta para incluir la Gestión del Riesgo en la formulación o ajuste de los POMCA.

Considerando lo novedoso del desarrollo de la temática de Gestión del Riesgo, desde un punto de vista integral con las demás temáticas en la Guía Técnica de POMCA, se aporta el protocolo como una herramienta de apoyo, incorporando el componente de gestión del riesgo como determinante del ordenamiento territorial.

De acuerdo con la Ley 1523 de 2012, se debe integrar la Gestión del Riesgo en la planificación territorial y del desarrollo; en los POMCA desde la fase de aprestamiento hasta la fase de formulación, considerando la Gestión del Riesgo, como un condicionante para el uso y ocupación del territorio, lo que vuelve transversal a este componente en los POMCA.

La Gestión de Riesgos en los POMCA contempla la probabilidad de ocurrencia de fenómenos amenazantes de origen natural en la cuenca hidrográfica, que pueden afectar gravemente las áreas para la biodiversidad y los ecosistemas, los asentamientos humanos y la infraestructura y las áreas donde se desarrollan actividades productivas. Se tiene como objetivo establecer las medidas necesarias para evitar el deterioro de los recursos naturales, la afectación del desarrollo económico y social y evitar la configuración de nuevas condiciones de vulnerabilidad y riesgo.

La Gestión del Riesgo en el POMCA se orienta a:

- Identificar las posibilidades de afectación en la cuenca, principalmente para los asentamientos humanos, la infraestructura y los medios de producción, por la ocurrencia de

eventos amenazantes, incluyendo condiciones de variabilidad climática por eventos hidrometeorológicos extremos.

- Propender por una localización segura para las actividades socio-económicas en la cuenca, teniendo en cuenta una sostenibilidad ambiental y adaptación al cambio climático.
- Identificar la tendencia de las condiciones de amenaza, de la vulnerabilidad de elementos expuestos y de los escenarios de riesgo identificados en la cuenca hidrográfica, para proponer y concertar acciones para la reducción del riesgo.
- Identificar los condicionamientos de uso y ocupación del suelo, priorizar programas para el conocimiento y la reducción de los riesgos existentes para evitar nuevas condiciones de riesgo.

Adicionalmente, la Ley 1523 de 2012 por la cual se adopta la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres plantea en su artículo segundo:

“La gestión del riesgo es responsabilidad de todas las autoridades y de los habitantes del territorio colombiano. En cumplimiento de esta responsabilidad, las entidades públicas, privadas y comunitarias desarrollarán y ejecutarán los procesos de gestión del riesgo, entiéndase: conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y manejo de desastres, en el marco de sus competencias, su ámbito de actuación y su jurisdicción, como componentes del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres”.

Como norma específica en el tema de riesgo, donde se define la Política Nacional de Gestión del Riesgo y se asigna responsabilidades en el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo del Desastre a las diferentes entidades públicas y privadas en el territorio nacional, además ajusta o da alcance a las normas anteriores sobre el tema.

El principio de sostenibilidad ambiental “El riesgo de desastre se deriva de procesos de uso y ocupación insostenible del territorio, por tanto, la explotación racional de los recursos naturales y la protección del medio ambiente constituyen características irreductibles de sostenibilidad ambiental y contribuyen a la gestión del riesgo de desastres” (Ley 1523 de 2012, artículo 3, numeral 9).

Las CAR como parte del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo, tienen dentro de sus funciones, apoyar las entidades territoriales de su jurisdicción en todos los estudios para el conocimiento y la reducción del riesgo y los deben integrar a los planes de ordenamiento de cuencas, de gestión ambiental, de ordenamiento territorial y de desarrollo (artículo 31, Ley 1523 de 2012). Adicionalmente deben integrar en los POMCA “(...) el análisis del riesgo en el diagnóstico biofísico,

económico y socio-ambiental y, considerarán el riesgo de desastres, como un condicionante para el uso y la ocupación del territorio, procurando de esta forma evitar la configuración de nuevas condiciones de riesgo (artículo 39 de la Ley 1523 de 2012).

Los alcances de la Gestión del Riesgo en la etapa de diagnóstico son:

- La identificación de la susceptibilidad de amenazas en la cuenca a ser afectada por movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales, incendios forestales y actividad volcánica (información suministrada por la autoridad competente, esto es, el Servicio Geológico Colombiano - SGC).
- La identificación, evaluación y zonificación de las amenazas naturales en las zonas identificadas como de susceptibilidad crítica en la cuenca hidrográfica. Los métodos usados deben estar conforme al nivel de la información básica existente, con el fin de conocer la probable ubicación y severidad de los fenómenos naturales peligrosos, así como la probabilidad de que ocurran en un tiempo y área específicos.
- La identificación, caracterización y clasificación de los elementos expuestos, que son vulnerables ante los diferentes eventos amenazantes analizados, en las áreas identificadas como de amenaza media y alta.
- La determinación del análisis de vulnerabilidad dada en el grado de afectación representado en las pérdidas o posibles daños que pueda ocasionar un determinado evento potencialmente peligroso, de origen natural, sobre elementos vulnerables como las superficies agrícolas, población, viviendas, infraestructura vital y equipamientos. El grado de vulnerabilidad se puede obtener mediante una evaluación cualitativa y semi-cuantitativa.
- Realizar un análisis de riesgos a partir de la identificación y análisis de la vulnerabilidad, el cual tiene como objetivo servir como base para definir y priorizar escenarios de riesgos y los planes y programas de reducción de riesgos en las cuencas hidrográficas.

A continuación se presenta el desarrollo del diagnóstico para el componente Gestión del Riesgo en el POMCA de la cuenca del río Nare.

La metodología aplicada hace referencia al estudio de Gestión de Riesgo en la Fase de Diagnóstico para conocer la Susceptibilidad y Amenaza del territorio de la cuenca a la ocurrencia de los eventos, evaluar la Amenaza en las zonas críticas identificada como de susceptibilidad media y alta, estudiar la Vulnerabilidad de los elementos expuestos y analizar el Riesgo producto de la concurrencia de la Amenaza y la Vulnerabilidad, para los diferentes escenarios de la amenaza evaluada. Los pasos son los siguientes:

1. Uso de la información identificada y recopilada en la Fase de Aprestamiento como:
 - Revisión y consolidación de información existente sobre Gestión de Riesgos:
 - Información cartográfica
 - Fotografías Aéreas e Imágenes Satelitales
 - Estudios de Amenaza Vulnerabilidad y Riesgo
 - Registro Histórico de Eventos
 - Mapas temáticos existentes
2. Uso de la información levantada en la Fase de Diagnóstico, referente a la caracterización Básica y Biofísica de cada una de las cuencas como: Clima, Geología, Geomorfología, Unidades Geológicas Superficiales, Hidrología, Hidrogeología, Cobertura Vegetal, Uso actual del Suelo, Registro de eventos ocurridos con su localización, magnitud, duración e identificación de las probables causas, Infraestructura y viviendas y asentamientos existente.
3. Posteriormente con la información anterior se debe:
 - Proceder con la identificación de la susceptibilidad de amenazas en la cuenca a ser afectada por movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales, incendios forestales.
 - Realizar la identificación, evaluación y zonificación de las amenazas naturales en las zonas identificadas como de susceptibilidad crítica (media y alta) en la cuenca hidrográfica. Se trata de conocer la probable ubicación y severidad de los eventos peligrosos, así como la probabilidad de que ocurran en un tiempo y área específicos.
 - Realizar la identificación, caracterización y clasificación de los elementos expuestos (de infraestructura estratégica, socio económicos y de los recursos naturales) que son vulnerables ante los diferentes eventos analizados como de amenaza alta. Posteriormente determinar la vulnerabilidad de acuerdo con en el grado de afectación representado en las pérdidas o posibles daños que pueda ocasionar un determinado evento potencialmente peligroso, de origen natural, sobre los elementos vulnerables que conforman los ecosistemas, superficies agrícolas, población, viviendas, infraestructura vital y equipamientos. El grado de vulnerabilidad se puede obtener mediante una evaluación cualitativa y semi-cuantitativa.
 - Finalmente realizar un análisis de riesgos a partir de la identificación y análisis de la vulnerabilidades, para cada una de las amenazas, para que sirva como base para definir y priorizar escenarios de riesgos y los planes y programas de reducción del riesgo en la cuenca hidrográfica.

En la descripción de cada uno de los eventos amenazantes (Inundación, Avenidas Torrenciales, Movimientos en Masa, Incendios Forestales), se explica con más detalle la metodología y procedimiento realizado para cada uno de ellos.

8.1 Caracterización histórica de amenazas y eventos amenazantes

Las áreas montañosas correspondientes a las vertientes y valles que forman parte de las diversas unidades geomorfológicas que componen la Cordillera Central de Colombia, se han caracterizado históricamente por presentar diferentes tipos de eventos naturales que han generado afectaciones importantes en vidas humanas, viviendas, infraestructura de todo tipo, cultivos, actividades económicas e industriales y en general en la calidad de vida de las poblaciones involucradas.

Para realizar de manera acertada la caracterización de las condiciones de riesgo, se debe comenzar por conocer los antecedentes que ha presentado el territorio que conforma la cuenca, lo cual entrega líneas generales sobre la forma como se ha comportado el mismo ante la ocurrencia de los fenómenos amenazantes, sus causas, la influencia antrópica en su generación, los efectos que se han ocasionado, la recurrencia de los eventos, su magnitud y demás características que llevan a definir patrones de comportamiento. Además, permite determinar relaciones de causalidad entre los mismos fenómenos analizados.

8.1.1 Metodología

La caracterización histórica parte de recopilar y analizar los inventarios y registros existentes, de eventos históricos ocurridos en la cuenca, a partir de información proveniente de estudios ejecutados en la misma, o desde informes técnicos elaborados por entidades con misión de atención de desastres o gestión de riesgos naturales.

En particular se realizaron consultas en CORNARE y CORANTIOQUIA como entidades encargadas de la gestión del riesgo a nivel regional, así como en el DAPARD cuyas labores cotidianas han incluido la atención de eventos en el Departamento de Antioquia. De igual manera se realizaron consultas en el Servicio Geológico Colombiano y la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres para determinar la situación regional de cada tipo de evento, y se realizó la consulta y análisis de la base de datos DESINVENTAR, la cual contiene registros de eventos históricos ocurridos en todo el País.

Una vez recopilada la información, se procedió a realizar un primer filtro a la misma, con el más importante criterio a evaluar, el cual corresponde a determinar si los datos se encuentran espacializados, es decir, si los eventos que hacen parte de la respectiva base de datos poseen

Una vez diligenciado el formato, se realizó la labor de espacialización en aquellos casos que la información lo permitió, por poseer coordenadas. Esto fue ejecutado por medio del software ArcGIS, y se realizó de acuerdo con lo exigido en los Alcances Técnicos, según lo cual “se debe generar una salida cartográfica por cada tipo de fenómeno. Estas salidas deben contemplar como mínimo la delimitación de los puntos o polígonos de afectación asociados a períodos de ocurrencia diferenciados por colores, siguiendo la estructura que se presenta a continuación:

- Rojo: eventos más recurrentes, es decir, más de un evento en los últimos quince años.
- Naranja: un evento en los últimos quince años o los ocurridos en un período de tiempo comprendido entre los 15 a 50 años.
- Amarillo: para los eventos pasados, es decir, para los ocurridos por encima de los 50 años”.

Ya elaboradas estas salidas cartográficas, se procedió a realizar el análisis de la información generada, análisis que tuvo varios asuntos como focos de la atención del equipo de profesionales:

- Agrupamiento de varios eventos en una misma zona, sector o porción de vereda.
- Recurrencia de eventos en un mismo sitio, con un margen de 200 metros alrededor de cada punto ubicado.
- Ubicación de eventos en los polígonos definidos como de alta amenaza ante movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales, en la cartografía generada para los Estudios de Riesgo que elaboró CORNARE para cada uno de los municipios de su jurisdicción.

Una vez realizadas estas observaciones, se elaboró el informe correspondiente el cual contiene el desarrollo de cada una de estas fases metodológicas. Es importante anotar que la metodología general utilizada en el diagnóstico de este POMCA, fue previamente avalada por CORNARE.

8.1.2 Resultados

Bases de datos encontradas y analizadas

En la búsqueda de información realizada como parte de la primera fase del presente estudio, fueron consultadas siete fuentes de información:

DESINVENTAR:

Es un sistema de adquisición, consulta y despliegue de información sobre desastres de pequeños, medianos y grandes impactos, con base en datos preexistentes, fuentes hemerográficas y reportes de instituciones. Se presentan los datos sobre fecha de ocurrencia, lugar (en la mayoría de casos no georreferenciado), afectaciones, damnificados, causas (en algunos casos no se presenta).

DAPARD:

Contiene los registros de visitas técnicas realizadas por funcionarios del departamento DAPARD adscrito a la Gobernación de Antioquia, de acuerdo con situaciones de riesgo potencial o con la ocurrencia de eventos, que son reportadas desde los municipios. Se presentan estos registros en un formato cuyo diseño es interno de la dependencia mencionada, el cual permite presentar de manera organizada la información recogida en campo y los análisis efectuados a la misma por el profesional asignado a atender el caso.

UNGRD:

Base de datos del nivel nacional, que señala eventos ocurridos en todo el País, fue consultada la información correspondiente a los municipios que hacen parte de la cuenca. No presenta espacialización precisa del sitio donde ocurrió cada evento, solo menciona el municipio donde tuvo lugar y el tipo de evento.

SIMMA:

Corresponde al Sistema de Información de Movimientos en Masa, el cual coordina el Servicio Geológico Colombiano, y que se materializa en un mapa a escala 1:100.000 donde se presentan las amenazas ante movimientos en masa en las categorías Muy Alta (rojo), Alta (naranja), Media (amarillo) y Baja (verde). La información se presenta de dos maneras: datos de inventario que corresponden a informes técnicos levantados en campo por profesionales del SGC, ubicados espacialmente y caracterizados de manera precisa; y los datos de catálogo que corresponden a la recopilación de información secundaria, la cual en muchos casos tiene relación con reportes de prensa. Se puede consultar los daños causados y las pérdidas sufridas por la ocurrencia del evento, desde la fecha que se quiera realizar la búsqueda.

CORNARE:

La información proveniente de la Corporación se puede clasificar en dos partes:

- Datos provenientes de los estudios denominados “Evaluación y zonificación de riesgos por avenida torrencial, inundación, movimiento en masa y dimensionamiento de procesos erosivos”, realizados por CORNARE para cada uno de los municipios de su jurisdicción. Corresponde a visitas realizadas a diferentes sitios de cada municipio, donde se evaluó la ocurrencia de un evento, los daños producidos, las causas, y se realizaron propuestas y

diseños para mitigación. Esta información se encuentra georreferenciada en las fichas correspondientes al Anexo 8.1 de estos estudios.

- Información derivada de visitas técnicas producto del trabajo cotidiano que realiza la Corporación desde la Oficina de Ordenamiento Territorial y Gestión del Riesgo, con el fin de atender situaciones de amenaza y riesgo que son reportadas desde los municipios o la comunidad. Posee la ubicación georeferenciada de cada evento, la fecha de atención y el procedimiento interno surtido para cada visita.

CORANTIOQUIA:

La base de datos que suministró esta Entidad posee el registro de los eventos atendidos, sin embargo no posee fecha de ocurrencia (dato que es fundamental para efectos de la cartografía del presente proyecto). De igual manera no presenta registro de daños ni afectaciones. Sin embargo, si posee georeferenciación.

ACTORES DE LA GESTIÓN DEL RIESGO:

En cada uno de los municipios que conforman la cuenca, se tienen actores que hacen parte de los procesos que involucra la gestión del riesgo, entre los cuales se tiene la Oficina Municipal de Gestión del Riesgo, Bomberos, Defensa Civil, Hospital, entre otros. A estos actores les fue aplicada una encuesta en la cual describieron de manera general algunos eventos sucedidos en su municipio dentro de los cuatro tipos que se analizan en el presente trabajo. Este formato, para cada tipo de evento, corresponde a los requeridos en el Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (Figuras 3-7, 3-8, 3-11, 3-17).

Depuración de bases de datos

Se procedió a aplicar filtros a la información, en relación con su carácter de cartografiable o no cartografiable; para ello se verificó si poseían coordenadas, y se separaron aquellos datos que las poseían respecto a las que no las tenían.

Se determinó que las bases de datos se clasifican, según este criterio, de la siguiente manera:

Tabla 393. Bases de datos que pueden espacializarse.

BASE DE DATOS	POSEE COORDENADAS	
	SI	NO
DESINVENTAR		X
DAPARD	X	

BASE DE DATOS	POSEE COORDENADAS	
	SI	NO
UNGRD		X
SIMMA	X	
CORNARE visitas técnicas	X	
CORNARE estudios riesgo	X	
CORANTIOQUIA	X	
Información desde comunidad		X

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Otro asunto fundamental es la antigüedad de los datos, de manera más precisa se trata de establecer desde qué año posee reportes cada base de datos. La situación es la siguiente:

Tabla 394. Antigüedad de los primeros reportes de las bases de datos

BASE DE DATOS	POSEE DATOS DESDE CUÁNDO		
	Menos de 15 años	Entre 15 y 50 años	Más de 50 años
DESINVENTAR			X (desde 1935)
DAPARD	X (desde 2012)		
UNGRD		X (desde 1998)	
SIMMA	Todos los años		
CORNARE visitas técnicas	X (desde 2013)		
CORNARE estudios riesgo	X (desde 2012)		
CORANTIOQUIA	No posee fechas		
Información desde comunidad	Todos los años		

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Formato para el catálogo

Una vez descargada toda la información en el formato establecido para el proyecto, el resultado obtenido corresponde a un archivo en Excel (Anexo 8.1), en el cual se observa que no todas las bases de datos poseen la totalidad de la información solicitada en dicho formato.

Espacialización de la información del catálogo

La herramienta ArcGIS permitió generar los mapas que contienen la localización de los eventos ocurridos en la cuenca, uno por cada tipo de evento. Estos mapas se presentan a continuación en

la Figura 378 y Figura 379. Es de anotar que los eventos de incendios forestales y avenidas torrenciales no se encuentran espacializados en las bases de datos.

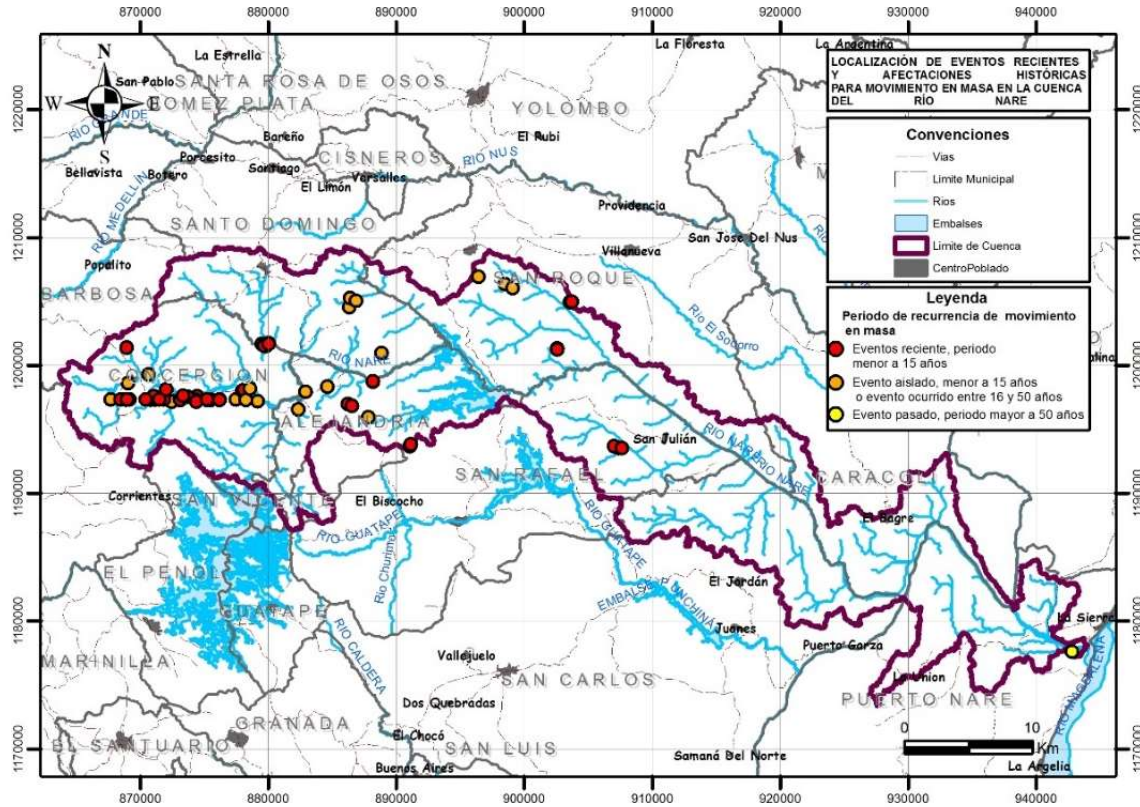


Figura 378. Eventos de movimientos en masa ocurridos en la cuenca.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

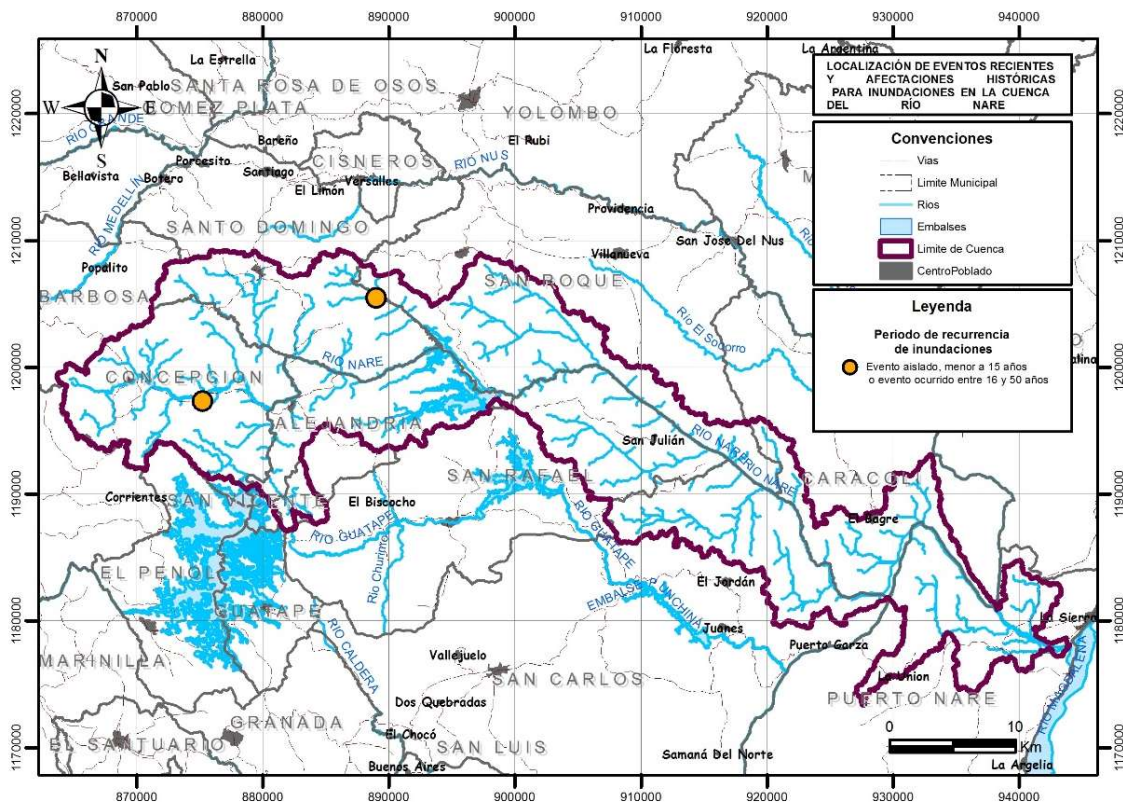


Figura 379. Eventos de inundación ocurridos en la cuenca.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Encuestas a los actores de la gestión del riesgo en la cuenca

A partir de la base de datos suministrada por el componente Social del proyecto, que contiene los actores de la gestión del riesgo en la cuenca, se procedió a elaborar unas encuestas con dichos actores. El procedimiento fue el siguiente:

- Recopilación y análisis de la base de datos de los actores. Una vez adquirida la base de datos, fue analizada y filtrada la información para la cuenca del río Nare (Anexo 8.2).
- Preparación de formatos de encuestas. Extraídos del documento del Protocolo.
- Contacto a los actores de la gestión del riesgo. Por las vías que permitió la información contenida en la base de datos: celular, teléfono fijo, correo electrónico. Se llevó un registro de los contactos realizados y los contactos fallidos. Este registro se presenta en el Anexo 8.3.
- Explicación del procedimiento a los actores. Al momento de contactarlos se les socializó el proyecto, y se les explicó el objetivo y contenido de la actividad. Se les indagó sobre su

antigüedad en el cargo que actualmente desempeñan, y se les comunicó que se les enviaría los formatos vía correo electrónico. Se les informó que tendrían un plazo de quince (15) días para diligenciarlos y enviarlos al correo del proyecto.

- Envío de los formatos a cada actor de la gestión del riesgo.
- Recepción de los formatos y organización y archivo de los mismos. Los formatos se encuentran en el Anexo 8.3.
- Análisis y sistematización de los formatos recibidos.
- Elaboración del informe correspondiente a los actores de la cuenca.

Los resultados de la aplicación de las encuestas se presentan a continuación.

El Río Nare distribuye su cuenca entre los municipios de Santo Domingo, San Carlos, San Rafael, Caracolí, Puerto Nare, San Roque, Alejandría y Concepción. De acuerdo con la información que se pudo recolectar, de los tres últimos mencionados no se obtuvo registros de los eventos que se querían analizar, debido a que no se pudo establecer contacto con los actores o porque la información nunca fue recibida.

Sin embargo, los datos que se lograron analizar muestran que los movimientos en masa son los principales fenómenos en la cuenca (6 casos), seguidos de las inundaciones (4 casos), avenidas torrenciales (4 casos) y en menor medida, los incendios forestales (2 casos) (Figura 380).

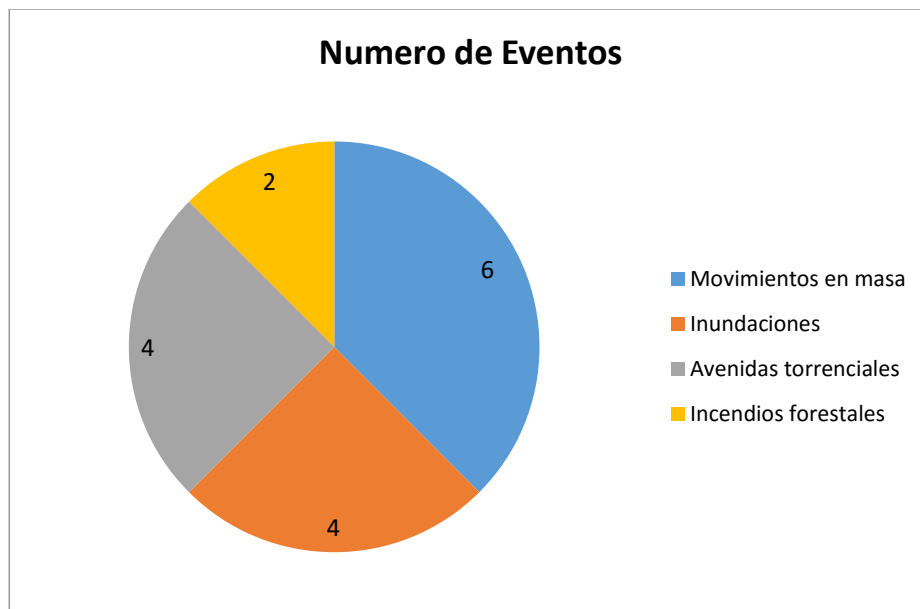


Figura 380. Distribución por número de eventos de cada clase para la cuenca del Río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Tabla 395. Cantidad de eventos registrados en las encuestas.

NUMERO DE EVENTOS	
Movimientos en masa	6
Inundaciones	4
Avenidas torrenciales	4
Incendios forestales	2

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

En la Figura 381 se observa para la cuenca del río Nare, una clara tendencia en aumento de los eventos analizados para los últimos cinco años, 10 casos; en comparación con los periodos de tiempo anteriores, entre 5 y 15 años, entre 16 y 30 años, entre 51 y 75 años; con número de casos registrados de 3, 2 y 1 respectivamente. Los efectos del cambio de uso de suelos y deforestación, sumado a periodos invernales pueden estar generando mayor inestabilidad en las laderas que componen la cuenca, por lo que los movimientos en masa se han incrementado. También, el aumento poblacional y la construcción de edificios en zonas inestables pueden estar aportando a este incremento.

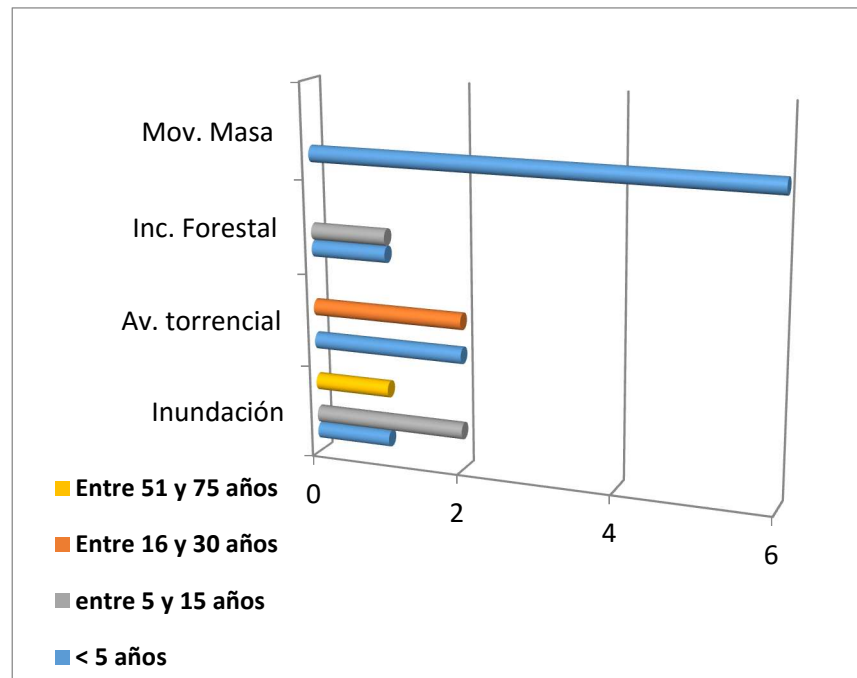


Figura 381. Distribución temporal de los eventos registrados en la cuenca del Río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Tabla 396. Ocurrencia por periodos de tiempo.

OCURRENCIA POR PERIODOS DE TIEMPO	
< 5 años	10
Entre 5 y 15 años	3
Entre 16 y 30 años	2
Entre 31 y 50 años	No Registra
Entre 51 y 75 años	1
Hace más de 75 años	No Registra

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

< 5 años				entre 5 y 15 años				Entre 16 y 30 años				Entre 51 y 75 años			
Inundación	Avenida torrencial	Incendio Forestal	Mov. Masa	Inundación	Av. torrencial	Incendio Forestal	Mov. Masa	Inundación	Av. torrencial	Incendio Forestal	Mov. Masa	Inundación	Av. torrencial	Inc. Forestal	Mov. Masa
1	2	1	6	2	N. R.	1	N. R.	N. R.	2	N.R.	N. R.	1	N. R.	N.R.	N. R

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

En las siguientes Figuras se presenta la espacialización aproximada de la información suministrada por los actores de la gestión del riesgo entrevistados.

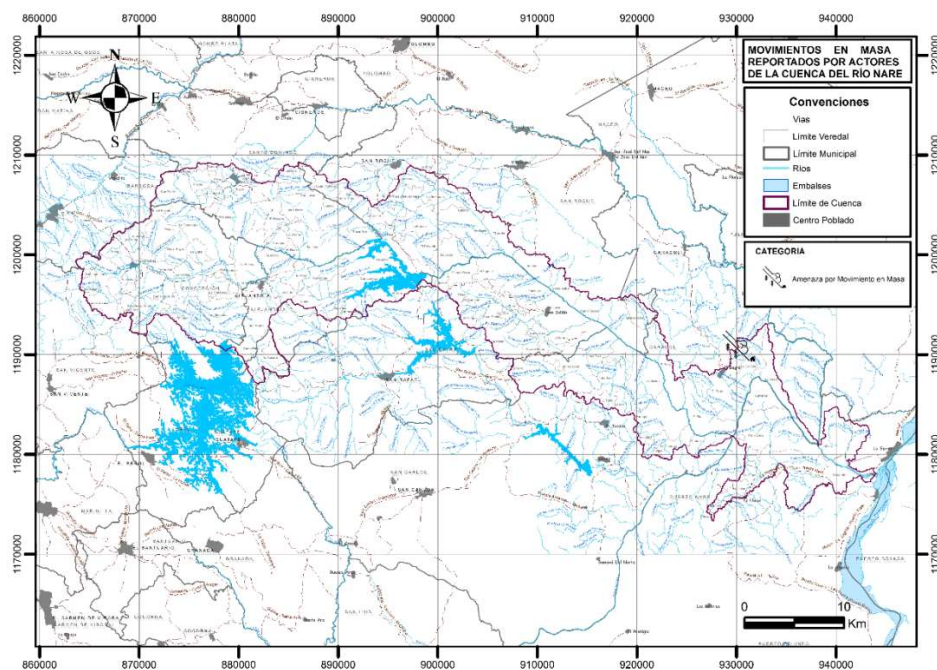


Figura 382. Localización de movimientos en masa en la cuenca según actores.
Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

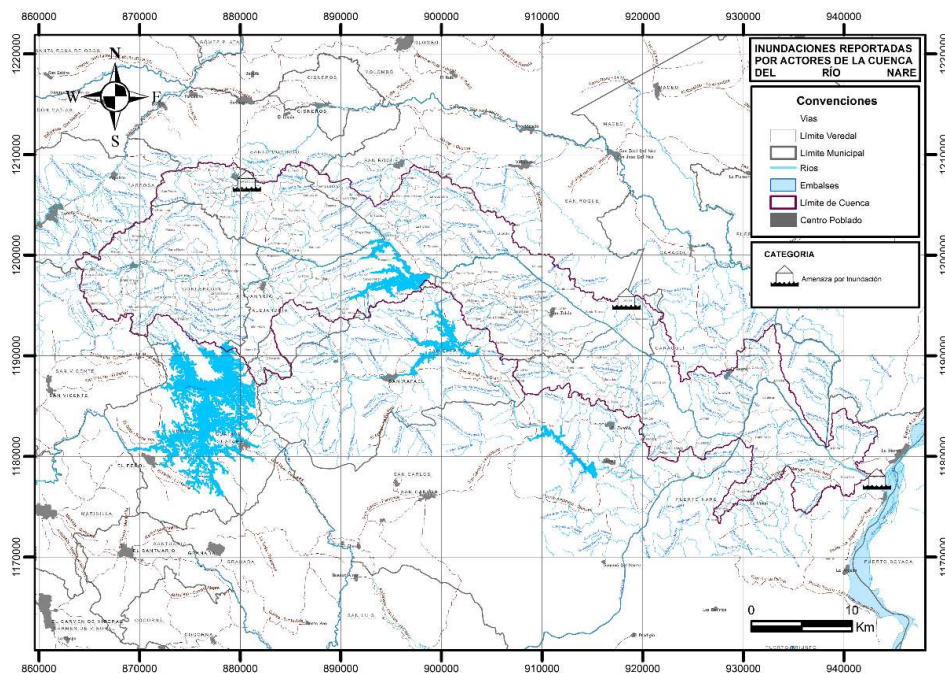


Figura 383. Localización de inundaciones en la cuenca según actores.
Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

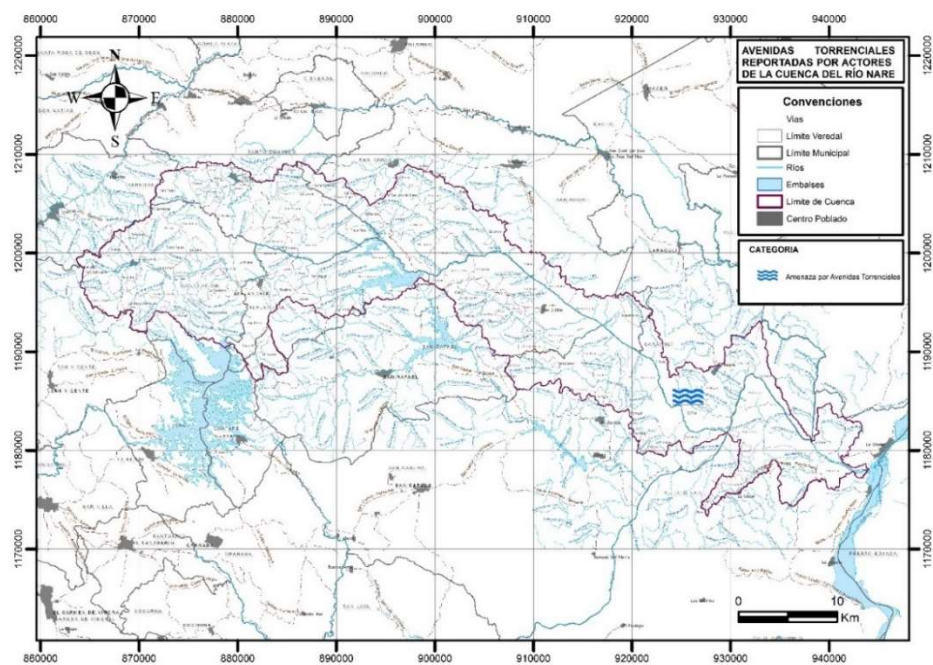


Figura 384. Localización de avenidas torrenciales en la cuenca según actores.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

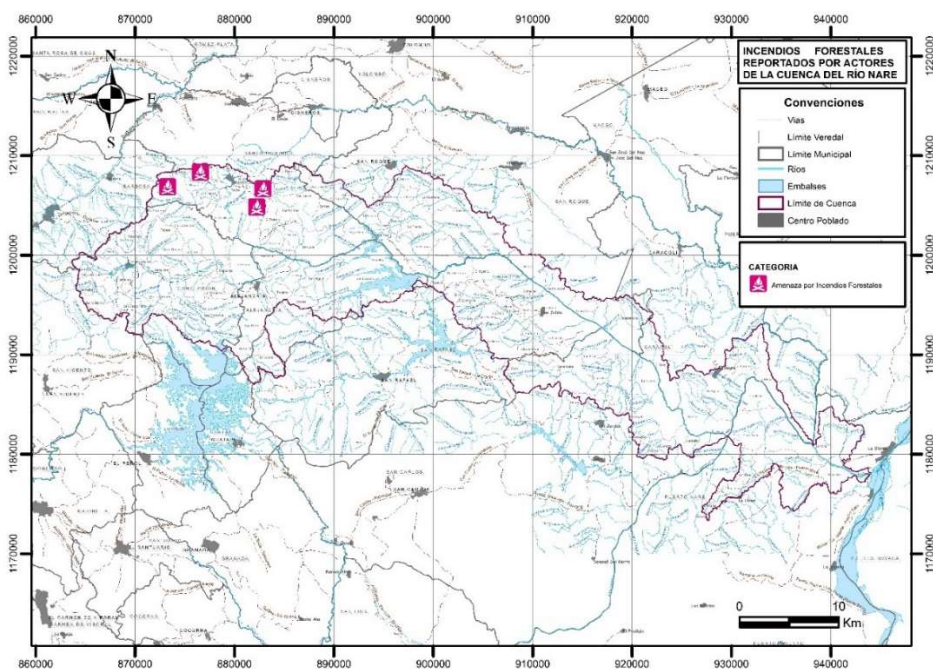


Figura 385. Localización de incendios forestales en la cuenca según actores.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

8.1.3 Análisis de la información

A partir de los mapas anteriores y del análisis del catálogo generado, puede observarse lo siguiente en relación con la calidad de los datos encontrados y con la información en general:

Sobre las bases de datos consultadas

Algunas bases de datos presentan vacíos importantes, dado que no se guarda concordancia entre ellas, no se manejan campos unificados; es así como SIMMA, DAPARD, CORANTIOQUIA y CORNARE presentan georeferenciación mientras que DESINVENTAR, UNGRD y la información proveniente de los actores de la gestión del riesgo no la tiene. Algunas bases de datos enumeran y/o describen daños o pérdidas, como DESINVENTAR, DAPARD y SIMMA, y la que proviene de los estudios de riesgo de CORNARE, mientras que las demás no tienen esa información. Asociada con esta situación, se encuentra la variedad de formas que se utilizan para georeferenciar desde diferentes sistemas de coordenadas, lo cual complejiza el proceso de georeferenciación.

Existen campos en las bases de datos, que no reflejan totalmente lo que implica la caracterización de un fenómeno que ha ocurrido. Ejemplo de ello es la gama de campos utilizados para señalar las pérdidas o daños, los cuales no permiten hacer distinción entre diferentes tipos de estructuras físicas como viviendas o equipamientos.

De igual manera se presenta en algunos casos, ausencia de precisión en la ubicación del evento, pues además de que muchos reportes no presentan georeferenciación, mencionan como sitio de ocurrencia por ejemplo “zona urbana” o “zona rural”, lo cual no permite espacializar ni asociar el evento a unas características del territorio en un sector determinado.

La fecha del evento, dato que es fundamental para efectos de llevar a espacialización esta información en el presente proyecto, en pocos casos corresponde a la fecha real de ocurrencia del mismo, pues en muchos de ellos se trata de la fecha del reporte del evento, el cual pudo darse varios días e incluso meses después de ocurrido el evento. De manera particular, la base de datos proveniente de CORANTIOQUIA no posee fecha de ocurrencia, lo cual para el presente trabajo le otorga una dificultad en términos de utilidad de esta información para efectos de cartografiarla.

La identificación misma del tipo de evento tiene bajo nivel de confiabilidad en bases de datos como DESINVENTAR, la cual procede principalmente de reportes extraídos de periódicos. Quien reportó periódicamente los eventos en años anteriores e incluso quien lo reportó desde el municipio respectivo, no poseía en muchos casos la claridad técnica suficiente para definir el tipo de evento, distinguiendo por ejemplo una inundación de una avenida torrencial, o los diferentes tipos de

movimientos en masa. Esta situación le asigna a esta base de datos un grado de confiabilidad que no facilita su incorporación a los análisis.

En concordancia con lo anterior, se encuentra por ejemplo el reporte de algún evento sucedido, que pudo ser ocasionado por otro evento diferente, es el caso de movimientos en masa que ocasionan avenidas torrenciales, y en la base de datos pudo ser reportado solo uno de los dos. Otro caso es cuando varios movimientos en masa ocurren de manera simultánea en un mismo sector, debido por ejemplo a lluvias fuertes, y el evento se reporta como un solo deslizamiento, lo cual reduce de manera significativa la importancia que debe asignarse al evento ocurrido.

En adelante se debe hacer un énfasis especial en el análisis de las causas de los eventos, ya que en muy pocas bases de datos este campo tiene importancia. Es fundamental reseñarlo con rigor técnico pues las soluciones que se planteen deben estar orientadas a atacar o mitigar las causas que los generan.

Sobre la información encontrada para la cuenca

El catálogo ayuda a visualizar algunos detalles sobre la recurrencia o la frecuencia en que algunos sitios presentan los mismos fenómenos; es el caso de algunas vías como las que dan salida de la zona urbana de San Rafael, las crecientes en San Carlos y las inundaciones del río Magdalena en Puerto Nare. Las inundaciones de las quebradas que cruzan el centro urbano de San Roque, así como los movimientos en masa en las laderas de la cabecera de San Rafael.

La fecha siempre se constituye en una información fundamental, dado que permite señalar las épocas de año donde abundan o se concentran en ocasiones cierto tipo de fenómenos. Es claro por ejemplo en el catálogo, que los meses de abril, mayo, octubre y noviembre son las épocas donde se manifiesta un mayor número de eventos de inundaciones y movimientos en masa, mientras que los meses de enero y febrero contienen la mayor cantidad de incendios forestales.

Los centros urbanos en general se caracterizan por presentar un importante número de eventos de inundaciones. El río Magdalena en Puerto Nare y las quebradas que atraviesan los cascos urbanos de San Roque, Alejandría, Concepción, San Carlos, San Rafael, han presentado históricamente varios eventos de crecientes e inundan las áreas aledañas que se encuentran totalmente urbanizadas, ocasionando tragedias con población damnificada que se cuenta en cientos e incluso miles de personas. Los municipios mencionados son algunos ejemplos de centros urbanos que han soportado estos eventos.

La mayor parte de eventos que reportan las bases de datos consultadas, presentan una afectación notoria de viviendas, vías, damnificados y en ocasiones en líneas o sistemas de suministro de servicios públicos, o en afectaciones económicas y en las industrias de la zona, lo cual debería tratarse de manera más detallada y precisa, dado que son dos temas estructurales al momento de la atención de las consecuencias del evento y en la etapa post desastre.

Existen municipios con amplio historial de movimientos en masa, como San Rafael, San Carlos, San Roque y Santo Domingo. Las áreas que hacen parte de la divisoria general de la cuenca, así como las correspondientes a las subcuencas más importantes, presentan mayores susceptibilidades ante este fenómeno. Sin embargo las bases de datos no precisan los diferentes tipos de movimientos en masa, lo cual no permite analizar las tendencias en este sentido.

Sin duda el factor detonante que predomina en el medio en el que se ubica la cuenca, que corresponde al trópico, es la lluvia, pues este factor se presenta de manera cotidiana, permanente y en ocasiones con intensidades que sobrepasan la tasa de infiltración de los suelos, facilitando la ocurrencia de los eventos de movimientos en masa e hidroclicmáticos. De igual manera en las épocas de escasas lluvias, se facilita la ocurrencia de los incendios forestales; en el catálogo puede apreciarse que existen municipios con mayor susceptibilidad a presentarlos, como San Carlos y Santo Domingo, donde aún se conservan coberturas boscosas.

Sobre la aplicación de las encuestas a los actores de la gestión del riesgo

El inconveniente más importante fue que el registro de estos eventos no se ha llevado a cabo de forma sistemática en los municipios, y en la mayoría de los casos, estos sucesos se conocen por los recuerdos de los pobladores y otras personas asociadas al manejo y prevención de desastres, recuerdos que en muchas ocasiones no son precisos.

Por otra parte, muchas de las personas contactadas inicialmente, en la actualidad, no hacen parte de los entes de gestión del riesgo, por lo que no poseían información al respecto. También algunos contactos en las bases de datos no tenían los datos actualizados, por lo que el número de teléfono móvil o dirección de correo electrónico estaban errados o no hubo respuesta.

Por último, varios de los encuestados no enviaron la información que se les solicitó, a pesar de que en múltiples ocasiones se les recordó hacerlo.

Otro elemento a tomar en cuenta es que el registro histórico de estos eventos no ha sido sistematizado correctamente en las alcaldías y entidades de control que tienen la cuenca, ya que muchas de estas personas argumentaron no tener registros de estos eventos, o si los hay, el

cubrimiento histórico es muy reciente, ya que en épocas anteriores no se le daba un correcto manejo a estos datos.

De otra parte, aún en los actores con formación técnica fue evidente la confusión en los conceptos de inundación y avenida torrencial, lo cual no permitió delimitar esos eventos como uno u otro, y por esta razón, no fueron llevados a la cartografía social.

Es importante anotar que en general, los registros de las inundaciones corresponden a los sitios definidos con amenaza ante este tipo de evento, mientras que los movimientos en masa definen áreas que el catálogo no reporta.

Análisis gráfico

Tipos de eventos ocurridos en la cuenca.

La distribución de los tipos de eventos en el universo de eventos ocurridos en la cuenca, se presenta en la Figura 386 y en la Tabla 397.

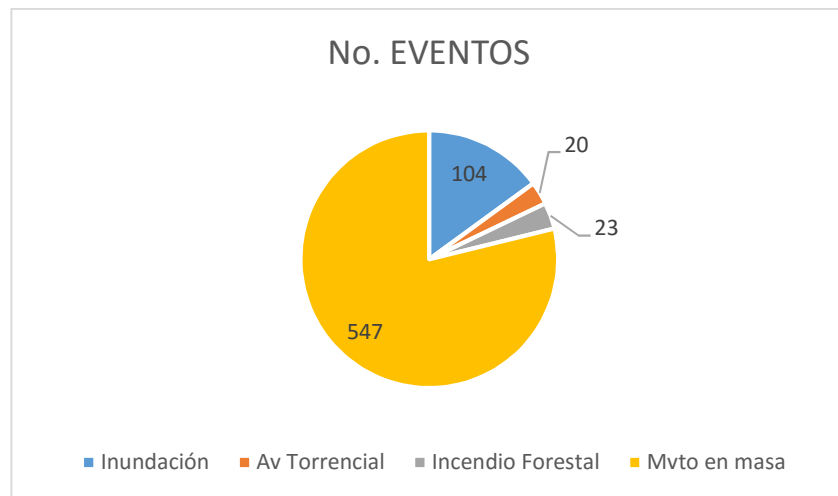


Figura 386. Distribución de los tipos de eventos en el total de eventos ocurridos en la cuenca.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Tabla 397. Tipos de eventos ocurridos en la cuenca.

TIPO DE EVENTO	NÚMERO DE EVENTOS OCURRIDOS
Inundación	104
Avenida torrencial	20

TIPO DE EVENTO	NÚMERO DE EVENTOS OCURRIDOS
Incendio forestal	23
Movimiento en masa	547
TOTAL	694

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Se observa de la Figura y Tabla anteriores, que los movimientos en masa predominan ampliamente sobre los demás tipos de eventos; esto se debe al carácter montañoso de la cuenca. Sin embargo, por las características de las formaciones superficiales presentes, conformadas por suelos arenosos, y debido a la presencia de lluvias en algunos periodos del año, se presenta una susceptibilidad relativa a presentar desgarres y en general erosiones superficiales.

Por otra parte, la presencia de zonas inundables derivadas de la actividad de quebradas y ríos que surcan algunos centros urbanos en la cuenca, genera áreas de pendiente suave que son fácil y frecuentemente inundables, lo cual ha ocasionado algunos eventos importantes, constituyéndose la inundación en el segundo tipo de evento más frecuente en la cuenca del Río Nare.

En relación con las avenidas torrenciales, y tal como se mencionó en la evaluación de la información proveniente de las bases de datos, no se tiene certeza sobre la veracidad de los reportes, pues al parecer se presenta confusión entre los reportes de avenidas torrenciales e inundaciones. Como se verá más adelante en el numeral correspondiente a Avenidas Torrenciales, en la cuenca del Río Nare se presentan algunos depósitos torrenciales en zonas donde se dan las condiciones para que existan cuencas de carácter torrencial. Esta situación implica que en adelante deben enfocarse esfuerzos en la manera como se reportan técnicamente los eventos que continuarán alimentando las bases de datos.

Tipos de eventos ocurridos por municipio

La distribución de los tipos de eventos en los municipios que conforman la cuenca, se presenta en la Figura 387 y en la Tabla 398.

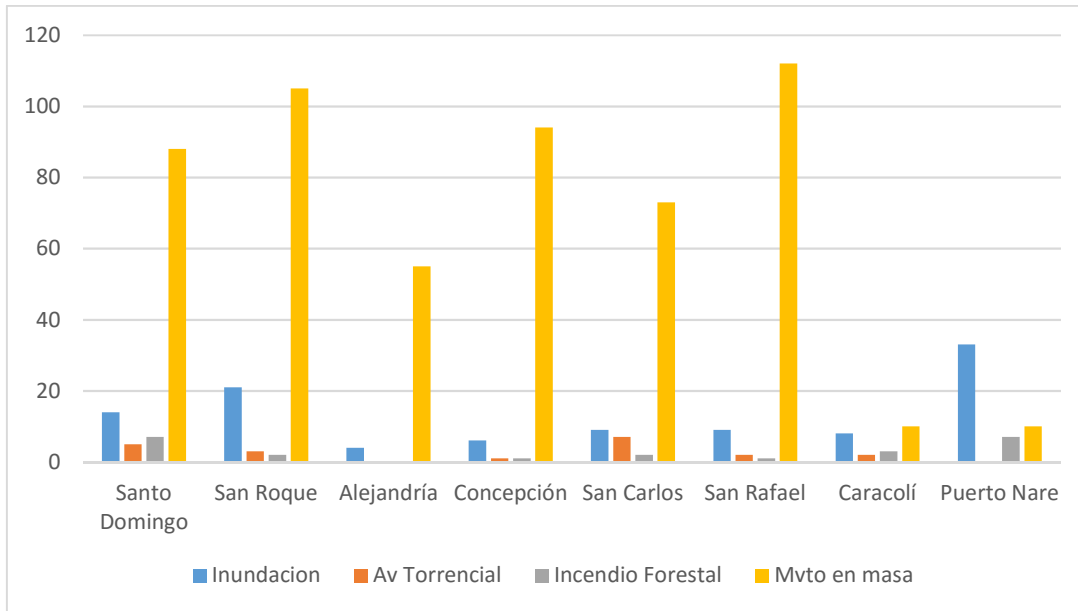


Figura 387. Distribución de los tipos de eventos por municipio en la cuenca.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Tabla 398. Tipos de eventos ocurridos por municipio.

MUNICIPIO	TIPO DE EVENTO			
	Inundación	Avenida torrencial	Incendio forestal	Movimiento en masa
Santo Domingo	14	5	7	88
San Roque	21	3	2	105
Alejandría	4	0	0	55
Concepción	6	1	1	94
San Carlos	9	7	2	73
San Rafael	9	2	1	112
Caracolí	8	2	3	10
Puerto Nare	33	0	7	10

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

La mayor cantidad de movimientos en masa ha sido reportada en el municipio de San Rafael, seguido de San Roque, Concepción, Santo Domingo y San Carlos. De igual manera, la mayor cantidad de inundaciones se ha presentado en Puerto Nare, seguido de San Roque y Santo Domingo.

Como ya se ha mencionado, las avenidas torrenciales son relativamente escasas en la cuenca, presentando reportes más numerosos en los municipios de San Carlos y Santo Domingo. Por otra parte, los incendios forestales han predominado en Santo Domingo y Puerto Nare, seguidos de Caracolí.

Detonantes de los eventos ocurridos en la cuenca.

Los factores detonantes de la ocurrencia de eventos en la cuenca, se presentan en la Figura 388 y en la Tabla 399.

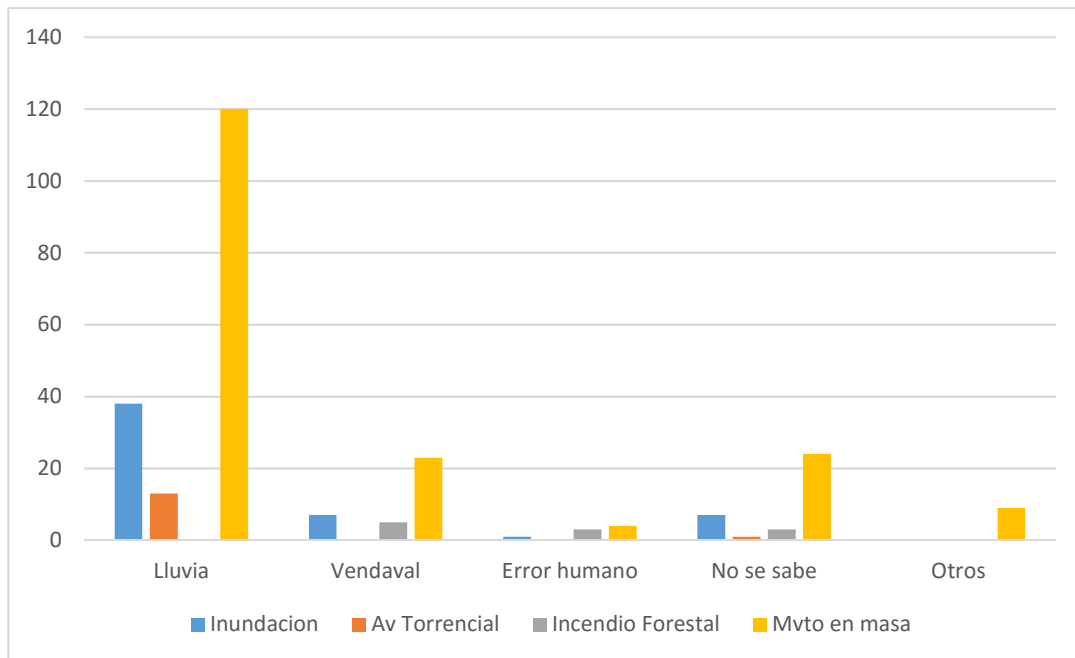


Figura 388. Distribución de los factores detonantes de los eventos ocurridos.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Tabla 399. Factores detonantes de los eventos ocurridos en la cuenca.

FACTOR DETONANTE	TIPO DE EVENTO			
	Inundación	Avenida torrencial	Incendio forestal	Movimiento en masa
Lluvia	38	13	0	120
Vendaval	7	0	5	23
Error humano	1	0	3	4

FACTOR DETONANTE	TIPO DE EVENTO			
	Inundación	Avenida torrencial	Incendio forestal	Movimiento en masa
No se sabe	7	1	3	24
Otros	0	0	0	9

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Sin duda la lluvia es el factor detonante que predomina sobre los demás, lo cual es de esperarse si se tiene en cuenta que la zona recibe importantes cantidades de lluvias durante todo el año con excepción de dos temporadas que si bien presentan reducción de las mismas, no son exentas de precipitaciones lo cual genera importantes cantidades de eventos. Como puede apreciarse en la Figura y Tabla anteriores, las lluvias han ocasionado la mayor cantidad de eventos correspondientes a movimientos en masa e inundaciones, muy por encima de los demás detonantes reportados, y también ha sido la causante de los escasos eventos de avenidas torrenciales.

Especial atención merece la ausencia en los reportes consultados, del detonante Sismo; esto se explica por dos razones: la primera tiene relación con la escasa influencia de este fenómeno en la generación de eventos en la cuenca, dado que los sismos con fuente dentro de este territorio son bastante escasos, y además no poseen magnitud mayor a 5 en la escala de Richter, lo anterior no exime de responsabilidad a los sismos ocurridos en la generación de eventos, pero si reduce la probabilidad de ocurrencia por esta causa.

La segunda corresponde a la falta de experticia del personal que en ocasiones reporta los eventos, pues en ocasiones se trata de personal técnico de los municipios que no ha recibido la información suficiente para saber diferenciar los diversos detonantes que pueden ocasionar los eventos. Incluso esto puede haber sucedido de igual manera en el personal que ha reportado eventos desde las autoridades ambientales o entidades estatales con mayor criterio técnico y experiencia, dado que en la mayoría de casos no se trata de personal experto en el tema de sismos.

Pérdidas y daños por tipo de evento.

En muchos de los eventos se han presentado pérdidas y daños, los cuales en algunos casos se han reportado en las bases de datos consultadas; estas afectaciones por la ocurrencia de eventos en la cuenca, se presentan en la Figura 389 y en la Tabla 400.

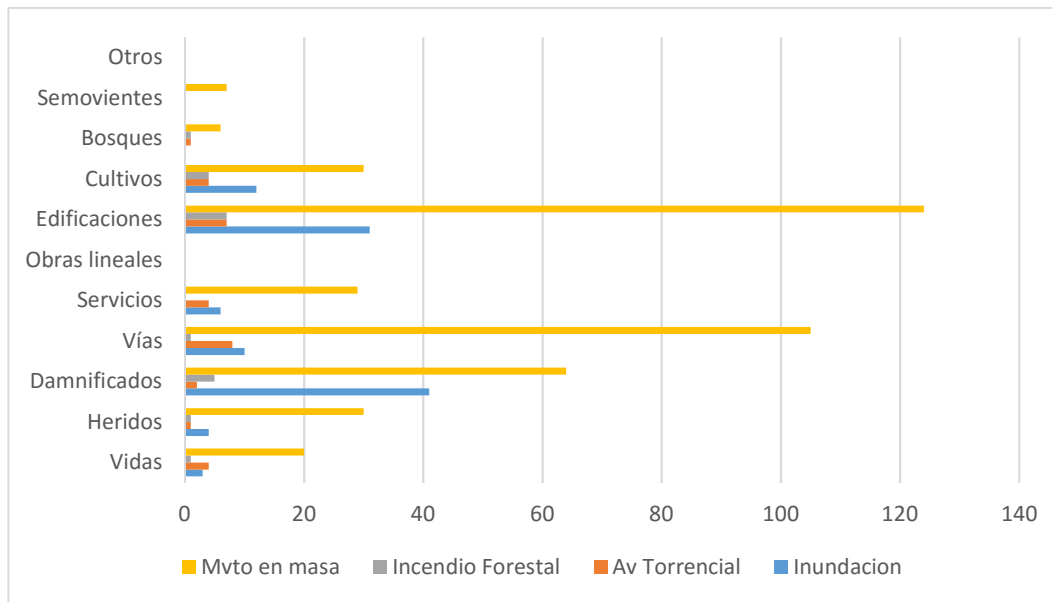


Figura 389. Distribución de pérdidas y daños por la ocurrencia de eventos.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Tabla 400. Pérdidas y daños ocurridos por tipo de evento.

PÉRDIDAS Y DAÑOS POR LA OCURRENCIA DE UN EVENTO	TIPO DE EVENTO			
	Inundación	Avenida torrencial	Incendio forestal	Movimiento en masa
Vidas	3	4	1	20
Heridos	4	1	1	30
Damnificados	41	2	5	64
Vías	10	8	1	105
Servicios	6	4	0	29
Obras lineales	0	0	0	0
Edificaciones	31	7	7	124
Cultivos	12	4	4	30
Bosques	0	1	1	6
Semovientes	0	0	0	7
Otros	0	0	0	0

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Es importante anotar que, debido a que las bases de datos no presentan unicidad en sus campos, en particular los correspondientes a pérdidas y daños en ocasiones reportan número de pérdidas como vidas, heridos, damnificados, edificaciones, entre otras, mientras que algunos reportan la

existencia de esas pérdidas pero no se cuantifican, lo cual no permite unificar los métodos de análisis. Por lo anterior, en la Figura y Tabla anteriores se reporta la ocurrencia de pérdidas y daños en los eventos, sin cuantificarlas, con el fin de utilizar toda la información encontrada y no despreciar ninguna; es decir, se determina en cuántos eventos se han tenido las pérdidas o daños.

Las mayores pérdidas las han ocasionado los movimientos en masa, en particular los daños y pérdidas se han producido mayoritariamente en edificaciones y vías; el número de damnificados por la ocurrencia de este tipo de eventos es importante, al igual que el número de vidas perdidas y los heridos producidos. El suministro de servicios públicos se ha visto afectado en igual proporción. Similar comportamiento presenta la ocurrencia de inundaciones, con importante influencia en la afectación a edificaciones, cultivos, vías y generación de damnificados.

En relación con los incendios forestales, las afectaciones como es lógico se han dado en los cultivos y los bosques aunque han afectado edificaciones y han dejado damnificados. Por otra parte, las afectaciones de las avenidas torrenciales en la cuenca se han presentado principalmente en edificaciones y vías incluyendo puentes.

Temporalidad de los eventos.

Existe la tendencia a presentarse los eventos en épocas del año muy definidas; por ejemplo, las inundaciones, avenidas torrenciales y movimientos en masa presentan aumentos importantes en los meses finales del año, siendo además evidente que las avenidas torrenciales e inundaciones se presentan además en la época de abril a mayo. Son estas las dos épocas que presentan aumento de las lluvias, corresponden a las dos temporadas lluviosas del año. Por otra parte, los incendios forestales tienen un aumento muy fuerte en los meses de enero y febrero, para luego reaparecer en julio. Las Figura 390 a Figura 393 presentan estas tendencias en el año para cada tipo de evento.

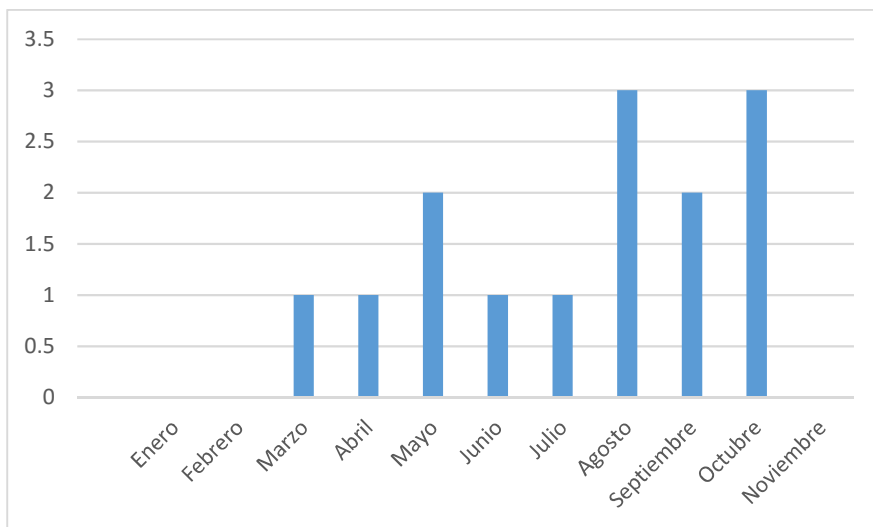


Figura 390. Ocurrencia de avenidas torrenciales en los meses del año.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

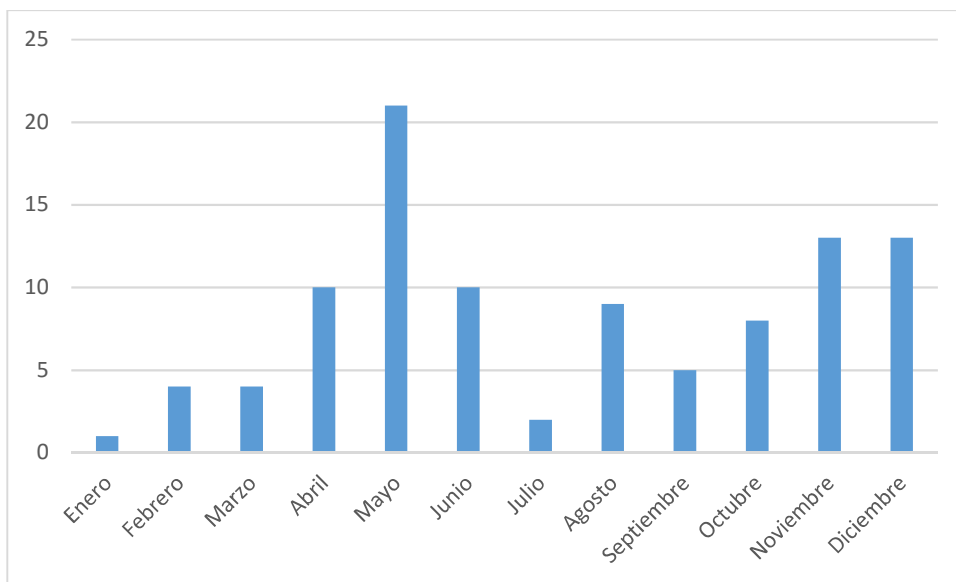


Figura 391. Ocurrencia de inundaciones en los meses del año.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

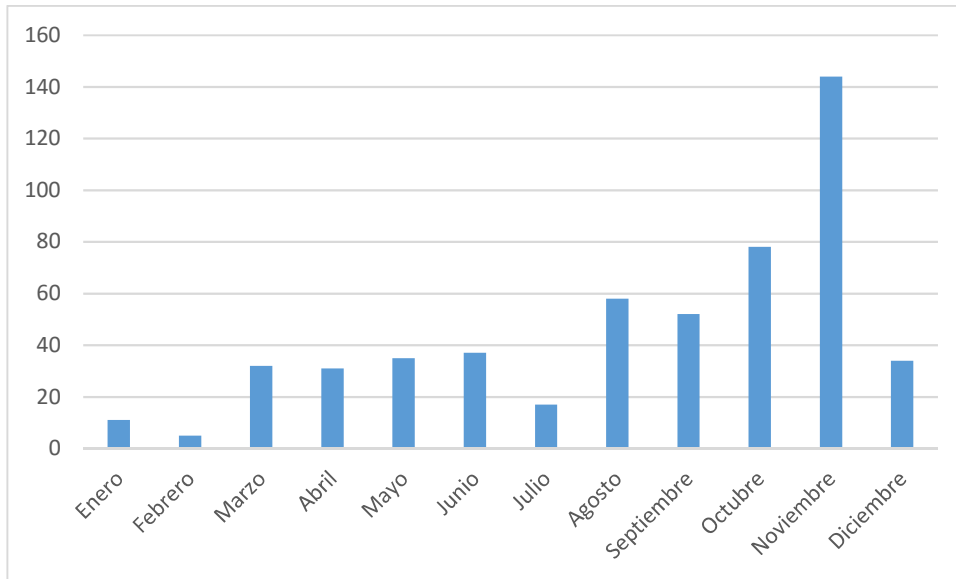


Figura 392. Ocurrencia de movimientos en masa en los meses del año.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

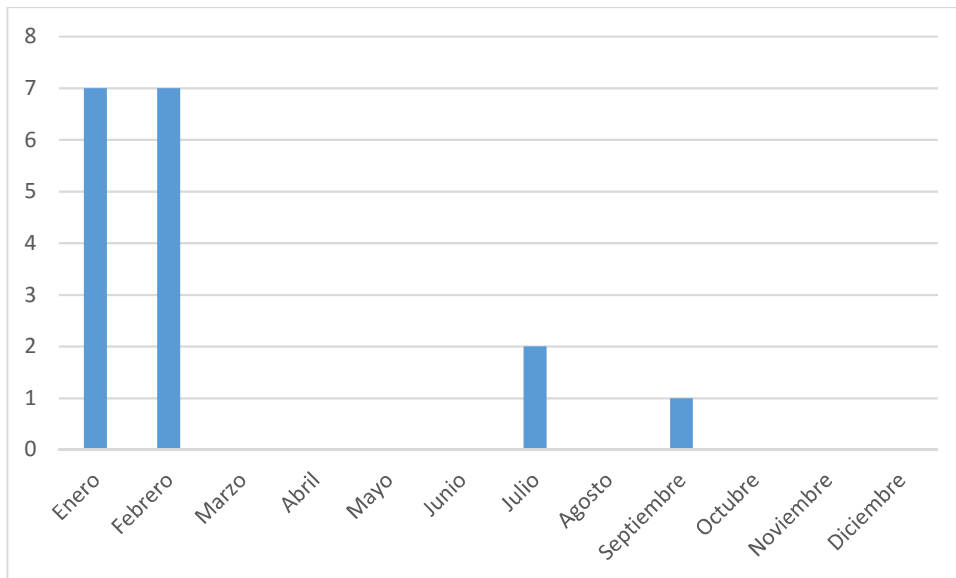


Figura 393. Ocurrencia de incendios forestales en los meses del año.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

8.2 IDENTIFICACIÓN, CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FENÓMENOS AMENAZANTES Y EVOLUCIÓN DE LA AMENAZA.

8.2.1 Inundación

La cuenca del Río Nare se caracteriza en general por sus pendientes medias a bajas en su parte alta, mientras que en su parte media - baja posee zonas con pendientes mayores, las cuales se atenúan en la zona cercana a la desembocadura en Puerto Nare. Estas áreas son surcadas por corrientes de agua que presentan crecientes e inundaciones cuyas manchas afectan de manera importante a asentamientos humanos ubicados en ellas, como Alejandría, San Rafael, San Roque, San Carlos y Puerto Nare, los cuales presentan eventos cuyos efectos han obligado a las Alcaldías municipales y a las entidades ambientales, a realizar esfuerzos técnicos y económicos con miras a solucionar estas problemáticas. En general se trata de inundaciones lentas que si bien han producido afectaciones importantes en bienes, infraestructura, no han tenido el poder destructivo que tienen eventos como las avenidas torrenciales, a excepción de casos puntuales como algunos ocurridos en San Carlos.

Es por esto que se hace necesario realizar un análisis detallado de las condiciones del territorio en relación con la susceptibilidad y amenaza ante inundaciones, el cual señala las condiciones generales de la cuenca en relación con los temas o atributos que se utilizan para este tipo de análisis.

8.2.1.1 Metodología

El documento “Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas” (MINAMBIENTE, MINHACIENDA, Fondo Adaptación, 2014), el cual hace parte integral de los términos de referencia para este proyecto, determina la metodología a seguir en el caso específico de las inundaciones, tanto para susceptibilidad como para amenaza. Es importante anotar que en este proyecto se abordan solamente las inundaciones fluviales lentas; los encharcamientos no son considerados en el análisis. A continuación se describen los pasos que se indican en el Protocolo para la identificación de la susceptibilidad y amenaza frente a inundaciones.

Susceptibilidad ante inundaciones

- Se integran los eventos de inundaciones fluviales lentas identificados en el análisis situacional inicial, al igual que en el análisis de eventos históricos, los cuales fueron validados y sistematizados según lo establecido por el mencionado Protocolo.

➤ Los eventos históricos se analizan considerando:

- Estudio evolutivo del medio fluvial, para éste fue desarrollado un análisis multitemporal de imágenes de sensores remotos o fotografías aéreas de algunos con el fin de observar las huellas de inundación existentes en algunos sitios de la cuenca.
- Trabajo de campo con comunidades y actores de la zona. Fueron elaboradas las encuestas establecidas por el Protocolo para este tipo de fenómeno.
- Validación de eventos históricos: esta actividad fue desarrollada mediante la comparación de diferentes fuentes de información, como la información del catálogo, entre otros, con las huellas de inundación observadas en las fotografías aéreas.
- Jerarquización de la magnitud de eventos validados a partir de variables como: caudales registrados en estaciones más próximas al área o tramo de estudio, magnitud registrada en los formatos de eventos históricos, número de encuestas que aluden a un mismo evento, extensión de la inundación, otras fuentes de datos.
- Sistematización en el respectivo formato.

➤ Análisis geomorfológico considerando las salidas cartográficas de la temática. Descripción de los “sistemas de terreno” que tengan incidencia en el área, con énfasis en el paisaje de valle en donde se deben considerar las “unidades de terreno o unidades geomorfológicas. Además, considerar los procesos morfodinámicos identificados por el componente Geomorfología del presente proyecto.

- Considerar la región geomorfológica Ambiente Fluvial según el método de Carvajal (2011) con sus respectivas unidades y subunidades geomorfológicas (terrazas aluviales, deltas, desborde, deltas lagunares, barras).
- Considerar los paisajes geomorfológicos Valle y Planicie según el método de Zinck (2012) con sus tipos de relieve y geoformas (albardón de orilla, napa de desborde, cubeta de desborde, cubeta de decantación).

- A partir de lo anterior se definen unidades inundables desde: los puntos o polígonos identificados en el análisis de eventos históricos y desde el análisis geomorfológico (identificación de geoformas de origen fluvial tales como: valles aluviales, planos de inundación, terrazas, albardones, meandros, deltas de desborde, entre otros).
- Cuando el análisis de eventos históricos refleja la existencia de otra tipología de inundaciones (pluviales, costeras u otras), dicho fenómeno deberá ser estudiado en detalle y por lo tanto deberá ser propuesto en el componente programático del POMCA.
- Las áreas identificadas como susceptibles de inundarse son consideradas para la definición de tres grados de susceptibilidad a partir de los siguientes criterios:
 - Susceptibilidad alta: geoformas que denotan procesos activos o inundaciones periódicas (ej. Valles aluviales, planos de inundación, terrazas bajas, albardón, trezado, entre otras) y áreas en donde coincidan dos o más puntos o polígonos de eventos históricos.
 - Susceptibilidad media: geoformas que denotan procesos intermitentes (ej. Terrazas medias, meandros, entre otras), y áreas en donde al menos un punto o polígonos de evento histórico haya sido identificado.
 - Susceptibilidad baja: geoformas que denotan procesos antiguos (ej. Terrazas altas).

La definición de áreas críticas sujetas a evaluación de amenaza se realiza considerando las categorías de Susceptibilidad Alta y Media.

Amenaza ante inundaciones

La metodología definida por el Protocolo establece que se tienen tres vías para la definición de categorías de amenaza, las cuales se describen a continuación.

1. Cuando las áreas críticas no tienen relieves complejos o la geomorfología no está muy alterada por la acción humana, y no existe información topográfica y batimétrica que permita realizar una modelación hidrológico – hidráulica de eventos extremos se deberán identificar en campo evidencias sobre la frecuencia de eventos históricos, integrándola con la información proveniente del análisis geomorfológico – histórico de la fase previa. Se deben considerar los siguientes criterios diferenciales en el análisis para la definición de las categorías de amenaza:

- Amenaza Alta: geformas asociadas a procesos activos (ej. Valles aluviales, planos de inundación, terrazas, bajas, albardón, trezado, entre otras), evidencias efímeras (restos flotantes o arribazones fluviales, depósitos sueltos de granulometría) o evidencias erosivas y sedimentarias nítidas (microtopografía muy irregular, altas pendientes y superposición de formas erosivas y sedimentarias, además de evidencias de inundaciones recientes o actividad fluvial reiterada identificadas en el análisis multitemporal y de eventos históricos con recurrencias menores o iguales a 15 años.
 - Amenaza Media: geformas asociadas a procesos intermitentes (ej. Terrazas medias, meandros, entre otros), procesos erosivos o sedimentarios suavizados o flujos secundarios representados por evidencias de morfologías canaliformes de poca definición y continuidad pero identificables en campo, además de eventos históricos con recurrencia mayor a 15 y hasta 100 años de periodo de retorno.
 - Amenaza Baja: recurrencia de eventos mayores a 100 años y hasta 500 años de periodo de retorno o mayores, se identifica cuando la información geomorfológico – histórica así lo permita considerando los siguientes criterios: el análisis de eventos históricos señala una unidad inundable con una sola evidencia de evento ocurrido, evidencias topográficas en campo que señalen terrenos con mayor altura a las dos categorías anteriores y que sea coincidente con una geforma asociada a procesos fluviales antiguos (terrazas altas).
2. Cuando las áreas críticas si tienen relieves complejos o la geomorfología está muy alterada por la acción humana, se requiere de modelación hidrológico – hidráulica de eventos extremos para la definición de categorías de amenaza. En los casos de no existir información topográfica y batimétrica de detalle que permitan una adecuada evaluación de la amenaza, se deben proponer estudios de detalle en el componente programático del POMCA.
- En los casos de existir información topográfica y batimétrica de detalle, las categorías de amenaza se obtendrán desde la modelación hidrológico – hidráulica con la debida comprobación obtenida desde el análisis histórico – geomorfológico. La modelación hidrológica provee los caudales máximos para diferentes periodos de retorno. La modelación hidráulica provee la magnitud del evento en la zona inundable con características fundamentales tales como el nivel máximo alcanzado por la lámina de agua, velocidad máxima, duración, carga de sedimentos, entre otras.

- Cuando los resultados de la modelación permiten obtener los niveles máximos y velocidades máximas alcanzadas por el flujo en la zona inundada se seguirá la propuesta de Vélez y otros (2011) para la definición de categorías de amenaza a partir de los posibles daños que pueda provocar la relación de estas dos variables.
- ✓ Amenaza alta: zona comprendida entre la mancha de inundación para un periodo de retorno de 100 años si la combinación de velocidad y profundidad del flujo puede generar daños graves o pérdidas de vidas.
- ✓ Amenaza media: zona ocupada por la mancha de inundación de 100 años y velocidades y profundidades que generen daños moderados y/o molestias a 500 años de periodo de retorno si la combinación de velocidad y profundidad de flujo puede generar daños graves o pérdidas de vidas.
- ✓ Amenaza baja: zona comprendida entre las manchas de inundación de 100 a 500 años de periodo de retorno si la combinación de velocidad y profundidad de flujo puede generar daños moderados y molestias.

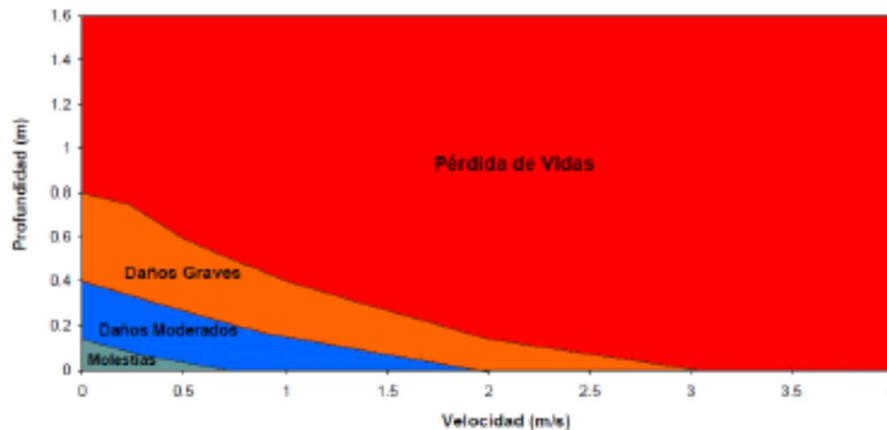


Figura 394. Tipos de daños potenciales por características de la inundación.

Fuente: UNAL 2013 citado en “Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas”, MINAMBIENTE — MINHACIENDA — Fondo Adaptación, 2014.

3. Cuando los resultados de la modelación permiten obtener solo los niveles máximos alcanzados por el flujo en la zona inundada, se seguirá la siguiente propuesta de categorización de la amenaza:

- Amenaza alta: niveles máximos obtenidos para el evento con caudal máximo de periodo de retorno menor o igual a 15 años.
- Amenaza 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.
- Amenaza baja: niveles máximos obtenidos para el rango entre el evento con caudal máximo de periodo de retorno mayor a 100 años y el de menor o igual a 500 años.

En la cuenca del Río Nare no se dispone de información topográfica de detalle que permita realizar modelaciones para llegar a los resultados mencionados.

8.2.1.2 Resultados

Análisis de evolución del medio fluvial

Los cauces que discurren por la cuenca del Río Nare se caracterizan por estar fuertemente encajados en los materiales rocosos del Batolito Antioqueño y las rocas metamórficas allí presentes. Únicamente se aprecia una cierta movilidad del cauce en la parte baja de la cuenca. En la siguiente figura aparece el Río Nare aguas arriba de la confluencia con el Río Magdalena en dos momentos distintos; se observa la dinámica fluvial propia de un meandro, lo que provoca la erosión de la zona exterior del mismo produciendo la movilidad lateral de este curso fluvial.



Figura 395. Río Nare aguas arriba de la confluencia del Río Magdalena. A la izquierda foto del año 2010 y a la derecha del año 2014. Se aprecia una erosión de la margen derecha y un desplazamiento de este curso hacia el sur. Playa La Pesca.

Fuente: Informe técnico 3310-14-05-294 Problemática ambiental Playa La Pesca. Alcaldía Municipal Puerto Nare. Dirección de la UGAM. Julio de 2016.

Aplicación y resultados de la susceptibilidad frente a inundaciones

Para la elaboración de la susceptibilidad relacionada con inundaciones de origen fluvial se ha utilizado la metodología descrita en el Protocolo para la Incorporación del Riesgo en los POMCA y en la Guía Metodológica de POMCAS, incorporando algunas modificaciones a la misma para adaptarla a las características propias de la cuenca en estudio. En primer lugar fue utilizada la geomorfología realizada para la cuenca donde se distingue un conjunto de geoformas de origen fluvial a gran escala que permite identificar el máximo alcance de una inundación en este ámbito territorial.

De acuerdo con la salida cartográfica geomorfológica basada en el método de Carvajal (2011) se consideró la región geomorfológica Ambiente Fluvial con sus respectivas unidades y subunidades geomorfológicas. Con la salida cartográfica geomorfológica basada en el método de Zinck (2012) se consideraron paisajes geomorfológicos de Valle y Planicie, tipos de relieve y modelado principalmente deposicional y erosional, y geoformas aluviales.

El objetivo de esta parte del trabajo fue determinar cuáles son las zonas con problemas de inundación y que más afectan la comunidad. En algunos casos las afectaciones están asociadas a la ocurrencia de los eventos (frecuencia), y en otros a la magnitud de éstos (impacto en la comunidad), que puede tener consecuencias importantes. La primera fuente de información se obtuvo de la base de datos de los eventos históricos, los cuales ya fueron estudiados en el numeral sobre el catálogo de eventos.

La mayoría de los registros reportan que los eventos ocurrieron en la parte baja de la cuenca, en jurisdicción de Puerto Nare.

Sin embargo, la calidad y cantidad de los registros no es suficiente para realizar un proceso de validación y jerarquización adecuado. Los registros existentes no poseen coordenadas confiables, además normalmente no es claro para la persona que reporta, la diferencia entre inundación y avenida torrencial. Por otra parte, no se tiene en los registros información precisa sobre afectaciones, causas, intensidad, extensión de la inundación, así como los caudales alcanzados. Los únicos datos que se repiten con alguna frecuencia corresponden a inundaciones en San Miguel y en La Sierra.

Del catálogo construido para el presente proyecto, se extrae la siguiente información:

- Se tienen 104 registros provenientes del catálogo.
- Se tienen 4 eventos reportados por la comunidad.
- Solo hay presentación de inundaciones en un mismo lugar, en La Sierra (Puerto Nare), los eventos se han presentado en mayo, junio y octubre.
- Se reportan muchos casos que se han dado por fuera de la cuenca, es el caso de San José del Nus, el cual presenta recurrentes inundaciones registradas en la base de datos.

Esta información no se considera suficiente para realizar los análisis solicitados.

La construcción de este mapa de susceptibilidad se ha realizado a partir de la información geomorfológica elaborada para el presente proyecto en el apartado de Geología y Geomorfología. A partir de esta información se han seleccionado aquellas geoformas que presentan una mayor susceptibilidad a padecer inundaciones de forma recurrente, tal y como se ha explicado en el apartado de metodología. Por último y con la finalidad de darle coherencia y homogeneidad al conjunto del área de inundación, se ha utilizado el DEM para ajustar a una determinada cota de terreno la zona inundable. Este procedimiento consiste en utilizar un algoritmo en el que a partir de una profundidad de agua prefijada a partir del *thalweg* de los cursos de agua analizados, se obtiene una lámina de inundación, que se va ajustando.

En la Figura 396 se pueden identificar las diferentes geoformas seleccionadas para poder definir las áreas con diferente susceptibilidad y en la Figura 398 se muestra un detalle del resultado obtenido en las inmediaciones del núcleo urbano de Alejandría.

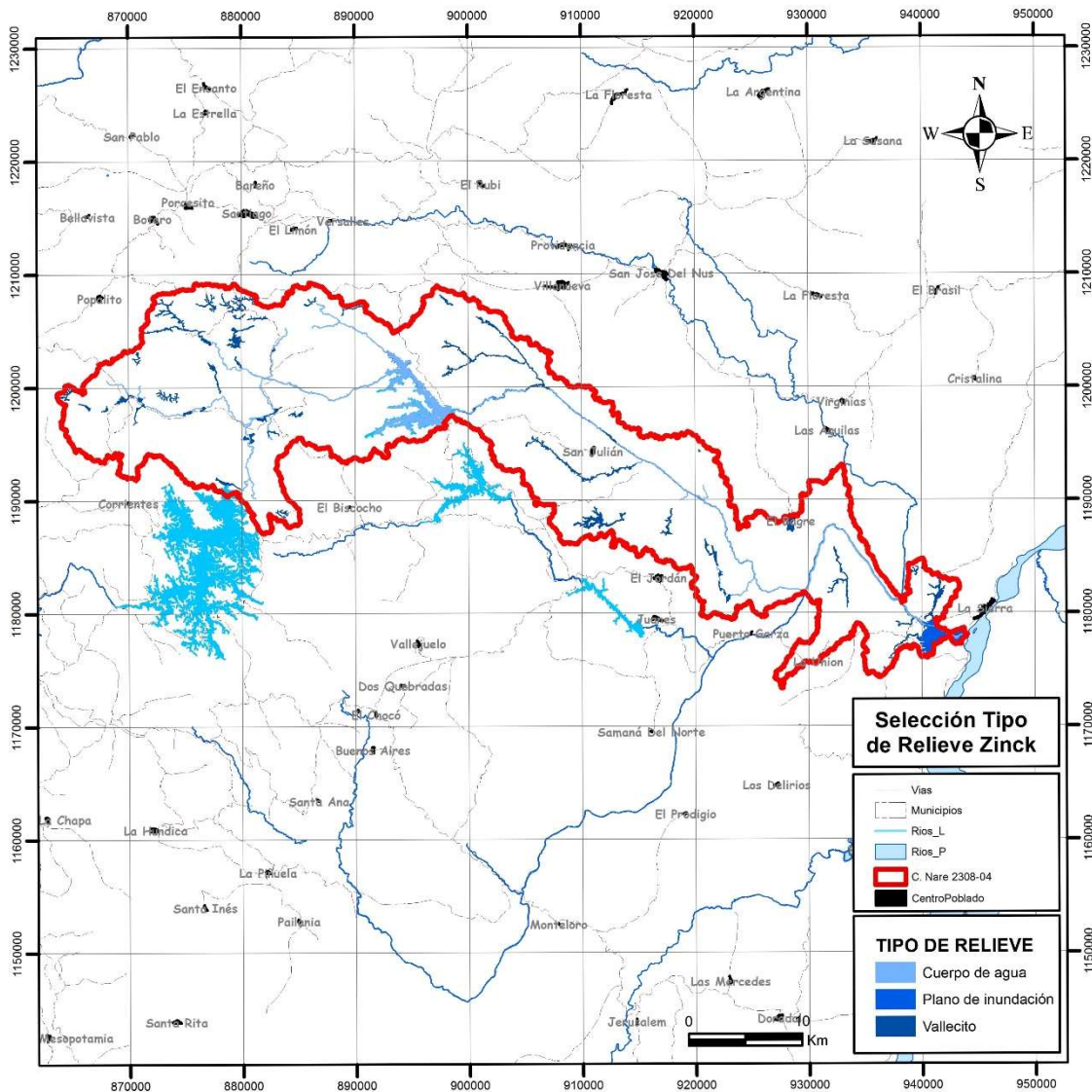


Figura 396. Selección de geomorfología de Zinck.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

La Figura 397 presenta el resultado de la susceptibilidad de inundación asociada a las áreas adyacentes a los cauces que forman la red hidrográfica principal de la cuenca del Río Nare.

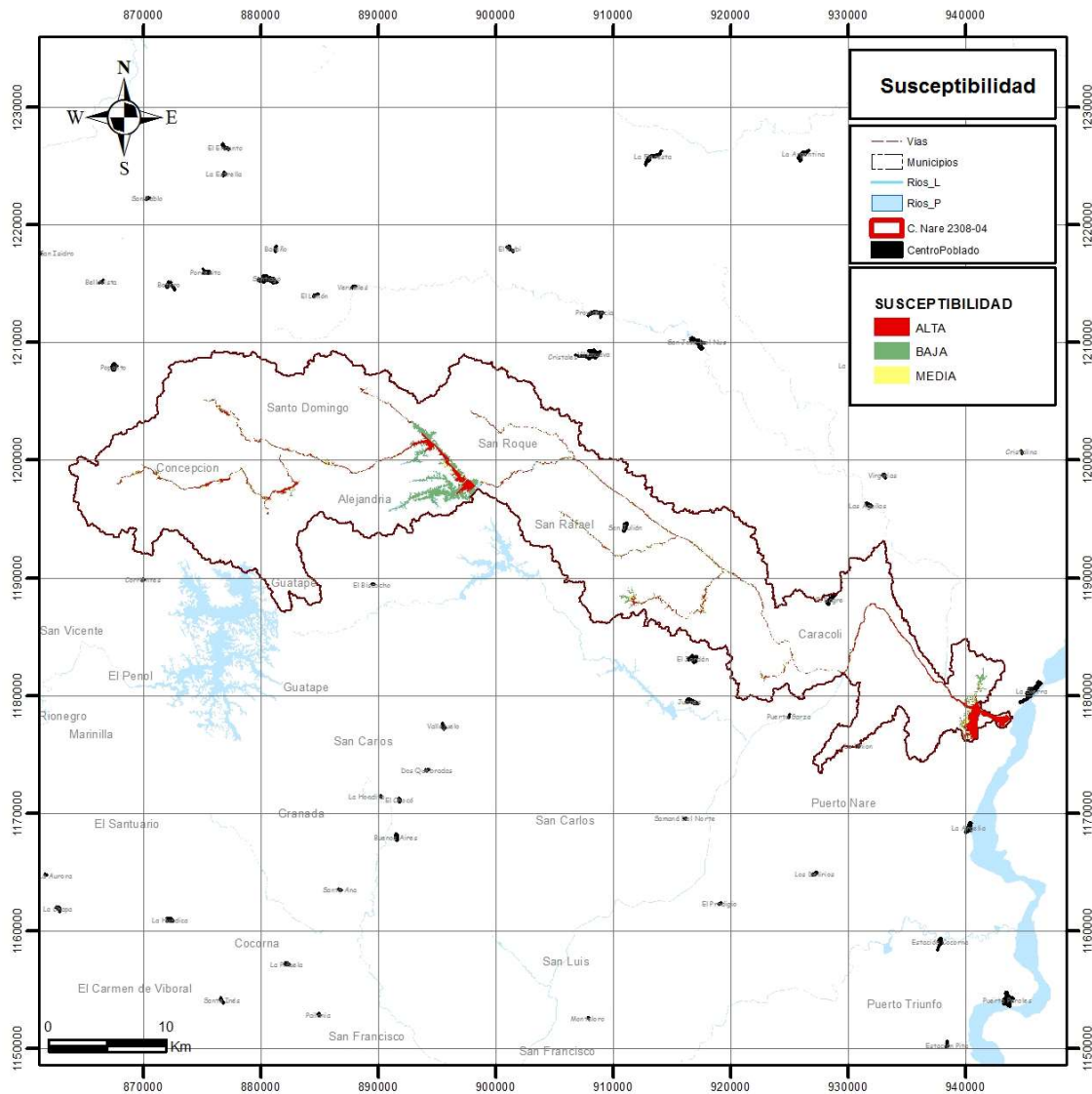


Figura 397. Susceptibilidad ante Inundación.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

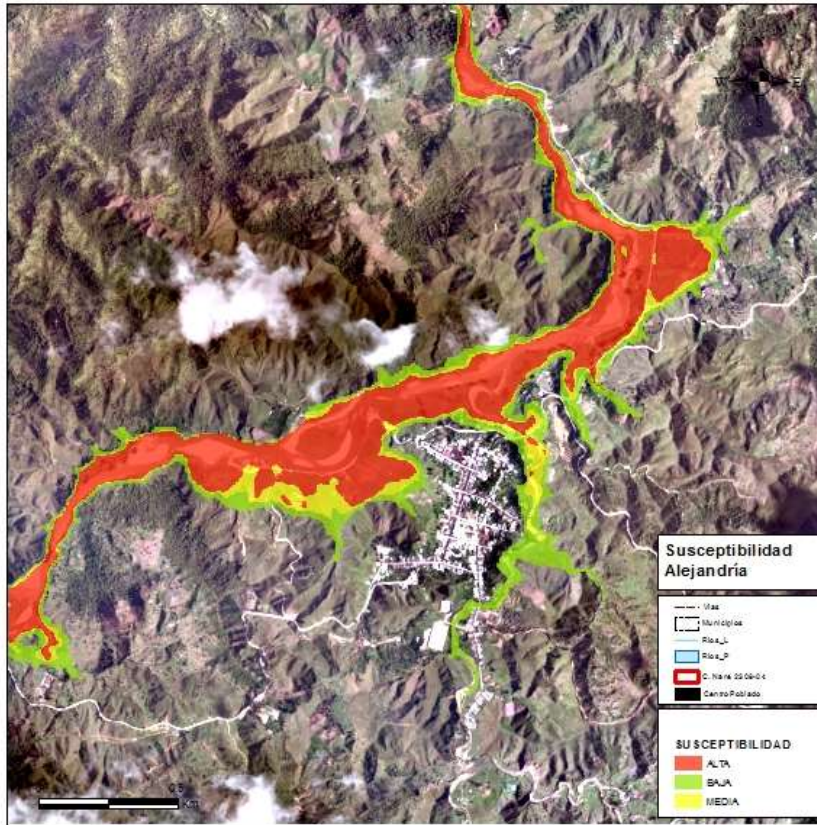


Figura 398. Detalle del resultado de susceptibilidad en las inmediaciones del núcleo urbano de Alejandría.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Aplicación y amenaza por inundación.

Los eventos de inundaciones están asociados principalmente a las características geomorfológicas y climáticas, sin embargo la intervención del hombre ha creado situaciones detonantes en la ocurrencia de desastres por inundación, como son la ocupación y modificación de cauces con edificaciones y obras de infraestructura o para ganar terreno con fines agrícolas, la deforestación, las obras de drenaje o de paso de los cauces con diseños insuficientes, la sedimentación acelerada, falta de mantenimiento a los canales de las quebradas y ríos y lanzamiento de residuos sólidos a los cauces, entre otros.

Como ya se ha mencionado, la determinación de la amenaza por inundación en la cuenca del Río Nare fue desarrollada a partir del análisis de eventos históricos, la geomorfología elaborada en el presente informe y el Modelo de Elevación Digital - DEM.

En la Tabla 401 se observa la cantidad de inundaciones registradas en cada uno de los municipios de la cuenca, donde se evidencia que los municipios de Puerto Nare, San Roque y Santo Domingo, son los que presentan una mayor recurrencia de inundaciones, seguido de San Carlos y San Rafael.

Tabla 401. Cantidad de inundaciones por municipio.

MUNICIPIO	CANTIDAD DE INUNDACIONES REPORTADAS
Santo Domingo	14
San Roque	21
Alejandro	4
Concepción	6
San Carlos	9
San Rafael	9
Caracolí	8
Puerto Nare	33

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

En la Figura 379 en el numeral sobre eventos históricos, es posible observar los eventos que pudieron localizarse en la cartografía, son muy pocos con respecto al total de eventos registrados, pero esta condición puede explicarse debido a que la mayoría de eventos reportados no cuentan con coordenadas para su localización en planos.

Teniendo en consideración esto último y dado que no existe una forma directa realizar un análisis de frecuencia, se ha optado por determinar la frecuencia de forma indirecta a partir de modelos hidráulicos simplificados construidos a partir del DEM 10 x 10. Se debe tener en cuenta que este tipo de modelos únicamente sirven para poder validar el método geomorfológico antes explicado, ya que no se dispone de la información necesaria para realizar modelos hidráulicos de detalle (Topografía de detalle, levantamiento de estructuras transversales a los cursos fluviales) y los resultados que se obtienen únicamente se pueden interpretar de forma orientativa.

Dado que no es posible realizar este modelo en el conjunto de cursos que conforman la cuenca hidrográfica, la validación se ha realizado únicamente en aquellas zonas que presentan un especial interés para su análisis ya que inundan zonas sensibles como cabeceras municipales, además se debe tener en consideración que el DEM no debe presentar errores importantes que puedan comprometer el resultado obtenido. Los lugares seleccionados son el Río Nare en Alejandro y el Río Concepción a su paso por la cabecera municipal de Concepción.

Estos modelos se han realizado a partir de la información de caudales máximos calculados en el apartado de hidrología del POMCA, aplicando una relación de rendimiento o caudal específico al punto de interés o de cálculo. Los caudales máximos utilizados en cada uno de los modelos simplificados se presentan en la Tabla 402

Tabla 402. Caudales utilizados en los modelos de comprobación y contraste.

LOCALIZACIÓN	Q PARA TR = 100 AÑOS DE PERÍODO DE RETORNO
Río Nare en la cabecera municipal de Alejandría	810 m ³ /s
Río Concepción en la Cabecera municipal de Concepción.	80 m ³ /s

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

El modelo utilizado para realizar este cálculo es el modelo bidimensional GUAD 2D, que simula el movimiento del agua en régimen variable, resolviendo las fórmulas Saint Venant mediante un esquema implícito de volúmenes finitos.

El resultado obtenido del modelo realizado en el Río Nare en las inmediaciones de Alejandría se puede observar en la Figura 399. Como se puede apreciar, el ámbito donde se producen calados más importantes (zona naranja) coincide con la zona de amenaza alta con criterios geomorfológicos, que se muestra con la línea de color rojo en la figura.

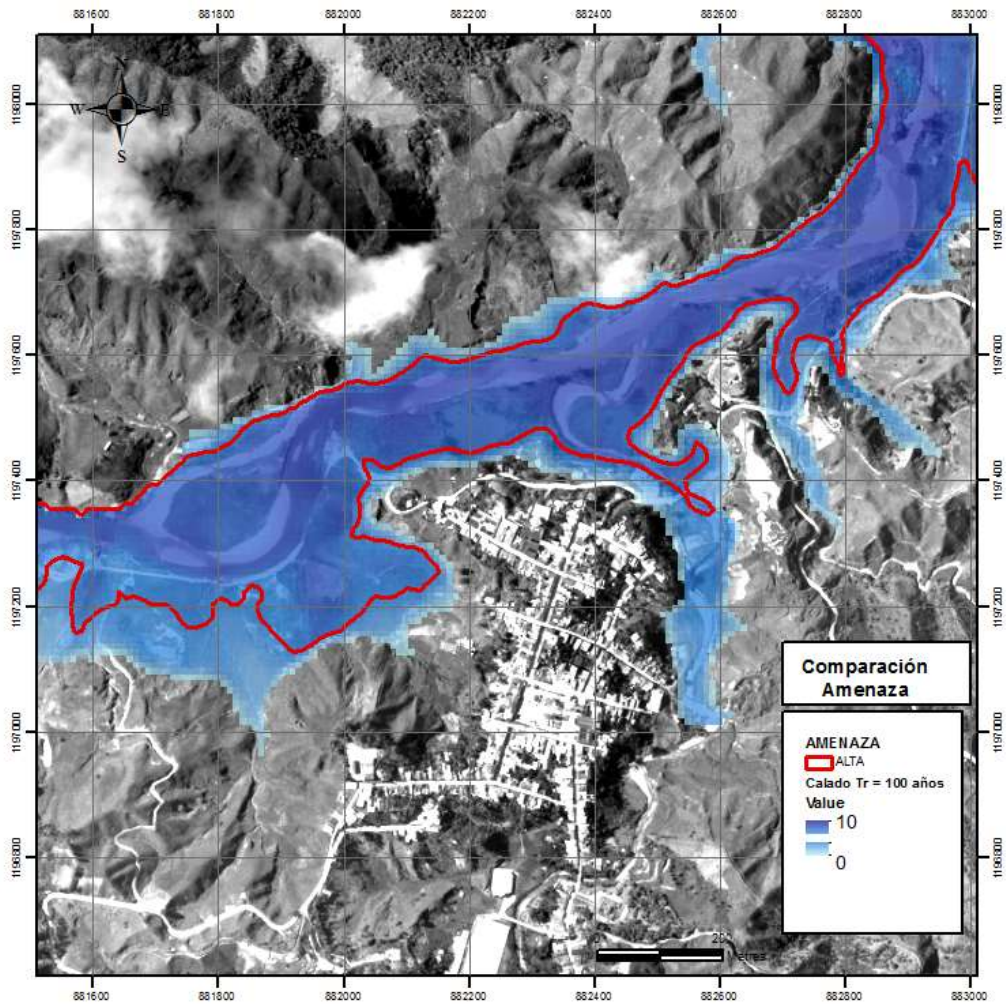


Figura 399. Comparativo entre el resultado de amenaza con criterios geomorfológicos y el modelo hidráulico simplificado en las inmediaciones del núcleo urbano de Alejandría.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

En el caso del modelo del Río Concepción a su paso por la cabecera municipal de Concepción, se muestra que la lámina de amenaza alta obtenida con criterios geomorfológicos presenta una delimitación semejante en gran parte del tramo analizado con la lámina de inundación obtenida con 100 años de período de retorno (Figura 400) aplicando la modelización hidráulica.

Ambos ejemplos muestran que la delimitación de la amenaza considerando criterios geomorfológicos presenta resultados parecidos a los obtenidos de la aplicación de modelos hidráulicos simplificados, mostrando de esta forma la bondad del resultado obtenido.

Hay que recordar que estos resultados tienen como objetivo planificar a escala 1:25.000 y en ningún caso deben substituir a los estudios de detalle que se deben realizar en estas poblaciones.

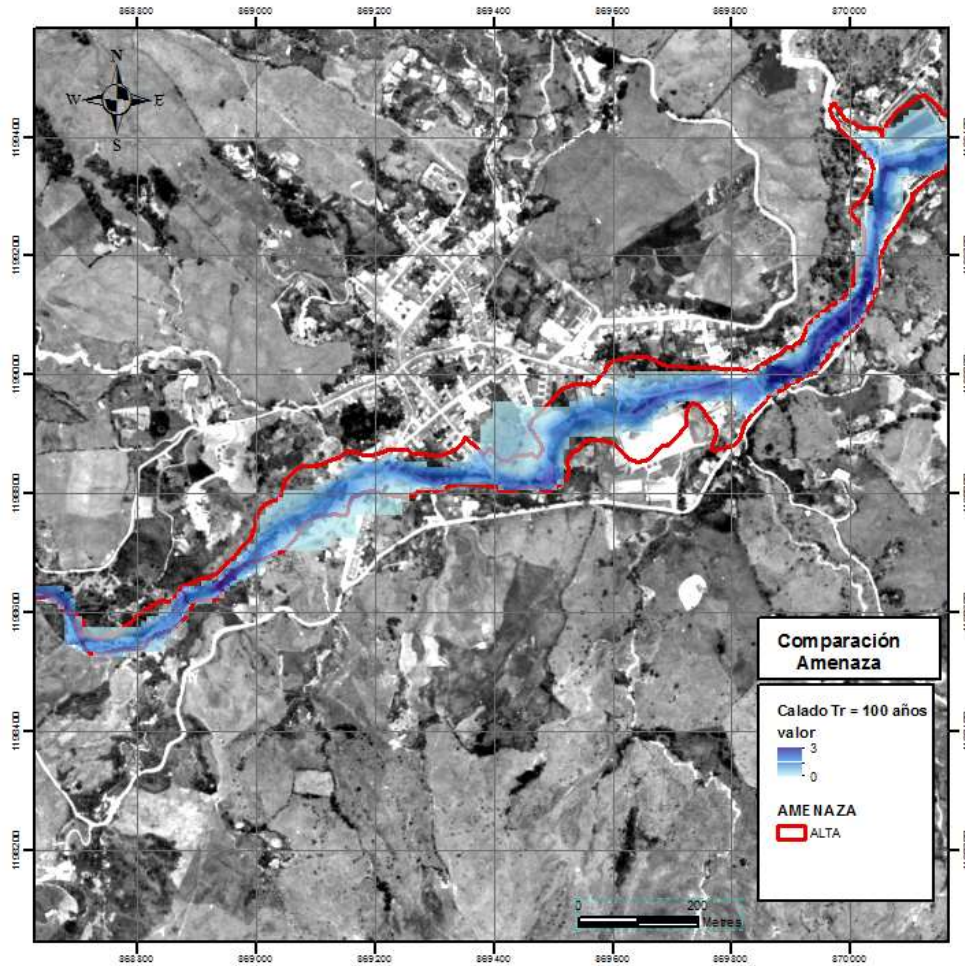


Figura 400. Comparativo entre el resultado de amenaza con criterios geomorfológicos y el modelo hidráulico simplificado en el Río Concepción a su paso por la cabecera municipal de Concepción.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Por último, teniendo en consideración que los resultados obtenidos mediante el método geomorfológico y el hidráulico simplificado ofrecían resultados comparables, se obtuvo como resultado el mapa de amenaza por inundación para la cuenca que se presenta a continuación en la Figura 401.

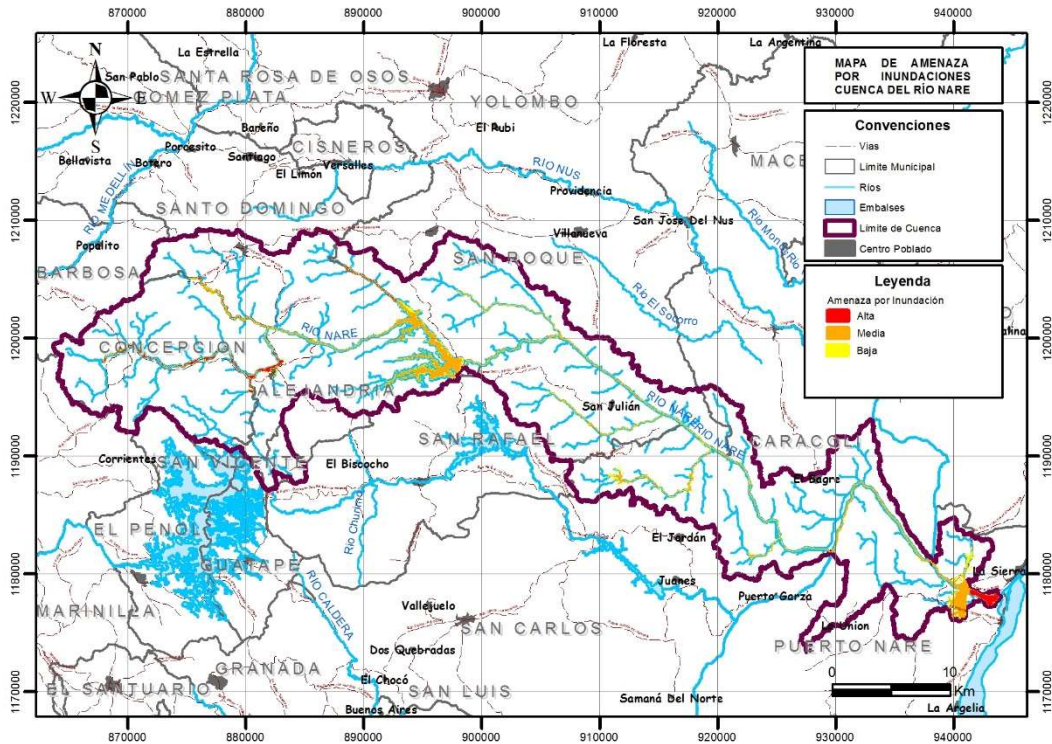


Figura 401. Amenaza por Inundación en la cuenca del Río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Como se puede observar los cursos en la cuenca del Río Nare están muy encajados y por tanto no se desarrollan unas amplias zonas inundables adyacentes a los cauces.

Estas zonas se aprecian más desarrolladas en las inmediaciones de la cabecera municipal de Alejandría y cercanos a la confluencia del Río Nare con el Río Magdalena.

Verificación de los resultados en campo.

Una vez se obtuvieron los resultados anteriores, se procedió a realizar una verificación en campo de los límites encontrados. Esta validación se realizó en algunos sectores de la cuenca, los cuales se aprecian en la Figura 402. En todos ellos se corroboró la existencia de área de inundación según el mapa de amenaza por inundaciones.

Estos puntos de control fueron seleccionados a la luz de los resultados del mapa de amenaza, dado que en esta área de los municipios de Alejandría y Concepción se concentra la amenaza Alta y Media, además de la zona de desembocadura, y debido a que es una zona con unas dinámicas

antrópicas importantes sumado a la importancia de estos dos centros urbanos, el equipo de expertos consideró fundamental la verificación de las condiciones de amenaza en esta zona. Se consideró además que la verificación en la zona de la desembocadura no aporta significativamente en la delimitación y ajuste de la categoría, dada su geomorfología evidentemente aluvial.

En las fotos a continuación se observa la intensa intervención antrópica que ha generado la eliminación de coberturas naturales en las franjas aledañas a los cursos de agua. Las actividades ganaderas se desarrollan hasta las mismas márgenes. Las fincas de recreo han convertido en pastos las áreas que debieron estar cubiertas de vegetación protectora.

El control de campo realizado permitió ratificar la delimitación de las categorías de amenaza en el mapa respectivo; es importante señalar que la escala de trabajo no permite entrar en detalles observados puntualmente en campo, por lo cual se verificó que las delimitaciones generales correspondieran a la realidad del territorio. Para una delimitación más precisa se deberán efectuar estudios de detalle que permitan validar y precisar las categorías establecidas.

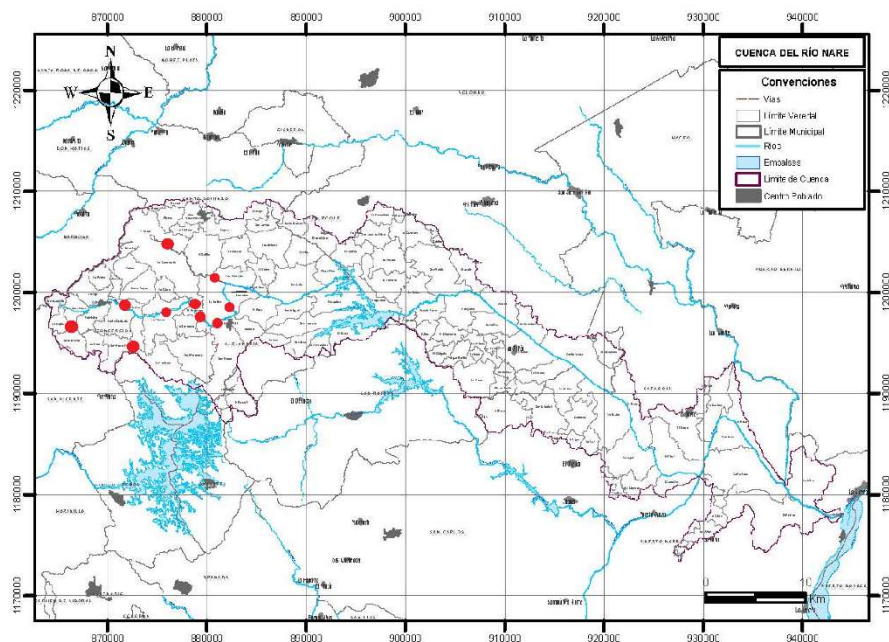


Figura 402. Localización de sitios de verificación en campo de algunas zonas inundables en la cuenca.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

A continuación se presenta un registro fotográfico que sirvió de apoyo para corroborar la zonificación de la amenaza por inundaciones realizada.



Foto 88. Zona inundable en Quebrada Grande. Punto 1. Pequeñas áreas inundables adyacentes a la corriente, las cuales no alcanzan a ser cartografiadas en la escala de trabajo.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.



Foto 89. Quebrada San Pedro cerca a la escuela. Punto 2. Zona inundable el eventos extremos.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.



Foto 90. Zona inundable en la Quebrada Santa Gertrudis. Punto 3. Pequeñas áreas aledañas al cauce.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.



Foto 91. Zona de inundación en el Río Concepción. Punto 4. Obsérvese la gran cantidad de bloques de roca y las pequeñas áreas inundables aledañas.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.



Foto 92. Río Concepción aguas arriba de su confluencia con el Río Nare. Punto 5. En algunas áreas aledañas al Río Concepción se presentan varias de las zonas inundables más extensas de la cuenca.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.



Foto 93. Río Concepción aguas arriba de su confluencia con el Río Nare. Punto 6. La llanura aluvial se abre en esta zona.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.



Foto 94. Río Nare aguas abajo de Alejandría. Punto 7. Se aprecia las zonas inundables bien marcadas entre las vertientes.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.



Foto 95. Río Nare antes del Río Concepción. Punto 8. En este punto ya la geomorfología comienza a desvelar las áreas de inundación periódica formadas por el río.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.



Foto 96. Río Nare entre Concepción y Alejandría. Punto 9. Amplias zonas de inundación entre las vertientes.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.



Foto 97. Río Nare antes de Alejandría. Punto 10.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Limitaciones en los resultados.

La delimitación de la susceptibilidad y amenaza por inundaciones se ha realizado utilizando la metodología de identificación de geofomas susceptibles de sufrir inundaciones de forma recurrente. La metodología hidrológica - hidráulica no se ha podido aplicar en la zona de estudio debido a que

no se dispone de una cartografía topográfica con el suficiente detalle para poder realizar este análisis de forma adecuada. No existe tampoco un levantamiento de estructuras para poder incorporarlo a los modelos y por tanto el análisis hidráulico no es posible realizarlo.

La ausencia de una topografía de detalle limita ostensiblemente el proceso de modelación y sus resultados; al recurrir a estudios locales como los correspondientes a las rondas hídricas de algunas corrientes en la cuenca, se encontraron inconsistencias en la topografía y en las manchas de inundación generadas en dichos estudios. Esta Consultoría procedió a realizar modelaciones específicas con el fin de subsanar esta situación, y si bien los resultados son en general satisfactorios, debe tenerse en cuenta que a nivel de detalle pueden haberse generado imprecisiones en la definición de la amenaza ante inundaciones. Lo anterior implica que a la escala de trabajo del presente POMCA, existen áreas con alta amenaza que necesariamente serán afectadas limitando su uso a la protección, por lo tanto deberán implementarse estudios hidrológico – hidráulicos de detalle que permitan a partir de sus resultados, ratificar la categoría de protección para estas áreas, o la determinación de categorías menos restrictivas.

La ausencia de un número representativo de eventos en el catálogo construido y en la consulta realizada a las comunidades, genera una debilidad en la determinación de la recurrencia, y por tanto en la definición de la amenaza, generando baja confiabilidad al análisis. Un registro adecuado y sistemático de los eventos que sucedan, deberá ser la constante en las entidades encargadas de ello, bajo los criterios mínimos definidos en el catálogo construido para este POMCA.

Necesidades de información e investigación.

La precariedad en la información disponible actualmente, precisa la gestión institucional oportuna y activa con el fin de comenzar a llevar a cabo el registro de eventos de manera apropiada, de modo que sea efectivamente utilizada en procesos de ordenación del recurso y a nivel territorial.

Es importante que las personas que registran eventos, en adelante tengan total claridad en relación con las diferencias que existen entre las inundaciones y las avenidas torrenciales; realizando registros adecuados de eventos realmente ocurridos, se podrá contar con una base de datos coherente y confiable.

Las tecnologías sencillas que están al alcance de los entes territoriales para medir parámetros básicos en las corrientes de agua, así como el apoyo de la institucionalidad y del sector académico, son herramientas fundamentales para avanzar en el conocimiento del comportamiento de estos cuerpos de agua, llevando así a encontrar acciones que permitan mitigar este tipo de amenazas.

Se considera prioritario generar una apropiación fuerte de este tema por parte de las entidades territoriales encargadas de la gestión del riesgo, con el fin de convertirse en actores muy activos en los procesos de conocimiento del riesgo, no solo en la respuesta como es tradicional.

8.2.2 Avenidas Torrenciales

Para abordar la temática de torrencialidad en las cuencas de la jurisdicción de CORNARE, se tuvo en cuenta en principio la recomendación del “Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas” (MINAMBIENTE, MINHACIENDA, Fondo Adaptación, 2014), donde en su orden se debe investigar en primer instancia la susceptibilidad a este tipo de eventos, para posteriormente evaluar la amenaza donde se encuentre susceptibilidad crítica.

8.2.2.1 Metodología

Los aspectos metodológicos para la evaluación de las avenidas torrenciales se tratan en el protocolo POMCA (op. cit.), como una serie de combinaciones de conceptos hidrológicos y geológicos. Para la elaboración de esta investigación se siguen las directrices metodológicas de Parra y otros (1986), la cual parte de un concepto básico que consiste en caracterizar sedimentológicamente los depósitos que presenten sus márgenes, los que evidencian si la cuenca ha sido torrencial o no, es decir, distinguir entre los generados por condiciones de depósito relativamente tranquilas con fluidos de bajo contenido de sólidos, y las torrenciales, con alta energía y fluidos con alto contenido de ellos.. Dicho de otro modo, si una cuenca no tiene depósitos que evidencien la ocurrencia previa de avenidas torrenciales, no debe ser considerada como de amenaza por este tipo de fenómeno, de manera similar al volcanismo, donde si una zona no presenta depósitos volcánicos, no presenta amenaza significativa por ellos.

8.2.2.2 Caracterización

Una avenida torrencial se puede definir como una creciente excepcional que afecta una cuenca o parte de ella, con caudales que superan los niveles conocidos o esperados mediante estudios hidrológicos. Johnson (1984), define un flujo de escombros (avenida torrencial con poca agua y alta cantidad de rocas, suelo y escombros) como: “Una pared de bloques, rocas de todos los tamaños y lodo húmedo que aparece súbitamente en el fondo de un cañón precedido por un ruido sordo. Mientras la pared pasa el canal permanece lleno, con un torrente de escombros compuestos de lodo y bloques, rodando, chocándose y moléndose entre sí. Cuando llega a un abanico aluvial arrasa estructuras, vehículos y cubre carreteras, cultivos y campos como un tapete de escombros que lentamente se va deteniendo dejando un montículo frontal“.

Toda cuenca tiene zonas laterales al cauce o áreas de menores gradientes donde se depositan materiales aluviales durante sus crecientes y las características de tales depósitos permiten identificar el tipo de flujo que los formó.

Aunque no existe un límite absoluto entre flujos asociados a avenidas torrenciales y los relacionados con crecientes “normales” de una cuenca, los depósitos formados con alta cantidad de sólidos (que en hidrología se conocen como flujos laminares), se diferencian de los formados por fluidos con porcentajes discretos de sólidos (turbulentos), por una serie de características texturales y estructurales que se estudian por métodos geológicos tradicionales de estratigrafía y sedimentología (Costa, 1988). Es preciso advertir que los períodos de recurrencia de las avenidas torrenciales son en general muy largos, del orden de centenares a miles de años y por tal razón, los métodos hidrológicos carecen casi por completo de registros de este tipo de eventos, por lo que ellos no son aptos para modelar el fenómeno.

Algunas de las diferencias básicas entre los depósitos formados por flujos turbulentos (aluviales) y laminares (torrenciales), son las siguientes:

- Aluviales: Clastos redondeados, tangenciales entre sí, gradación normal, clasto-soportados, estructura con estratos bien definidos, buena selección, imbricación de clastos, matriz arenosa, depósito con pendiente muy baja, menor de 3°, tendencia a formar planicies aluviales con cauces meándricos.
- Torrenciales: Mayoría de clastos angulares, estructura caótica, estratos mal definidos, gradación inversa, matriz o clasto-soportados, mala selección, matriz areno-lodosa muy compacta, depósitos con pendientes de 3 a 10°, asociados a cauces de montaña y tendencia a formar sistemas de terrazas y conos aluviales con cauces trenzados a rectos.

La presencia o ausencia de algunas de las propiedades anteriores, permite calificar un cauce como aluvial o torrencial; en el primer caso, se pueden aplicar métodos hidrológicos convencionales para estimar los caudales máximos y mínimos de los ríos, en el segundo no, debido a la carencia de datos e investigación específica sobre el tema en el país.

Si se tiene en cuenta la definición del término Amenaza (Naciones Unidas, 1992), “Evento amenazante, o probabilidad de que ocurra un evento potencialmente dañino dentro de un área y período de tiempo dado”, a la caracterización de torrencialidad de una cuenca debe agregarse el concepto de recurrencia del fenómeno, que en este caso, por tratarse de un tipo de evento altamente catastrófico dado el número de víctimas y destrucción involucradas, la imposibilidad actual de predicción y además por la baja recurrencia, su grado de amenaza debe considerarse en términos

más amplios de tiempo que otros fenómenos como las inundaciones y los movimientos en masa que son de mayor periodicidad.

8.2.2.3 Criterios de edad

Para complementar este concepto a las cuencas, se utilizan los criterios de edad de los depósitos indicados en la metodología de Parra et. al. (1986). Una vez que se forma un depósito por un evento de remoción en masa, se comienzan a producir cambios en ellos que permiten asignar un rango de edad aproximado, con el fin de estimar su periodo de recurrencia para Colombia, de la siguiente manera:

- Años: Depósito con bloques de roca limpios, vegetación de rastrojo bajo en el depósito y superficies carentes de vegetación en las zonas de arranque de los movimientos en masa.
- Decenas de años: Aparición de líquenes en los bloques esmerilados (lisos) de rocas depositados por el evento que quedan expuestos al sol, negros de 20 a 40 años, blancos de 40 a 60 años y verdes en más de 60 años. En las superficies de zonas de arranque de los movimientos en masa, a partir de los 20 años se desarrolla rastrojo bajo que las enmascara en aerofotografías.
- Centenares de años: Cerca de 100 años redondean los flancos de las zonas de arranque y pueden tener desarrollo de bosque maduro, al igual que en el depósito; el redondeamiento de las coronas comienza a los 200, proceso que se completa llegando a los mil años.
- Miles de años: El desarrollo edafológico de los horizontes A y B de suelo, al igual que el perfil de meteorización se comienzan a manifestar (Harden, 1990); para lo cual en la zona andina (hasta unos 2.800 msnm, donde se manifiestan glaciaciones y condiciones de depositación de turbas), se puede asumir que ellos crecen en Colombia a una tasa aproximada de 1 cm/1.000 años (Page & James, 1981, Parra, 2016 en preparación). En este rango de edad se empieza a apreciar oxidación de la matriz y meteorización de granos de la fracción arena.
- Decenas de miles de años: La meteorización de la matriz avanza hasta descomponer los fragmentos de tamaño arena, gravas y superficialmente a los bloques. Los horizontes A y B siguen creciendo aproximadamente a la misma tasa.
- Centenares de miles a millones de años: En este intervalo el indicador de edad es el horizonte C o perfil de meteorización que crece hasta millones de años. Como ejemplo de lo anterior en Colombia, el estudio de los perfiles de Meteorización en el Batolito Antioqueño

(que hace parte de la zona de este estudio), muestra espesores del orden de 60 metros desarrollados en seis millones de años Page & James (1981), mientras que en el valle de Aburrá, en perfiles de meteorización de 20 m de espesor se encontraron edades de 2.09 M.a. y de manera similar en un depósito meteorizado de 18.4 m de espesor se obtuvo una edad de 2.33 M.a. (Rendón y otros, 2008), lo que indica una tasa de meteorización en los perfiles cercana a 1cm/1.000 años, que puede ser aplicable al estudio de las amenazas, midiendo su espesor y teniendo en cuenta de manera minuciosa los factores externos que hayan podido alterarlo.

8.2.2.4 Exploración de campo

Se diseñó una malla de puntos de control en quebradas de aproximadamente 50 Km² de área, teniendo en cuenta que una avenida torrencial como la de San Carlos en 1990 muestra depósitos hasta más de 10 km de distancia desde la fuente, con lo que resultaron 26 puntos para la cuenca del Río Nare. Este trabajo fue nutrido por los testimonios verbales de algunos habitantes de las áreas visitadas, los cuales permitieron ratificar las observaciones realizadas por el equipo de trabajo en campo. Los resultados de esta exploración se presentan en el numeral respectivo más adelante.

8.2.2.5 Generación de los mapas de susceptibilidad y amenaza

Con base en los anteriores pasos que incluyen la caracterización, la definición de los criterios de edad y la exploración de campo, se elaboró la cartografía respectiva.

8.2.2.6 Susceptibilidad y amenaza por avenidas torrenciales en el Oriente Antioqueño

Dependiendo de la causa, la torrencialidad se asocia con paisajes donde ella pueda desarrollarse, con lo que resultan zonas “no aptas para ser torrenciales”, a lo que en este caso se va a llamar susceptibilidad. En la zona de estudio ellas no se pueden presentar en los siguientes espacios.

- Por causas volcánicas: Podrían asociarse a los Volcanes San Diego (que es un Maar) y El Escondido, pero ellos están extintos, tal como lo evidencia su grado de incisión y baja conservación de la geoforma original, además, no se encontraron depósitos piroclásticos en la zona del Samaná Sur, indicio de que ellos ya se erosionaron.
- Por causas hidrometeorológicas: Se asocian con barreras montañosas (Figura 404) y ríos de montaña, no de meandros, luego las Superficies de Erosión como la de Rionegro y la de la planicie del Magdalena no las contienen, sin embargo para este estudio se visitaron buena parte de los cauces con el fin de verificar su carácter.

A lo anterior se suman cauces pequeños que pueden producir eventos de flujos de escombros relativamente pequeños como los originados por un movimiento en masa único, que en ocasiones descargan sobre ríos caudalosos capaces de diluir su densidad y en consecuencia minimizar sus efectos nocivos tal como ocurre con algunos afluentes menores del Río Concepción, en la zona localizada aguas arriba del embalse San Lorenzo o el caso del Río Calderas, afluente del Samaná Norte después de su confluencia con el Río Verde – Santo Domingo o en el tramo comprendido entre Puerto Venus y Puente Linda en el Río Samaná Sur. Por el contrario, en las áreas donde los cauces son meándricos, que se asocian a planicies aluviales, se definen cuencas no torrenciales; algo similar ocurre con zonas de colinas donde ellas no representan un obstáculo orográfico importante para las masas nubosas que vienen cargadas de agua desde las zonas bajas extensas como en este caso la planicie del Magdalena.

La sismicidad es un tema que debe estudiarse de manera más profunda en su relación con las causas de la ocurrencia de las avenidas torrenciales; según los registros históricos, se podría inferir que no existen sismofuentes superficiales capaces de generar sismos de $M > 6,5$ en la jurisdicción, de acuerdo con el registro sísmico disponible hasta el presente, tal como se muestra en la Figura 403 (AIS, 2009)". Sin embargo, esta relación debe ser estudiada con mayor detalle para la zona de estudio.

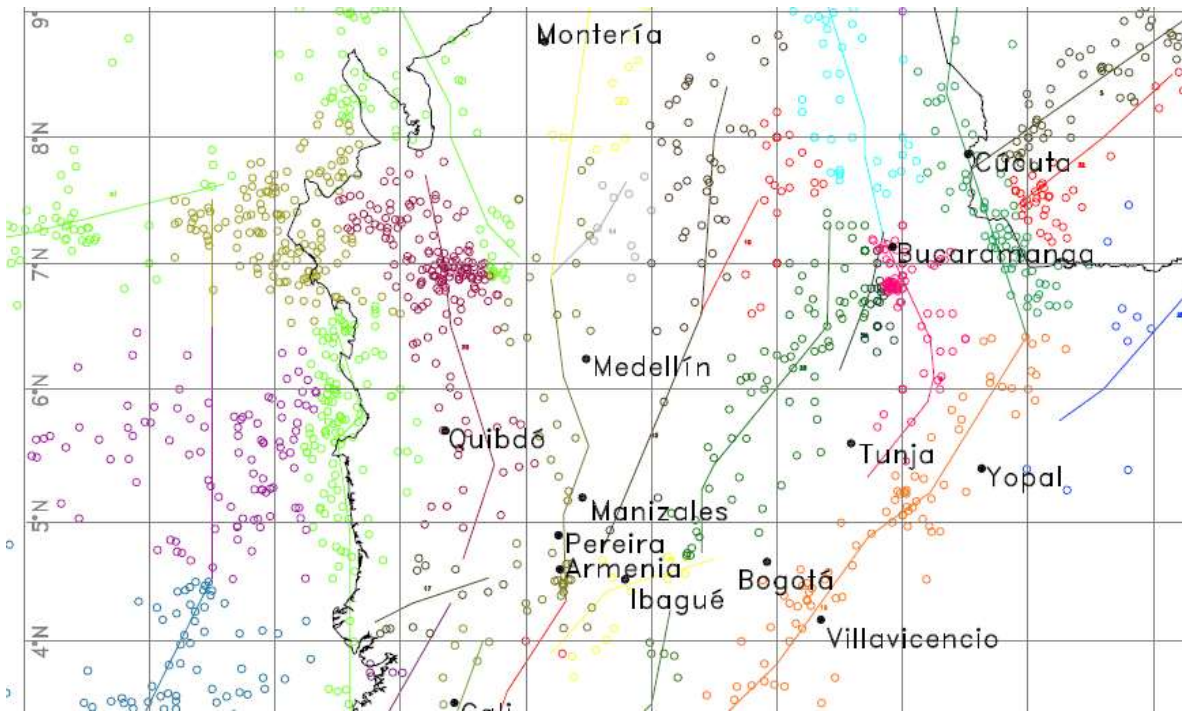


Figura 403. Sismicidad superficial en el Oriente Antioqueño (AIS, 2009).

Fuente: AIS (2009)

8.2.2.7 Contexto geomorfológico regional de las avenidas torrenciales

El Oriente Antioqueño tiene unas características muy particulares en el desarrollo de su paisaje en el sentido de que ella conserva los rasgos morfológicos impresos desde el Plioceno por el levantamiento de la Cordillera Central a través del tiempo. Existen estudios que han identificado varios niveles de superficies de erosión correspondientes a pulsos del levantamiento, con sus respectivos escarpes, lo que da un relieve escalonado, desde la superficie más antigua que se localiza en el corregimiento de Santa Elena (Page & James, 1981, INGEOMINAS – CORNARE, 1997) hasta el sector más bajo en la planicie actual del río Magdalena que representa el paisaje más reciente. En algunos sitios especiales de la zona de escarpes se generan obstáculos orográficos para las masas nubosas y de este modo son áreas aptas para la generación de avenidas torrenciales por episodios de lluvias extremas, al igual que en grandes curvas de los cañones de los ríos.

En todas las superficies de erosión mencionadas se encuentran cauces meándricos, lo que implica que por ellos no transitan avenidas torrenciales, mientras que en los escarpes se pueden localizar los sectores en los cuales si se pueden generar eventos de este tipo y hacia su extremo inferior formar los depósitos correspondientes como terrazas y abanicos, los que fueron revisados en campo con el detalle suficiente para caracterizarlos como torrenciales o aluviales. Igualmente, en los cauces

de montaña se analizaron las imágenes correspondientes a las ortofotos, proporcionadas por CORNARE, donde fue posible distinguir las cicatrices de enjambres de movimientos en masa (que se pueden preservar por espacio de unos 20 años para que se puedan observar en estas imágenes) y de esta manera, programar visitas de control en campo con el fin de racionalizar el trabajo de campo respectivo.

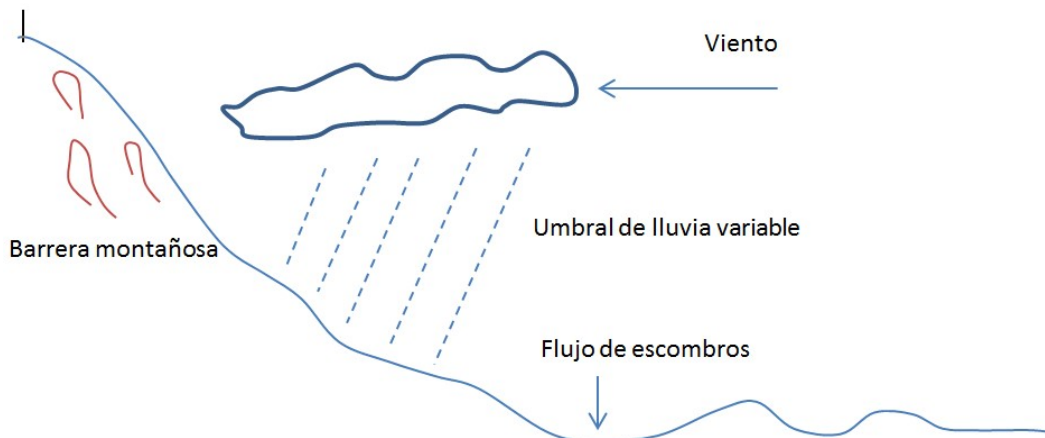


Figura 404. Esquema orográfico de zonas de generación de enjambres de movimientos en masa que producen avenidas torrenciales.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

8.2.2.8 Torrencialidad histórica

Se supone que la torrencialidad histórica del Oriente Antioqueño se encuentra documentada en la base de datos oficial de Colombia a la que se accede por desinventar.org, pero ella contiene numerosas inconsistencias que fueron ya mencionadas en este informe en el aparte de los eventos históricos; se estima que toda investigación que se base en este conjunto de datos se puede considerar como pobremente documentado. Es necesario aclarar que las bases de datos de Colombia nacieron de la consulta de los periódicos de las principales ciudades del País, sin verificaciones posteriores de campo ni ajustes por documentos históricos locales o por ejemplo complementación con registros de defunciones en cada municipio, con el fin de verificar los testimonios directos de informantes locales. Para efectos del presente informe, se recurrió a la base histórica de 1992 de INGEOMINAS (hoy Servicio Geológico Colombiano), sede Medellín, la que contiene datos del periódico El Colombiano hasta 1990 y se complementó con referencias de atención de emergencias del DAPARD y testimonios locales.

Los resultados de la investigación se muestran mediante la descripción de los depósitos encontrados en los cauces investigados.

8.2.2.9 Evaluación de la susceptibilidad a las avenidas torrenciales

La evaluación de la susceptibilidad considera tres pasos fundamentales:

- El análisis de eventos históricos.
- El análisis geomorfológico.
- La estimación del Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET).

A continuación se desarrolla cada uno de los pasos mencionados.

Análisis de eventos históricos:

Este tema ya ha sido presentado y evaluado en el numeral 2.2.1. En dicho numeral se hace notar que los registros históricos de eventos poseen algunas dificultades que limitan su utilización. En el caso de las avenidas torrenciales, además de resaltar todos los mencionados en ese numeral, es importante destacar que muchos de esos registros podrían corresponder en realidad a inundaciones, dado que la persona que registró cada evento no posee una formación técnica suficiente para determinar si un evento es una avenida torrencial o una inundación. Se evidenció en muchos casos esta confusión de términos, lo cual no hace confiable el registro en general. La evidencia de esta situación se presenta en la Figura 384, en la cual se señalan un registro de avenida torrencial en una corriente sin nombre en la vereda El Pital que transcurre en gran parte de su recorrido por zonas de topografía abrupta, y donde no se esperaría la acumulación de depósitos de tipo torrencial.

Análisis geomorfológico:

Para determinar la susceptibilidad a las avenidas torrenciales en la zona se utilizaron los criterios de descarte de las zonas correspondientes a las Geoformas de Planicies, que se componen de colinas o llanuras de inundación atravesadas por ríos de meandros, donde no existen condiciones para la formación de flujos de alta energía. En las zonas de escarpes se trató de corroborar en campo las características de los depósitos, no obstante se visitaron algunos sitios para observar sus características sedimentológicas y corroborar el comportamiento aluvial de sus crecientes, las cuales se describen en el numeral correspondiente a la amenaza.

Otra característica que permitió delimitar las áreas con mayor probabilidad de presentar avenidas torrenciales, fue el análisis de los sensores remotos (Ortofotos o imágenes satelitales disponibles en Google Earth), mediante el reconocimiento de enjambres de cicatrices de movimientos en masa en condiciones de carencia de cubierta vegetal, las que indican una ocurrencia de ellos de hace menos de 20 años, que es lo que tardan las cicatrices en cubrirse de vegetación que los enmascare.

También se identificaron efectos erosivos de avenidas torrenciales sobre los cauces y seguir su traza hasta encontrar los eventos que las causaron. Estas actividades facilitaron la definición de las zonas de mayor susceptibilidad y facilitaron la búsqueda de evidencias en campo para completar el trabajo.

No se encontraron rasgos de enjambres de cicatrices de movimientos en masa recientes en las partes altas de la cuenca del Río Nare, ellos se restringen a la parte baja de ella, en la quebrada Cominales, que se describe más adelante. La mayor susceptibilidad de esta cuenca se encuentra localizada en su sector occidental, donde los procesos que originan la torrencialidad se encuentran asociados a movimientos en masa de tamaños importantes, del orden de 60x60x5 m, es decir del orden de 15.000 a 20.000 metros cúbicos que caen al cauce y de manera inmediata son arrastrados por el caudal normal por varios kilómetros aguas abajo (al parecer de un orden de 5 km), hasta que el contenido de sólidos se diluye para formar una creciente importante, pero no torrencial.

Un evento de este tipo ocurrió en 2008 en la quebrada San Miguel (Figura 405), afluente de la quebrada San Pedro, que arrasó el puente de la vía Alejandría – Santo Domingo, produciendo daños importantes en sus márgenes, así como la destrucción del balneario de Terales, cercano al puente mencionado. La evidencia de campo muestra un alto porcentaje de bloques removilizados del propio cauce dada la alta proporción de ellos con avanzado redondeamiento, lo que implica además que el material transportado por el flujo se componía especialmente de suelo residual.



Figura 405. Cauce de la quebrada San Miguel con cicatriz de movimiento en masa y huella torrencial de 2008.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño (Imagen tomada de la ortofoto de 2008)

Un afluente de la quebrada San Pedro, aguas arriba del sitio anterior, la quebrada Chorro Hondo, muestra un depósito de flujo de escombros con características de abanico, dada su pendiente de un poco más de 5°, similar a otro de la quebrada Santa Fé, localizada hacia el oriente de la misma vereda; aunque la edad de los depósitos es avanzada, la coincidencia de estos rasgos indica que la zona es susceptible a presentar este tipo de eventos.

Las otras quebradas del sector occidental del Río Nare presentan estilo aluvial, pero en el tramo comprendido entre Alejandría y el embalse de San Lorenzo, los afluentes directos del Río Nare presentan otros depósitos de flujos de escombros que conforman abanicos de edad del orden de decenas de miles de años, de acuerdo con sus suelos y el estado de incisión avanzada.

En el sector oriental de la cuenca, en la quebrada Cominales, municipio de Caracolí, aguas arriba de la descarga de la hidroeléctrica Argos al Río Nare, se encuentran huellas recientes de un enjambre de movimientos en masa, que evidencia susceptibilidad a las avenidas torrenciales, asociada probablemente con la orografía del sitio, donde el cañón del río, además de su profundidad, de unos 500 m, presenta una curva de casi 300° que la nube que sube cargada de agua seguramente no alcanza a superar. Dado el caudal del Río Nare en el sitio, un flujo provocado en esta cuenca se diluye rápidamente para convertirse en un evento de creciente. Tal vez por esta razón, no se encuentra en el sitio un abanico que registre los eventos ocurridos.

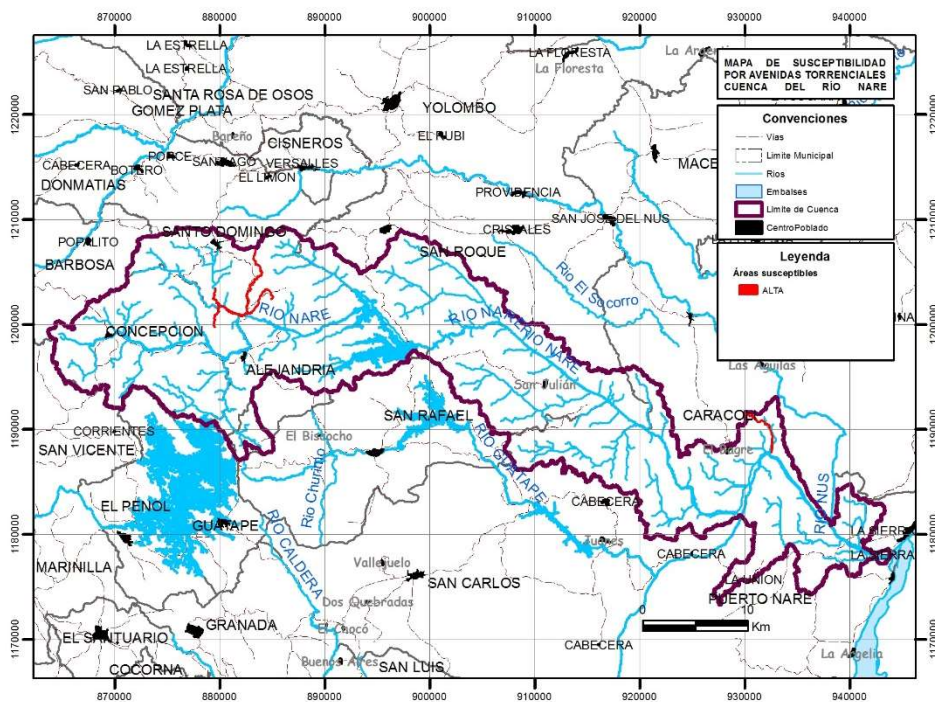


Figura 406. Susceptibilidad ante avenidas torrenciales en la cuenca del Río Nare a partir del análisis geomorfológico.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Cálculo del IVET:

El Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET) indica la relación existente entre las características de la forma de una cuenca que son indicativas de la torrencialidad en la misma, en relación con las condiciones hidrológicas en dicha cuenca.

Para el cálculo del Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET) se siguió la metodología indicada en el documento “Lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua – ERA” (IDEAM, 2013).

Según esta metodología se deben calcular dos índices para la obtención del IVET; el primero es el Índice Morfológico de Torrencialidad y el segundo el Índice de Variabilidad.

Índice Morfológico de Torrencialidad.

Se obtiene mediante la relación entre los parámetros morfométricos como el coeficiente de compacidad o de forma, la pendiente media de la cuenca y la densidad de drenaje. El primer paso es hallar los valores de los parámetros descritos, asignados mediante la siguiente tabla:

Tabla 403. Relaciones para categorizar el 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 (Kc)			>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: Lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua – ERA. IDEAM (2013).

Para ello se utilizó la información elaborada para el apartado de Hidrografía y Morfometría del documento de diagnóstico; la representación cartográfica de las variables utilizadas se presenta a continuación en la Figura 407 a Figura 409.

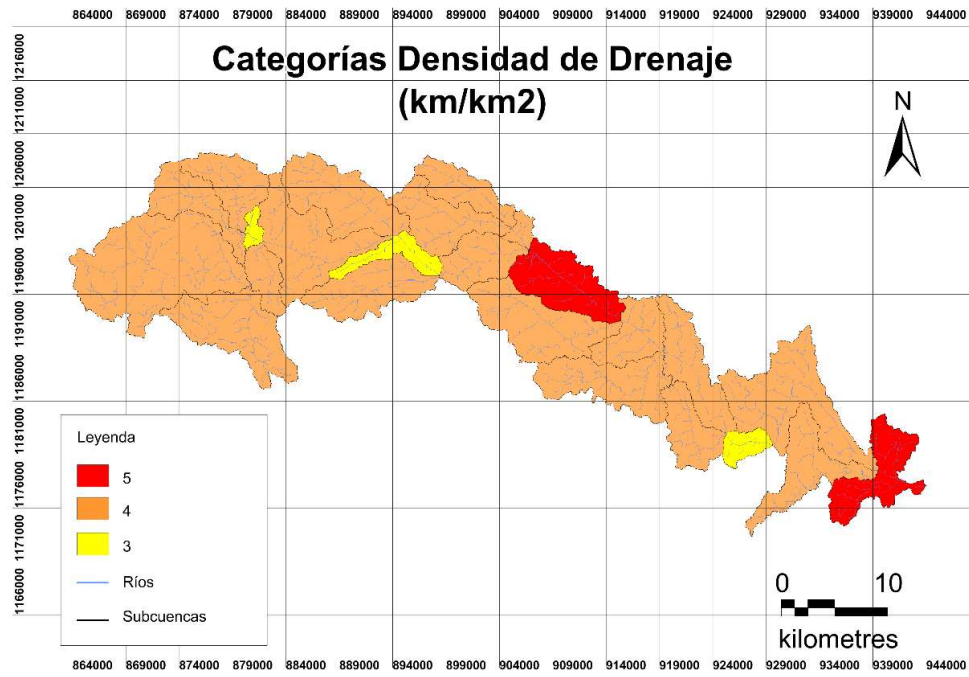


Figura 407. Espacialización de la densidad de drenaje en la cuenca.
 Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

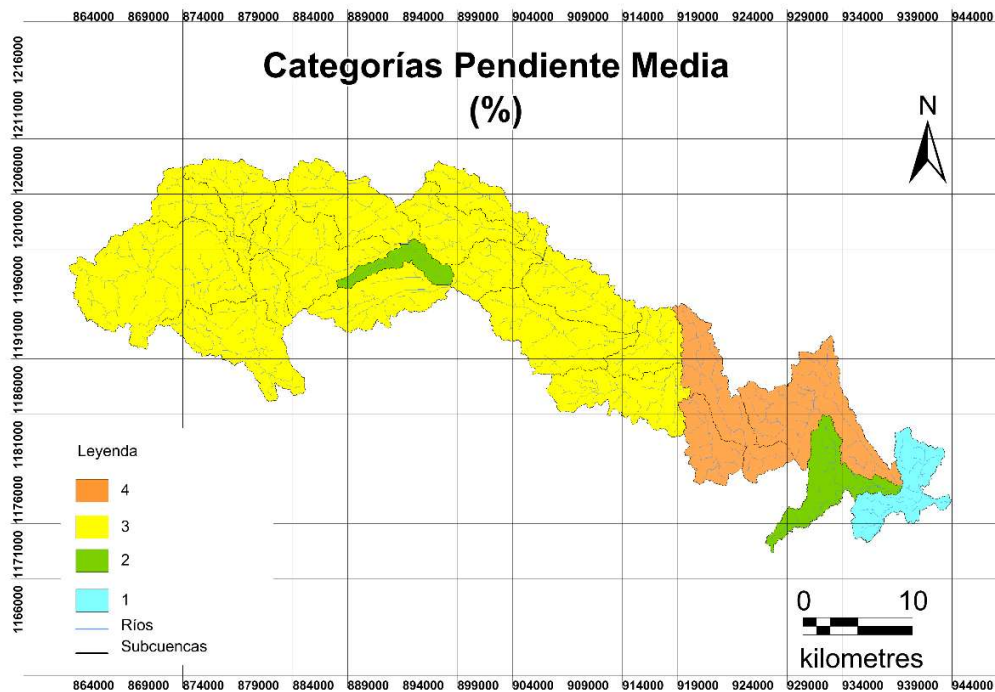


Figura 408. Espacialización de la pendiente media en la cuenca.
 Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

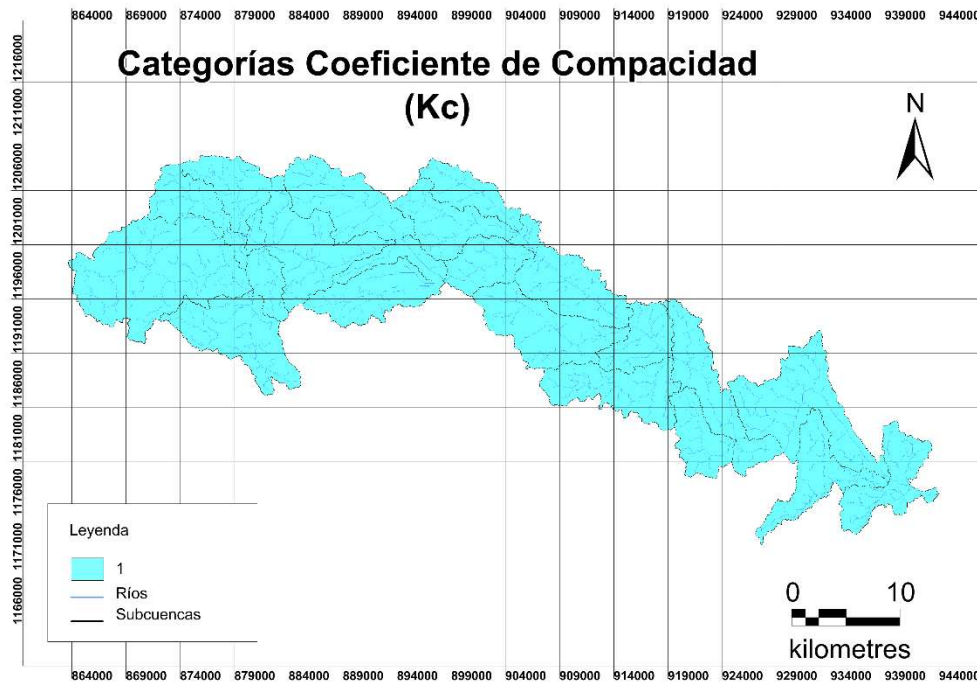


Figura 409. Espacialización del coeficiente de compacidad en la cuenca.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Una vez calculados estos parámetros se cruzaron según la siguiente matriz para obtener el Índice Morfológico de Torrencialidad.

Tabla 404. Relación entre variables para el índice morfométrico.

		Pendiente media de la cuenca					
		1	2	3	4	5	
Densidad de drenaje	1	111	121	131	141	151	1
		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 ■ Baja ■ Muy baja
■ Alta ■ Moderada

Fuente: Lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua – ERA. IDEAM (2013).

Para las subcuencas del Río Nare el Índice Morfométrico de Torrencialidad queda como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 405. Cálculo del Índice Morfométrico de Torrencialidad.

SUBCUENCA	DD (KM/KM ²)	PENDIENTE MEDIA (%)	KC	CATEGORÍAS			ÍNDICE MORFOLÓGICO
				DD	PENDIENTE	KC	
Río Nusito	2.19	43.07	2.11	4	3	1	Moderada
Q. San Miguel (San Pedro)	2.36	39.40	2.05	4	3	1	Moderada
Q. El Porvenir	2.13	44.93	2.37	4	3	1	Moderada
Q. La Guzmaná	2.15	45.68	2.37	4	3	1	Moderada
Q. San Pedro	2.28	45.40	2.57	4	3	1	Moderada
Q. Limoncito	2.28	50.93	2.01	3	3	1	Moderada

SUBCUENCA	DD (KM/KM2)	PENDIENTE MEDIA (%)	KC	CATEGORÍAS			ÍNDICE MORFOLÓGICO
				DD	PENDIENTE	KC	
Q. El Bejuco (Qda. El Rosario)	2.27	45.01	2.43	4	3	1	Moderada
Q. San Miguel (San Lorenzo)	1.99	33.54	2.66	3	2	1	Baja
Q. Nudillales	2.34	42.98	1.86	4	3	1	Moderada
Q. El Pital	2.37	41.78	1.90	4	3	1	Moderada
Q. Mina Grande	2.52	47.16	1.95	5	3	1	Alta
Río Concepción	2.26	42.76	2.10	4	3	1	Moderada
Río San Lorenzo	2.37	37.36	2.12	4	3	1	Moderada
Q. Las Mercedes	2.29	37.54	2.34	4	3	1	Moderada
Q. Las Frías	2.31	43.92	2.00	4	3	1	Moderada
Río Chico	2.36	41.17	2.15	4	3	1	Moderada
Q. LLanada	2.31	42.35	2.51	4	3	1	Moderada
Q. El Bagre	2.21	52.99	2.85	4	4	1	Alta
Q. Quebradona	2.1	56.48	2.47	4	4	1	Alta
Q. Portugal	2.49	53.19	2.04	4	4	1	Alta
Q. Honda	2	64.27	1.71	3	4	1	Moderada
Q. La Sona	2.46	41.70	3.11	4	2	1	Moderada
Q. Jabonales - Caño Balsamito	2.62	18.82	2.89	5	1	1	Moderada
Q. Vijagual	2.52	49.80	2.00	4	3	1	Moderada

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Su espacialización puede apreciarse en la Figura 410:

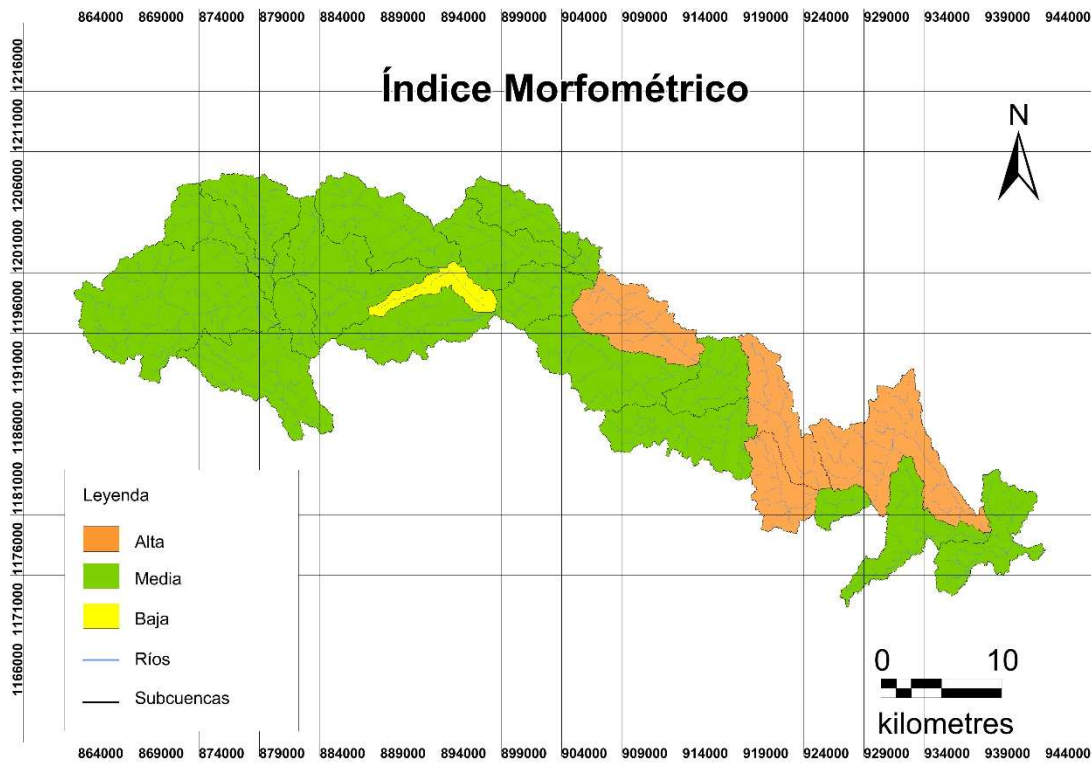


Figura 410. Índice Morfométrico de Torrencialidad para la cuenca del Río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño

Índice de Variabilidad.

Se obtiene de la curva de duración de caudales; muestra cómo es la variabilidad de los caudales en una determinada cuenca. Una cuenca torrencial es aquella que presenta una mayor variabilidad, es decir, existen diferencias grandes entre los caudales mínimos y los valores máximos.

Representando de forma logarítmica la curva de caudales para cada subcuenca de la cuenca del Río Nare se halló la curva de ajuste para cada una. En la Figura 411 pueden observarse las representaciones de la curva de duración de caudales de la quebrada El Bagre y su ajuste logarítmico, las curvas para el resto de subcuencas pueden consultarse en el Anexo 8.4.

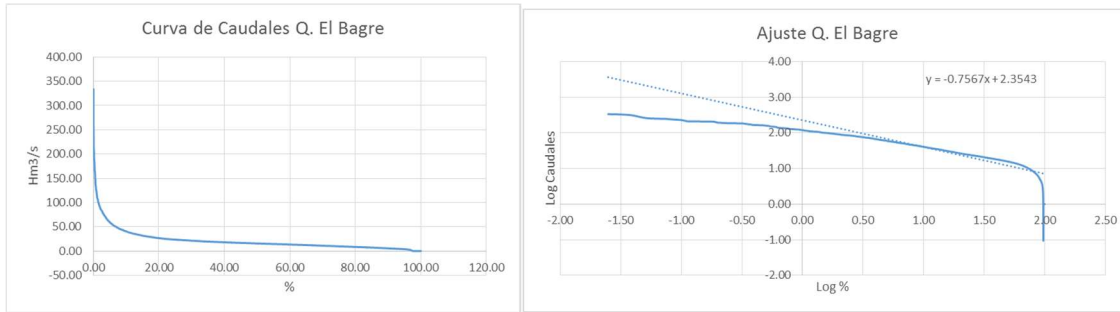


Figura 411. Curva de caudales y ajuste en la quebrada El Bagre.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Para obtener el índice de variabilidad se utilizó la siguiente expresión:

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

Ecuación 1. Índice de Variabilidad para calcular el IVET.

Donde, **Qi** y **Qf** representan los valores logarítmicos de dos caudales tomados de la curva de duración de caudales (el primero y el último valores positivos de la curva), y **Xi** y **Xf** los logaritmos de los porcentajes de tiempo en que se exceden los caudales **Qi** y **Qf**, respectivamente. Una vez obtenido este parámetro se clasifica según la siguiente tabla:

Tabla 406. 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: Lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua – ERA. IDEAM (2013).

Los resultados de esta operación para la Cuenca del Río Nare pueden observarse en la siguiente tabla:

Tabla 407. Determinación del Índice de Variabilidad para cada subcuenca.

SUBCUENCA	ÍNDICE DE VARIABILIDAD	VULNERABILIDAD
Río Nusito	35.3	Baja
Q. San Miguel (San Pedro)	33.2	Baja
Q. El Porvenir	37.6	Media
Q. La Guzmaná	37.1	Media
Q. San Pedro	31.6	Baja
Q. Limoncito	32.5	Baja
Q. El Bejuco (Qda. El Rosario)	33.3	Baja
Q. San Miguel (San Lorenzo)	33.2	Baja
Q. Nudillales	34.1	Baja
Q. El Pital	40.1	Media
Q. Mina Grande	39.6	Media
Río Concepción	32.8	Baja
Río San Lorenzo	37.0	Baja
Q. Las Mercedes	36.9	Baja
Q. Las Frías	40.2	Media
Río Chico	35.6	Baja
Q. Llanada	52.7	Alta
Q. El Bagre	43.3	Media
Q. Quebradona	42.5	Media
Q. Portugal	37.3	Media
Q. Honda	42.2	Media
Q. La Sona	58.0	Alta
Q. Jabonales - Caño Balsamito	45.0	Media
Q. Vijagual	37.3	Media

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

La expresión cartográfica del Índice de Variabilidad se observa en la Figura 412.

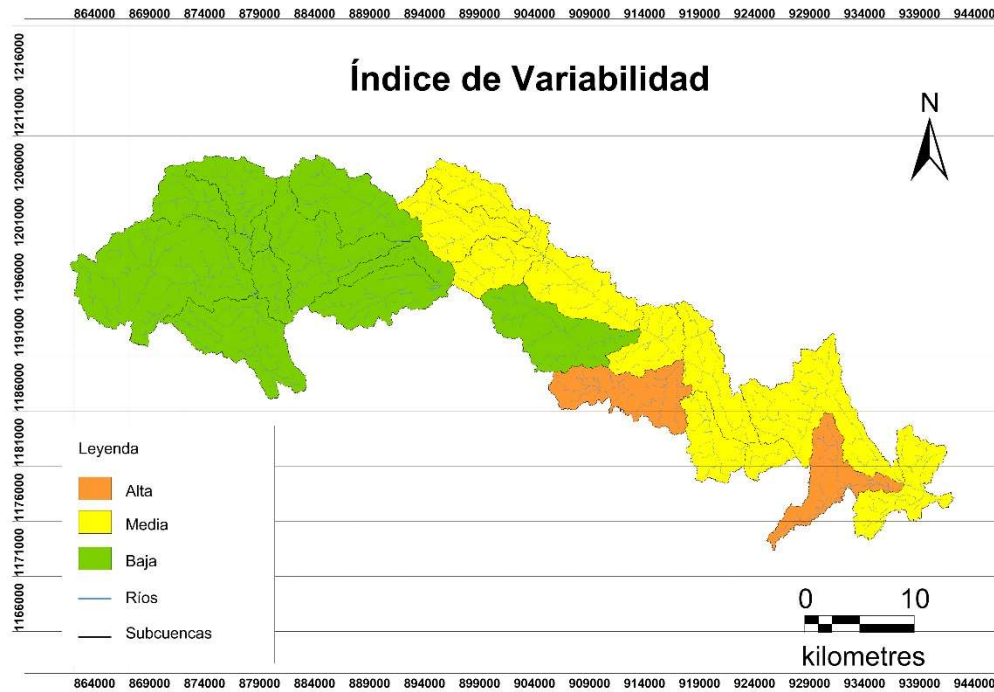


Figura 412. Índice de Variabilidad.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Una vez obtenidos estos dos índices (Índice Morfométrico de Torrencialidad e Índice de Variabilidad), se vuelve a cruzar la información para obtener el IVET según la siguiente matriz:

Tabla 408. Clasificación del IVET según el Índice Morfométrico de Torrencialidad y el Índice de Variabilidad

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: Lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua – ERA. IDEAM (2013).

El cruce del Índice Morfológico de Torrencialidad con el Índice de Variabilidad genera los siguientes resultados para la cuenca del Río Nare:

Tabla 409. IVET para la cuenca del Río Nare.

SUBCUENCA	ÍNDICE VARIABILIDAD	ÍNDICE MORFOLÓGICO	IVET
Río Nusito	Baja	Moderada	Media
Q. San Miguel (San Pedro)	Baja	Moderada	Media
Q. El Porvenir	Media	Moderada	Alta
Q. La Guzmaná	Media	Moderada	Alta
Q. San Pedro	Baja	Moderada	Media
Q. Limoncito	Baja	Moderada	Media
Q. El Bejuco (Qda. El Rosario)	Baja	Moderada	Media
Q. San Miguel (San Lorenzo)	Baja	Baja	Media
Q. Nudillales	Baja	Moderada	Media
Q. El Pital	Media	Moderada	Alta
Q. Mina Grande	Media	Alta	Alta
Río Concepción	Baja	Moderada	Media
Río San Lorenzo	Baja	Moderada	Media
Q. Las Mercedes	Baja	Moderada	Media
Q. Las Frías	Media	Moderada	Alta
Río Chico	Baja	Moderada	Media
Q. Llanada	Alta	Moderada	Alta
Q. El Bagre	Media	Alta	Alta
Q. Quebradona	Media	Alta	Alta
Q. Portugal	Media	Alta	Alta
Q. Honda	Media	Moderada	Alta
Q. La Sona	Alta	Moderada	Alta
Q. Jabonales - Caño Balsamito	Media	Moderada	Alta
Q. Vijagual	Media	Moderada	Alta

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

La espacialización de este índice para la Cuenca del río Nare puede apreciarse en la Figura 413

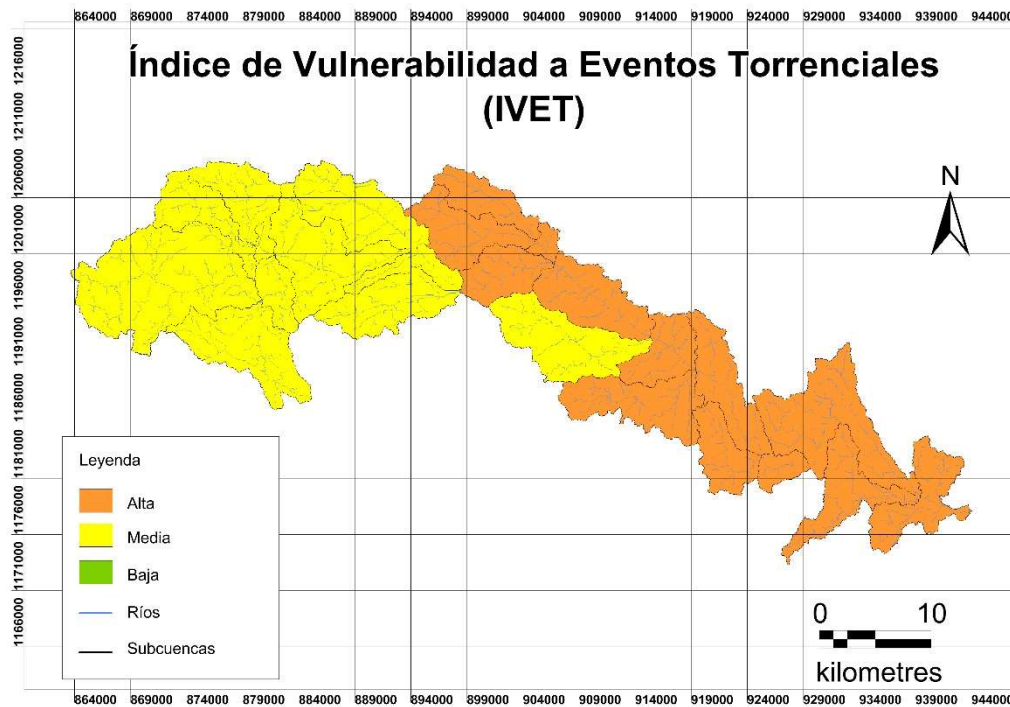


Figura 413. Mapa del IVET para la cuenca del Río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Análisis de los resultados de la susceptibilidad.

El resultado proveniente del análisis geomorfológico define unas corrientes con susceptibilidad a presentar avenidas torrenciales, dadas sus características topográficas o geomorfológicas, y a la presencia de depósitos antiguos. En criterio del equipo de expertos del componente Gestión del Riesgo, este resultado es real pues corresponde con lo observado en campo y es acorde a las características de cada cuenca que fue señalada como susceptible a partir de este paso en la metodología.

Por otra parte, los resultados obtenidos en el cálculo del IVET corresponden a la categoría Media en la parte alta de la cuenca, y Alta en la parte media-baja de la misma, lo cual no corresponde a la realidad encontrada en el trabajo de campo, dadas sus características. De igual manera, no puede ser señalada la totalidad de la cuenca con categorías de susceptibilidad, debido a que este fenómeno se presenta solo en los cauces y su depósito en áreas aledañas.

Por lo anterior, el equipo de expertos del componente Gestión del Riesgo definió como la susceptibilidad ante avenidas torrenciales el producto del análisis geomorfológico.

8.2.2.10 Evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales

En el “Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas” (MINAMBIENTE, MINHACIENDA, Fondo Adaptación, 2014), proponen una categorización de la amenaza basada parcialmente en los criterios de edad de los depósitos según Parra (1995), donde de forma cualitativa se establecen los rangos. En esta investigación se asignó a los depósitos una edad de acuerdo con el espesor de los horizontes de suelos edáficos A y B que cubren los depósitos, además de los otros criterios mencionados en el capítulo de metodología. Para evitar ambigüedades con estos términos, la equivalencia de dicha escala es la siguiente:

- Depósitos recientes → Edad menor de 10.000 años → AMENAZA ALTA
- Depósitos maduros → Edades entre 10.000 y 20.000 años → AMENAZA MEDIA
- Depósitos antiguos → Edades mayores a 20.000 años → AMENAZA BAJA

La categorización de la amenaza se correlaciona directamente con la escala anterior. En esta investigación se asignó a los depósitos una edad de acuerdo con el espesor de los horizontes de suelos edáficos A y B, tal como se mencionó en el capítulo de metodología.

De acuerdo con lo referido en el numeral de susceptibilidad, en la cuenca del Río Nare son restringidas las áreas donde potencialmente se pueden presentar avenidas torrenciales, a pesar de lo anterior se verificaron de manera sistemática los depósitos de los cauces que nacen en la parte alta de la cuenca, con el fin de identificar su carácter (aluvial o torrencial) y por tal razón se describen las características de los más representativos de las subcuencas.

Para una rápida comprensión, se presenta en la Figura 414 un esquema de la amenaza por avenidas torrenciales en la cuenca del Río Nare.

TORRENCIALIDAD EN LA CUENCA DEL RÍO NARE

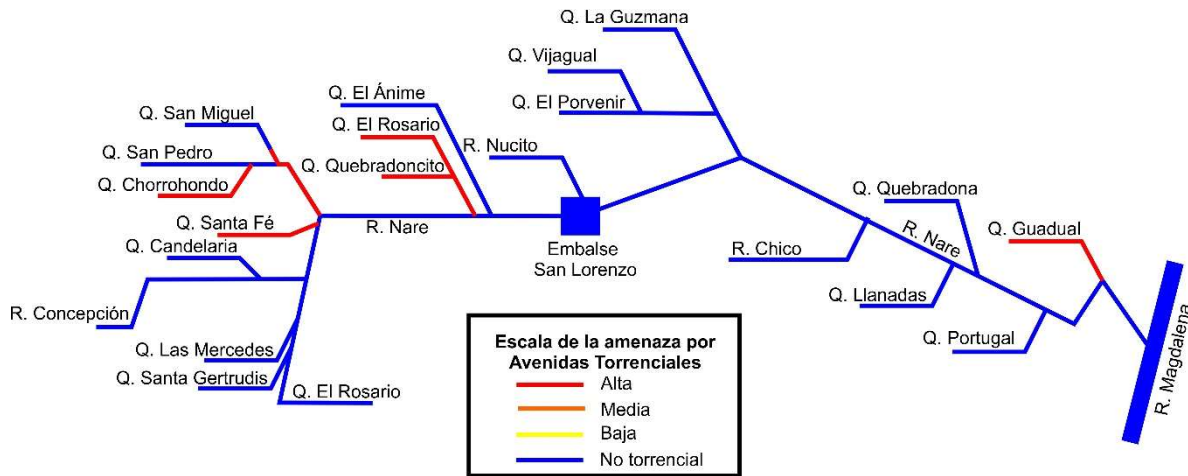


Figura 414. Esquema de la amenaza por avenida torrencial en la cuenca del Río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño

Quebrada Grande

Localizada en el sur del municipio de Concepción que al unirse con la quebrada San Juan se convierten en el Río Concepción. Aguas arriba del casco urbano se identifica una terraza aluvial de 1.5 m de altura con respecto al cauce, de baja pendiente (Foto 98), cuya composición es esencialmente limos de desborde con escasos bloques decimétricos sub-angulares en superficie que son aportados desde las vertientes. Las características texturales del material que la compone explican su carácter depositacional aluvial de baja energía.

Por otra parte, se identifica el desarrollo de depósitos coluviales en las márgenes con las vertientes, lo que indica una longevidad importante, del orden de miles de años para esta terraza.



Foto 98. Quebrada Grande. a) disposición plana de baja energía; b) aporte coluvial desde la vertiente.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Quebrada San Juan

Localizada al occidente del municipio de Concepción que al unirse con la quebrada Grande se convierte en el Río Concepción. Se identifica un sistema de al menos 2 terrazas de 1 y 3 m de altura respecto al cauce (Foto 99). La composición de la terraza más reciente es esencialmente limos de desborde color pardo oscuro, evidencia de un ambiente depositacional aluvial no torrencial. El horizonte edáfico A tiene un espesor aproximado de 40 cm, que indica una edad del orden de varias decenas de miles de años

Por otra parte, al interior del cauce se muestran bloques desde decimétricos a métricos predominantemente redondeados, donde algunos de ellos están cubiertos por líquenes negros verdes y blancos, que corroboran que no ha habido eventos torrenciales durante al menos los últimos 60 años. Se concluye que el régimen de la quebrada ha sido aluvial al menos durante los últimos 30.000 a 40.000 años.



Foto 99. Quebrada San Juan, a) dos niveles de terrazas aluviales; b) horizonte A de espesor > 40 cm.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Quebrada Santa Gertrudis

Localizada al oriente del casco urbano de Concepción por la vía que conduce a Alejandría.

Se identifica una terraza baja, inundable, de aproximadamente 1 m de espesor (Foto 100), compuesta en la base por un depósito de gravas limpias, redondeadas, con buena selección, con contactos tangenciales; en la parte superior hay limos de desborde color pardo oscuro con un horizonte de suelo A de unos 10 cm de espesor. En la parte superior de la terraza se identifica vegetación madura de pinos, que indica ausencia de crecientes torrenciales en tal vez los últimos 20 años. Por otro lado, en el cauce también se observan gravas semejantes a las descritas en la base de la terraza, indicativas de un ambiente semejante.

Las características texturales dan idea del carácter aluvial del depósito, mientras que el espesor del horizonte A de suelo permite asignarle una edad del orden de varios miles de años.



Foto 100. Valle aluvial de la Q. Santa Gertrudis con terrazas y depósitos netamente aluviales.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Quebrada Matasanos

Localizada al oriente de la cabecera municipal de Concepción por la vía que conduce a Alejandría.

Se identifican bloques métricos limpios y redondeados dentro del cauce encañonado, los que definen un típico cauce aluvial de montaña (Foto 101) que carece de abanico aluvial en su desembocadura al Río Concepción, evidencia un carácter no torrencial.

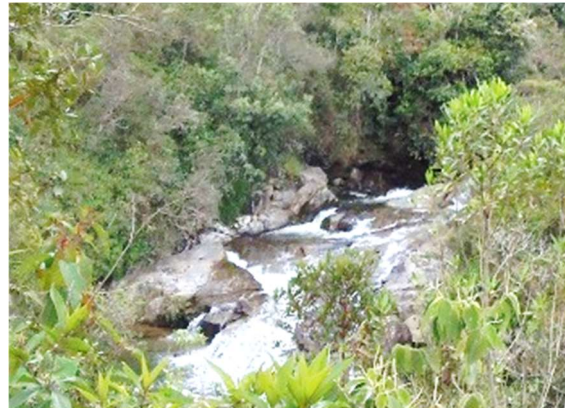
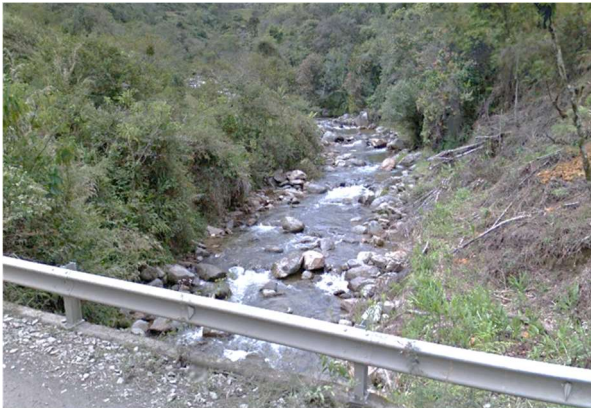


Foto 101. Cauce de río de montaña de la Quebrada Matasanos, con bloques de roca y charcos que obran como disipadores de energía.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño

Río Concepción

Localizado desde la cabecera municipal de Concepción hasta desembocar al este en el río Nare.

Aguas abajo del casco urbano se identifican amplias terrazas de topes horizontales de unos 1.5 m de espesor, entre las cuales el río fluye de manera meándrica (Foto 102). Están compuestas por depósitos de forma lenticular de gravas y bloques redondeados, limpios, con contactos tangenciales, clasto-soportados, con matriz areno-limosa. En la parte superior se encuentran limos de desborde (depositados por inundaciones con bajo contenido de sólidos), de color pardo oscuro, al tope de la secuencia existe un horizonte de suelo A inmaduro de unos 50 cm de espesor, anormalmente grueso por el aporte de limos de desborde depositados por las crecientes normales del río.

Las características texturales del material y la geometría del cauce indican una depositación de carácter aluvial; mientras que el espesor del horizonte A indica una edad del orden unas pocas decenas de miles de años.



Foto 102. Cauce meándrico del río Concepción con terrazas de material netamente aluvial.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño

Varios de los tributarios más pequeños del Río Concepción antes de su desembocadura al Nare, presentan depósitos (Foto 103). Lo anterior implica que en este sector de la cuenca se pueden presentar Flujos de Escombros producidos por movimientos en masa únicos de tamaños importantes (decenas de miles de metros cúbicos), fenómeno que requiere de un mayor detalle para su estudio y definición de su peligrosidad que el de los términos de esta investigación. Tales depósitos podrían ser considerados como torrenciales por definir una geometría de cono, pero las superficies muestran una pendiente de unos 6 hasta 10 grados de inclinación, indicativa de materiales muy viscosos que pueden en buena parte de los casos pueden tener condiciones de depositación relativamente lentas.

Sin embargo, los depósitos parecen ser de edades considerables, del orden de varios miles de años, ya que muestran avanzado grado de incisión. Preliminarmente a este sector del río se le debe considerar como de amenaza media por avenidas torrenciales, con el fin de dar pie a una investigación en mayor detalle.



Foto 103. Márgenes del río Concepción con depósitos producidos por flujos de escombros.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

En la desembocadura en el Río Nare se observa que el Río Concepción presenta depósitos de tipo aluvial con características similares a los ya descritos aguas arriba, pero en este sector se presentan bloques sub-angulares que han sido aportados desde las vertientes. Esta observación permite afirmar que los flujos de escombros localizados aguas arriba de este sitio no tuvieron tamaño suficiente como para represar de manera notable el Río y generar avenidas torrenciales por ruptura de dique, si esto hubiese ocurrido, existirían depósitos torrenciales en el sector.



Foto 104. Sector inferior del Río Concepción donde se encuentran terrazas aluviales.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Quebrada El Popo

Afluente directo al Río Nare, localizado al oriente de la cabecera municipal de Alejandría. En el lecho de la quebrada hay presencia de abundantes bloques decimétricos y gravas redondeadas, bien seleccionadas, limpias, con contactos tangenciales, depositados al interior y en los flancos del cauce que no definen geoformas de terrazas, pero son evidencia de un régimen de deposición de carácter aluvial (Foto 105).

En la desembocadura sobre el Río Nare se encuentra un abanico muy inmaduro por su vegetación de rastrojo bajo, donde se deposita el material mencionado, con algo de matriz arenosa. Las características texturales de los materiales indican un carácter aluvial típico de cauce de montaña, modificado en el extremo inferior por las condiciones del remanso provocado por el embalse de San Lorenzo.



Foto 105. Cauce de montaña de la quebrada El Popo, con abanico activo hacia la cola del embalse.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Quebrada San Pedro

Este cauce es el que define el límite entre los municipios de Alejandría y Santo Domingo y nace en el extremo noroccidental de la cuenca del Río Nare. A la altura del colegio de la vereda Fátima, aguas arriba de la desembocadura de la quebrada Chorro-hondo, se identificaron al menos dos niveles de terrazas de unos 2.5 y 4 m de altura con respecto al cauce. El nivel más reciente está compuesto en su parte inferior por bloques decimétricos sub-redondeados y gravas redondeadas, con contactos tangenciales y moderada selección, embebidos en una matriz areno-limosa parcialmente oxidada, características que implican deposición por un cauce aluvial, no torrencial en este punto de la quebrada. En la parte superior, la composición del depósito cambia a limos de desborde, con un desarrollo del horizonte A del suelo de unos 20 a 45 cm de espesor, además se

observa un amplio aporte coluvial sobre ésta, lo que corrobora su longevidad, de varias decenas de miles de años (Foto 106).

Dentro del cauce se encuentran bloques métricos tanto redondeados como angulares cubiertos por líquenes negros y blancos, con desarrollo de algo de vegetación juvenil. Esto da idea de que no ha habido crecientes importantes con alto contenido de sólidos en al menos 40 años.



Foto 106. Depósitos de las Terrazas a) alta y b) baja de la quebrada San Pedro.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

En este punto desemboca un afluente pequeño, la quebrada Chorrohondo, la cual a pesar de su corta longitud muestra un depósito de unos 3 metros de espesor, matriz-soportado, con bloques angulares, caóticos, evidenciando una actividad torrencial. Sin embargo está cubierto por limos de desborde, con un espesor de horizonte de suelo A de unos 40 cm que dan idea del cambio de régimen de lluvias de torrencial a aluvial hace varias decenas de miles de años (Foto 107).



Foto 107. Depósito torrencial de la Q Chorro Hondo cubierto por limos aluviales.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Aguas abajo del caserío de Fátima, cerca del cruce con la vía Alejandría-Santo Domingo, dentro del cauce de la quebrada San Pedro, se observa una gran acumulación de bloques redondeados, en menor proporción angulares, con tamaños variables que llegan hasta 3 m de diámetro, limpios sin cobertura de líquenes, que se extiende a las márgenes. Estas características evidencian un evento torrencial reciente, ocurrido probablemente en 2009, que ya fue mencionado en el capítulo de susceptibilidad. El carácter torrencial antiguo lo confirma un depósito localizado unos 100 m aguas abajo del puente nuevo, que presenta unos 2 m de espesor, donde se observa la estructura caótica y textura matriz-soportada, con un desarrollo del horizonte A de suelo de unos 20 cm de espesor (Foto 108).



Foto 108. Quebrada San Pedro, a) bloques acarreados por evento torrencial de 2009, b) depósito antiguo.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

El evento torrencial de 2009 se generó por un movimiento en masa único ocurrido en la cuenca de la quebrada San Miguel, la cual desemboca entre la vereda Fátima y el antiguo puente de la vía. La torrencialidad de la quebrada mostró como uno de los efectos más impactantes la destrucción del puente que pasa sobre ella en noviembre del año 2009 (Foto 109), además de las instalaciones del balneario de aguas termales vecino.



Foto 109. Destrucción del puente vial de la Quebrada San Pedro por avenida torrencial de 2009. (Fotos cortesía de José María Ruiz Palacio). Se destaca el área mojada del evento.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Quebrada Santa Fé

Este pequeño afluente se localiza al sur del puente que cruza la quebrada San Pedro y su cauce hace cabeceras con la quebrada Chorro Hondo ya descrita. En sus márgenes muestra un amplio depósito con forma de abanico, el cual se asocia probablemente a un evento torrencial producido por un movimiento en masa único, para formar un depósito de flujo de escombros, con un ángulo en el ápice del mismo de unos 7° con respecto a la horizontal (Foto 110). Presenta un moderado grado de incisión, con algunos bloques de roca exhumados, además del aporte coluvial desde las vertientes, que permiten asignarle una edad del orden de miles a decenas de miles de años.



Foto 110. Valle de la quebrada Santa Fé con depósito torrencial.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Quebrada El Guadual- Cominales

Este cauce se localiza en el sector oriental de la cuenca del Río Nare, ya cerca de su confluencia con el Magdalena, en jurisdicción del municipio de Caracolí. En este sitio se presenta la curva mayor del río, que alcanza unos 300° y constituye un caso ejemplar de obstáculo orográfico para las masas nubosas que producen eventos de lluvia extremos, potencialmente generadores de Avenidas Torrenciales. La quebrada nace en la planicie de Caracolí y baja rápidamente al Río Nare, desembocando en la curva ya descrita. En la ortofoto 2008 (Foto 111), se pueden observar las cicatrices de un enjambre de movimientos en masa en su margen izquierda, mientras que en la imagen Google de 2015, ya se observan revegetalizadas con rastrojo bajo.

Por la anterior evidencia, estas dos cuencas se deben clasificar como de amenaza alta por avenidas torrenciales.



Foto 111. Quebrada Cominales, a) huellas de enjambre de movimientos en masa, 2008, Río Nare en extremo inferior izquierdo. b) revegetalizadas 2015.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

8.2.2.11 Zonas con Depósitos de Flujos de Escombros

Tal como se expuso en los aspectos metodológicos, en la cuenca del Río Nare se encuentra una zona en la que pequeños afluentes al cauce principal contienen depósitos que se formaron gracias a flujos de alta viscosidad, causados probablemente por movimientos en masa mayores que produjeron abanicos de alto ángulo de depositación (Foto 112), algunos de ellos relativamente recientes, de tal vez menos de 200 años, de acuerdo con la madurez de sus cicatrices del área de arranque.

Esta zona se localiza entre la desembocadura de la quebrada San Pedro al Río Nare y el embalse San Lorenzo, pero es posible que se encuentren en otras áreas de la cuenca. Para determinar este tipo de amenaza se requiere de una investigación adicional debido a que ocupan cuencas de áreas pequeñas, del orden de 20 Km² o menos. Para lo cual es necesario un análisis exhaustivo en 3D, usando aerofotografías de toda la cuenca en escala mínima 1:20.000, acompañada de una campaña de campo que por lo menos tipifique el fenómeno para poder conocer la amenaza que representa.



Foto 112. Depósito de flujo de escombros en abanico, con fuente que parece tener menos de 200 años.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

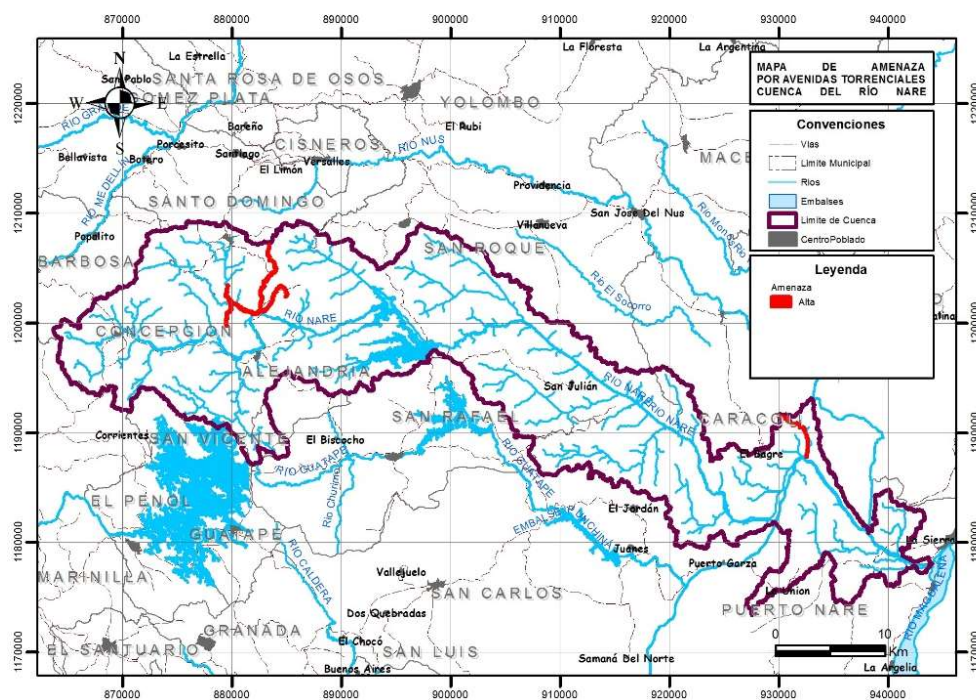


Figura 415. Amenaza ante avenidas torrenciales.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

8.2.2.12 Consideraciones finales a los resultados obtenidos.

Como conclusión final para la cuenca se puede afirmar que en ella se presenta una amenaza Alta por avenidas torrenciales en las corrientes señaladas en la anterior figura con color rojo; esto debido a que presentan depósitos de tipo torrencial, y porque reúnen las características necesarias para comportarse de manera torrencial. En algunas cuencas del Oriente Antioqueño se encuentran escarpes geomorfológicos que pueden favorecer la presencia de eventos torrenciales cuyos productos no pasen a la cuenca localizada inmediatamente aguas abajo, como en el caso de muchos depósitos de alta densidad del tipo flujos de escombros, los cuales tienen origen en un solo movimiento en masa y ocurren en cuencas con áreas del orden de 15 km² o a veces menos.

8.2.2.13 Limitaciones en los resultados

Respecto a la metodología planteada por el Protocolo, es importante plantear tres aspectos fundamentales.

El índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET):

El IVET identifica la totalidad del área de la cuenca como vulnerable, cuando el peligro mayor puede radicar en el fondo del cauce, ejercicio ya realizado y verificado para varias cuencas por CORNARE. Por lo tanto, si bien el mapa resultado del IVET marca una categoría para cada punto de la cuenca, el equipo de expertos considera que esto no aplica, pues el fenómeno solo se presenta en los cauces y su depósito en unos cuantos metros a cada lado en algunas áreas. Por otra parte, al tener como factores de entrada la geomorfología y la curva de duración de caudales, lo que finalmente genera este índice es un insumo para la susceptibilidad, no es en realidad un índice de vulnerabilidad.

De otro lado, el IVET debe reflejar la susceptibilidad ante la ocurrencia de avenidas torrenciales en la cuenca. Los resultados de la aplicación de la metodología del IDEAM (2013) muestran lo siguiente:

Dentro del área delimitada en la cuenca alta con la categoría de susceptibilidad Media, se encuentran las cabeceras municipales de San Vicente, Alejandría y Concepción, ninguna de las cuales históricamente ha sido afectada por avenida torrencial alguna, en especial la última localidad que es atravesada por el Río Concepción en su parte urbana, mientras que los otros ocupan colinas fuera del alcance de cualquier fenómeno de este tipo. San Vicente y Alejandría tienen quebradas laterales que no han manifestado actividad torrencial hasta el presente.

Por otra parte, la quebrada San Pedro ubicado en esta zona, tuvo un evento torrencial en el año 2009, por lo cual su categoría debería ser Alta, pero por el contrario el análisis del IVET concluye que es Media.

La cuenca baja la categoriza el IVET con categoría Alta, esto implica que cuencas como la de la Quebrada Portugal y el Río Chico se encuentran identificadas como Altas, aunque en la realidad presentan valles aluviales con sectores meándricos, lo que es una contradicción física.

Los resultados del IVET deben mostrar coherencia con los registros históricos. Lo anterior permitiría elaborar los escenarios indispensables para poder formular planes de contingencia ante la ocurrencia de este fenómeno.

La escala de los depósitos torrenciales vs. La escala de trabajo:

Cabe anotar que por su naturaleza, las cuencas donde ocurren avenidas torrenciales en Colombia tienen una escala que se relaciona parcialmente con las causas ya descritas, si son volcánicas o sísmicas pueden afectar áreas que incluyen varias cuencas, impactando a veces varios centenares de Km², hidrometeorológicas (por enjambres de movimientos en masa), de 5 a 100 Km² y por bloqueo de cauces causados por movimientos en masa únicos, de 5 a 30 Km². En consecuencia, si en los POMCAS se trata de separar cuencas torrenciales, no existe limitación cartográfica para delimitarlas en los mapas regionales con colores que indiquen amenaza alta, media o baja.

No es posible delinear los eventos sobre planchas a escala 1:25.000, porque sus dimensiones como depósito producido por un evento torrencial dependen de la forma del canal, desde unos pocos metros de ancho por decenas de longitud hasta abanicos cartografiados a escala 1:100.000 o mayores. Es decir, como mínimo un evento cartografiable a escala 1:25.000, requeriría una dimensión que supere los 3 mm en el mapa, lo que equivale a más de 70 metros en el terreno, condición que cumplen muy pocos de los eventos reconocidos durante el proyecto.

De acuerdo con lo anterior, la inmensa mayoría de terrazas torrenciales no se pueden expresar en un mapa de la escala citada y con mayor razón si se piensa en la altura del flujo torrencial, que casi siempre es del orden de menos de 10 metros sobre el nivel de aguas medias y en consecuencia su representación es más esquemática que real. Para alcanzar esta precisión se estaría hablando de bases cartográficas del orden de 1:2.000 o mayores, requerimiento que pocos municipios tienen en el País, aún en su área urbana, con costos por fuera de su capacidad económica.

En resumen, dada su naturaleza, el concepto de escala difícilmente aplica para las avenidas torrenciales y la delimitación cartográfica de sus depósitos para ser incluidos en la geodatabase; en

este caso, la identificación de sus depósitos, el estudio de sus características en el campo, edad y génesis particular de los eventos ocurridos previamente en una cuenca, lo que es indispensable para formular los escenarios de riesgo y los planes de contingencia. Por esta razón, la indicación de torrencialidad en el presente estudio considera solamente colorear el cauce sobre la cartografía, con el fin de resaltar y hacer ser visibles los cauces con amenaza de este tipo en la geodatabase exigida. Para complementar el concepto, se delinearon las áreas mojadas de los eventos estimados por depositación – erosión sobre las fotos disponibles del trabajo de campo en cada subcuenca con algún grado de torrencialidad de tal manera que el lector pueda dimensionar la magnitud del fenómeno.

8.2.3 Incendios Forestales

Para desarrollar la evaluación y zonificación de la amenaza por incendios forestales en la cuenca del Río Nare a escala 1:25.000, se utilizó como marco conceptual el documento “Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal escala 1:100.000” (IDEAM, 2011), donde se especifica que la amenaza debe evaluarse a partir de cinco factores: susceptibilidad de la cobertura vegetal a incendios, factores climáticos (precipitación y temperatura), factor del relieve, factor histórico y accesibilidad.

Sin embargo, como la metodología planteada dentro del Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (MINAMBIENTE, MINHACIENDA, FONDO ADAPTACIÓN, 2014), especifica que los mapas deben realizarse a escala 1:25.000, se ajustaron algunas de las clases del protocolo de incendios de IDEAM con el fin de alcanzar coincidencia con la base de datos del presente proyecto.

A continuación, se presenta un resumen de la metodología empleada y salidas cartográficas que resultaron del proceso de evaluación de la susceptibilidad y amenaza ante incendios forestales. La información de apoyo para el proceso se presenta en el Anexo 8.5.

8.2.3.1 Susceptibilidad de la Cobertura Vegetal a los Incendios

Se realizó con base en el shapefile de coberturas vegetales generado en este proyecto, específicamente el Nivel 3 de la metodología Corine Land Cover (IDEAM-IGAC-CORMAGDALENA, 2007). Las coberturas vegetales se clasificaron, categorizaron y calificaron de acuerdo a tres factores: tipo de combustible predominante, duración del combustible predominante y carga total (biomasa) de combustibles. Las calificaciones y categorías de amenaza para cada uno de los anteriores factores se presentan a continuación:

Tabla 410. Calificación y categorías de amenaza por tipo de combustible predominante.

TIPO DE COMBUSTIBLE	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
No combustibles	Muy baja	1
Áreas urbanas	Muy baja	1
Árboles	Baja	2
Árboles y arbustos	Moderada	3
Arbustos	Alta	4
Hierbas	Alta	4
Pastos/hierbas	Muy alta	5
Pastos	Muy alta	5
Sin información	Sin información	6

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Tabla 411. Calificación y categorías de amenaza por duración del combustible predominante y carga total de combustibles.

DURACIÓN DE LOS COMBUSTIBLES	CARGA TOTAL DE COMBUSTIBLES	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
No combustibles	No combustibles	Muy baja	1
Áreas urbanas	Áreas urbanas	Muy baja	1
100 horas	1-50 Ton/ha	Baja	2
10 horas	50-100 Ton/ha	Moderada	3
1 hora	> 100 Ton/ha	Alta	4
Sin información	Sin información	Sin información	6

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Las coberturas vegetales que no se encontraron en el documento guía se consultaron en el anexo 8.2 de este mismo. Las coberturas vegetales “Tejido urbano discontinuo” y “Construcciones rurales” no se encontraron en ambos documentos pero al ser “coberturas no naturales” el tipo de combustible correspondiente es “No combustibles” (CAR & IDEAM, 2014). Adicionalmente, aquellos polígonos con presencia de nubes o sombras se les asignó la categoría “Sin información” a tipo, carga y duración de combustible predominante (Tabla 412 y Tabla 413) (CAR & IDEAM, 2014).

El valor de susceptibilidad se obtuvo al sumar las calificaciones de los tres factores anteriormente mencionados para cada tipo de cobertura; el resultado de esta suma se normalizó (Ecuación 2), obteniendo valores de susceptibilidad entre 0 y 1; esto permitió realizar la calificación y categorización de la susceptibilidad en 5 niveles, tal como se muestra en la siguiente tabla:

$$\text{Factor normalizado} = \frac{x - \min}{\max - \min}$$

Ecuación 2. Normalización de factores.

Tabla 412. Calificación y categorización de la susceptibilidad en niveles de amenaza.

SUSCEPTIBILIDAD	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
0 – 0,02	Muy baja	1
0,02 – 0,04	Baja	2
0,04 – 0,06	Moderada	3
0,06 – 0,08	Alta	4
0,08 - 1	Muy alta	5

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

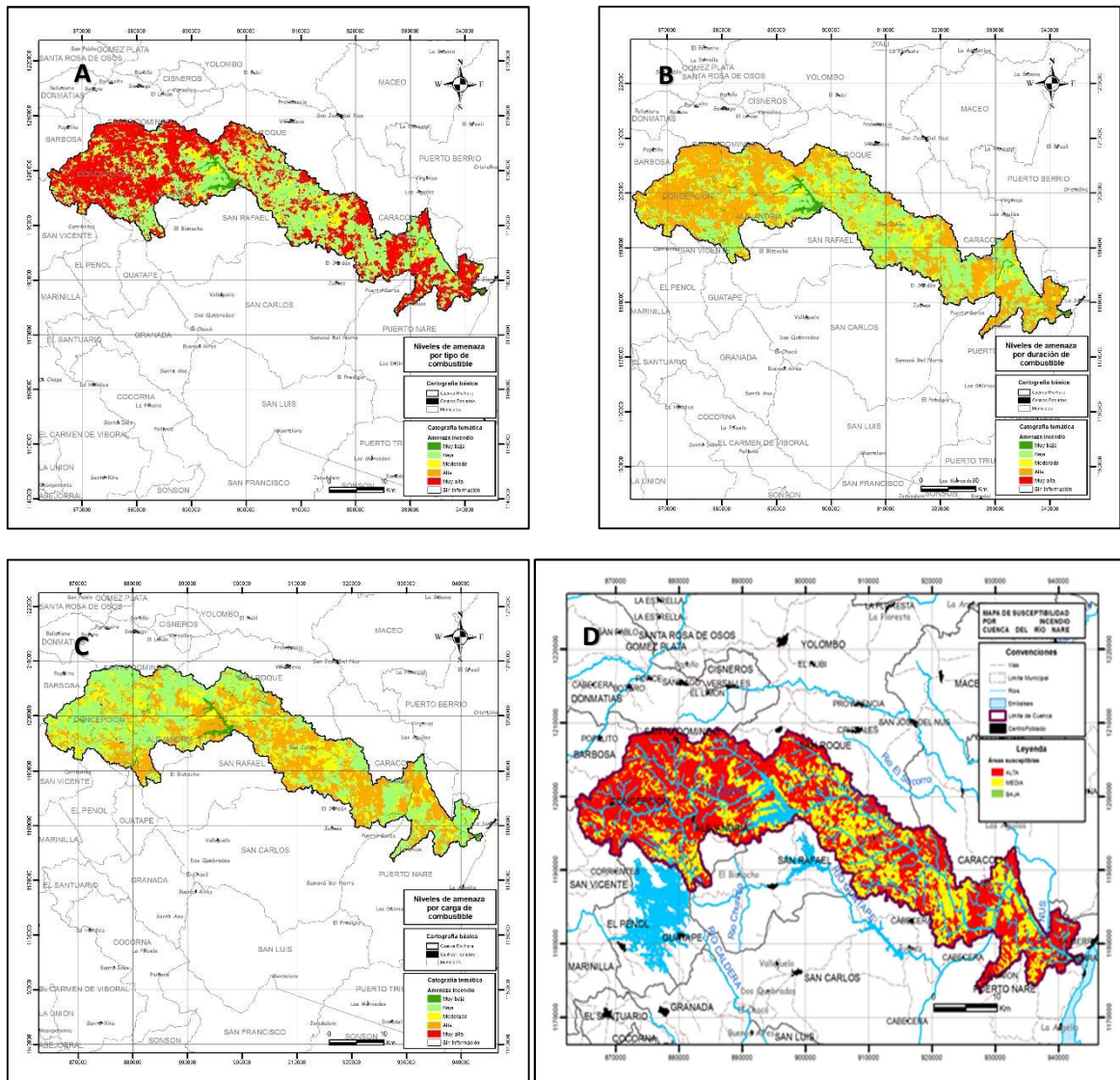


Figura 416. Susceptibilidad para: A. Tipo de combustible predominante, B. Duración del combustible predominante, C. Carga total de combustibles y D. Susceptibilidad de la cobertura vegetal a incendios forestales en la cuenca del Río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

La cuenca del Río Nare, tiene aproximadamente la mitad de su área (49,2%) en amenaza muy alta por susceptibilidad a incendios, esto corresponde al rango máximo de susceptibilidad (0,8-1). A esta categoría le sigue amenaza moderada, la cual ocupa el 30,8% de la cuenca (Tabla 413).

Tabla 413. Área por niveles de amenaza para tipo y duración de combustible, carga total de combustibles y susceptibilidad en la cuenca Rio Nare.

Calificación	Categoría	Tipo de combustible		Duración combustible		Carga de combustibles		Susceptibilidad	
		Área (Ha)	Área (%)	Área (Ha)	Área (%)	Área (Ha)	Área (%)	Área (Ha)	Área (%)
1	Muy baja	2070,499	2,193	2070,499	2,193	2054,301	2,176	2070,499	2,193
2	Baja	29148,81	30,877	29148,81	30,877	46881,593	49,661		0,000
3	Moderada	13724,706	14,538	16709,651	17,700	16318,496	17,286	29148,81	30,877
4	Alta	2984,945	3,162	46474,24	49,230	29148,81	30,877	16709,651	17,700
5	Muy alta	46474,24	49,230					46474,24	49,230
Total		94403,2	100	94403,2	100	94403,2	100	94403,2	100

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

8.2.3.2 Factores Climáticos

Se evaluó la precipitación y temperatura media anual, para esto se utilizó un raster de isoyetas e isotermas respectivamente; este raster se reclasificó en 5 niveles (Tabla 414) y después se llevó a representación gráfica como polígono.

Tabla 414. Calificación y categorización de la temperatura y precipitación en niveles de amenaza.

PRECIPITACIÓN (MM)	TEMPERATURA (°C)	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
Árido (0-500)	Nival (< 1,5)	Muy baja	1
Pluvial > 7000	Extremadamente frío (1,5-6)	Muy baja	1
Muy húmedo (3000-7000)	Muy frío (6-12)	Moderada	2
Húmedo (2000-3000)	Frío (12-18)	Moderada	3
Seco (1000-2000)	Templado (18-24)	Alta	4
Muy seco (500-1000)	Cálido (> 24)	Muy alta	5

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

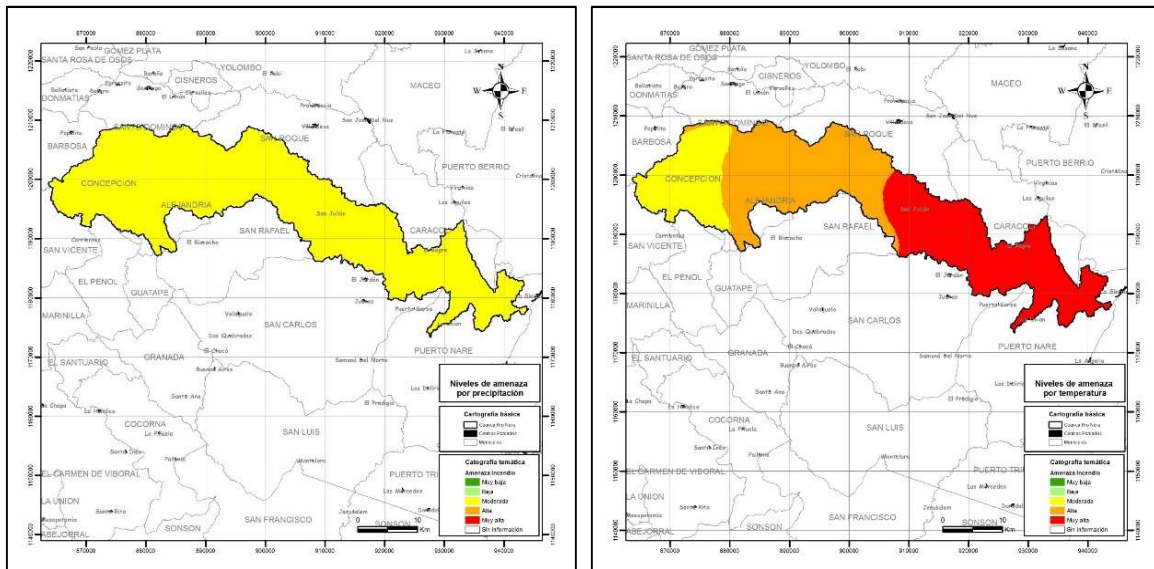


Figura 417. Niveles de amenaza por factores climáticos: A. Precipitación, B. Temperatura en la cuenca Río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Tabla 415. Áreas por niveles de amenaza por precipitación y temperatura en la cuenca Río Nare.

CALIFICACIÓN	CATEGORÍA	PRECIPITACIÓN (MM)		TEMPERATURA (°C)	
		Área (Ha)	Área (%)	Área (Ha)	Área (%)
2	Moderada	94441,379	100	18423,015	19,507
3					
4	Alta			37836,484	40,063
5	Muy alta			38181,880	40,429

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

La cuenca del Río Nare presenta amenaza moderada por precipitación en la totalidad de su área (Tabla 415), lo cual corresponde a precipitaciones (mm) de 3000-7000 y 2000-3000. En cuanto a la temperatura, la mayor parte del área tiene amenaza alta y muy alta, ambas en igual porcentaje de ocupación (40,1% y 40,4%, respectivamente) y corresponden a temperaturas (°C) de 18-24 y >24, respectivamente.

8.2.3.3 Factor del Relieve

Para evaluar este factor se utilizó el shapefile de pendientes en porcentaje. Este shapefile tenía la pendiente clasificada de acuerdo al dominio “Dom_PenSuelo” con el fin de integrar la información a la Geodatabase “POMCAS ORIENTE”. Como consecuencia a esto, fue necesario realizar una

adaptación a la calificación y categorización de la amenaza para este factor, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 416. Calificación y categorización de la pendiente por niveles de amenaza adaptada al dominio “Dom_PenSuelo”.

RANGO PENDIENTE (%)	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
0-1	Muy baja	0
1-3	Muy baja	1
3-7	Muy baja	1
7-12	Baja	1
12-25	Moderada	2
25-50	Moderada alta	3
50-75	Alta	4
75-100	Muy alta	5
>100	Muy alta	5

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

La Tabla 417 presenta las categorías y calificaciones de amenaza para el factor relieve presentes en el protocolo de incendios forestales.

Tabla 417. Calificación y categorización de la pendiente por niveles de amenaza presentes en el protocolo.

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

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

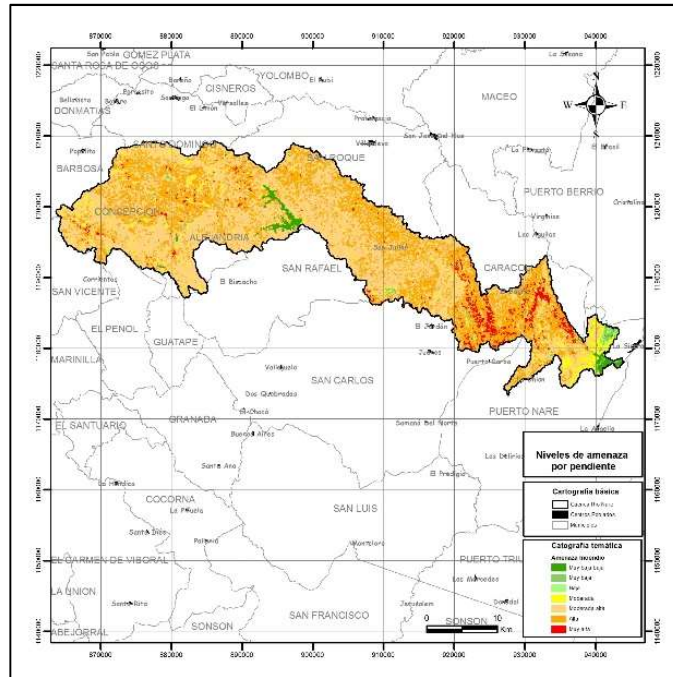


Figura 418. Niveles de amenaza por pendiente en la cuenca Río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Tabla 418. Áreas por niveles de amenaza para la pendiente en la cuenca Río Nare.

CALIFICACIÓN	CATEGORÍA	PENDIENTE (%)	
		Área (Ha)	Área (%)
0	Muy baja	1447,813	1,533
1	Muy baja	847,683	0,898
1	Baja	438,221	0,464
2	Moderada	4358,367	4,616
3	Moderada alta	52012,214	55,085
4	Alta	32461,014	34,379
5	Muy alta	2855,831	3,025

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Por pendiente la cuenca del Río Nare presenta en la mitad de su área (55,1 %) amenaza moderada alta, a esto le sigue un nivel de amenaza Alta (34,4%), esto corresponde a rangos de pendientes (%) del 25-50 y 50-75, respectivamente.

8.2.3.4 Factor Histórico

Se evaluó a partir de la frecuencia de incendios, la cual se obtuvo a partir de la siguiente ecuación:

$$FI = \frac{1}{a} \sum_{i=1}^a ni$$

Ecuación 3. Frecuencia de incendios.

Donde “FI” es la frecuencia de incendios, “a” es el número de años y “ni” es el número de incendios de cada año. La información de los años y el número de incendios se obtuvo a partir del catálogo de información recopilada para cada una de las cuencas analizadas y la espacialización de los eventos se realizó a nivel de municipio y vereda cuando no se contaba con una coordenada exacta del evento ocurrido. Aquellos eventos que no tenían año de ocurrencia no se tuvieron en cuenta para este análisis.

La información de la ubicación de los eventos se almacenó en un shapefile de puntos, en el cual se creó un campo con la frecuencia de incendios y otro con la frecuencia normalizada (Ecuación 2), con este último dato se procedió a realizar la interpolación (herramienta Kriging) de la frecuencia a toda el área de la cuenca, el resultado de esto es un raster, el cual se reclasificó en los mismos niveles de amenaza usados para la susceptibilidad (Tabla 419).

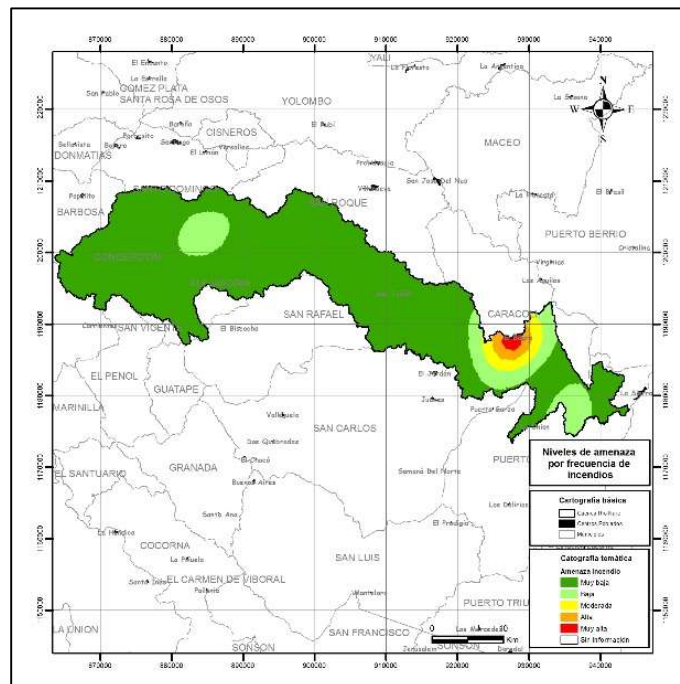


Figura 419. Niveles de amenaza por frecuencia de incendios en la cuenca Río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

En mayor proporción de su área (84,3%) la cuenca del Río Nare presenta amenaza muy baja por frecuencia de incendios, es decir que en la cuenca los incendios se presentan, en mayor proporción, con un rango de frecuencia entre 0-0,2.

Tabla 419. Áreas por niveles de amenaza para frecuencia de incendios en la cuenca Rio Nare.

CALIFICACIÓN	CATEGORÍA	FRECUENCIA DE INCENDIOS	
		Área (Ha)	Área (%)
1	Muy baja	79594,82	84,280
2	Baja	10946,22	11,590
3	Moderada	2229,64	2,361
4	Alta	1209,60	1,281
5	Muy alta	461,09	0,488

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

8.2.3.5 Accesibilidad

Se evaluó con base en el shapefile de vías primarias, secundarias y terciarias de la Gobernación de Antioquia (2015). Este mapa se intersectó con el área de las cuencas y posteriormente se construyeron 6 zonas de buffer de grosor variable (Tabla 420), esto con el fin de usar las categorías del dominio "Dom_Dist_Via" e integrar la información a la Geodatabase "POMCAS ORIENTE". Al igual que con el factor del relieve, fue necesario hacer una adaptación a la calificación y categorización de la amenaza (Tabla 421), además, para este análisis se usaron las vías terciarias.

Tabla 420. Calificación y categorización de amenaza por distancia a la vía adaptados al dominio "Dom_Dist_Via".

DISTANCIA A LA VÍA (M)	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
0-50	Muy alta alta	5
51-100	Muy alta alta	5
101-500	Muy alta	4
501-1000	Alta	3
1001-3000	Moderada	2
3001-5000	Baja	1
>5000	Muy baja	1

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

La Tabla 421 muestra las categorías y calificaciones de amenaza para el factor accesibilidad presentes en el Protocolo.

Tabla 421. Calificación y categorización de amenaza por distancia a la vía.

DISTANCIA A LA VÍA (M)	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
0 -500	Muy alta	5
500 – 1000	Alta	4
1000 – 1500	Moderada	3
1500 – 2000	Baja	2
> 2000	Muy baja	1

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

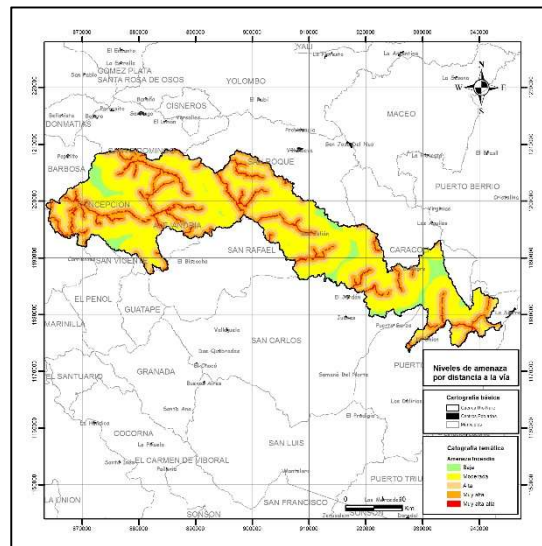


Figura 420. Niveles de amenaza por distancia a la vía en la cuenca Rio Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Tabla 422. Áreas por niveles de amenaza para distancia a la vía en la cuenca Rio Nare.

CALIFICACIÓN	CATEGORÍA	DISTANCIA A LA VÍA	
		Área (Ha)	Área (%)
1	Baja	5442,997	5,763
2	Moderada	41860,547	44,324
3	Alta	20926,123	22,158
4	Muy alta	21328,770	22,584
5	Muy alta alta	4882,941	5,170

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

La cuenca del Río Nare presenta el 44,3% de su área en amenaza moderada, lo cual corresponde una distancia a la vía entre 1001 y 3000 m. También presenta en igual proporción de su área amenaza alta y muy alta, con el 22,1% y 22,5% del área respectivamente.

8.2.3.6 Evaluación de la Amenaza

Para obtener la amenaza total por incendios forestales, se hizo una unión de los shapefiles con la información de los 5 factores anteriormente descritos, después se procedió a calcular la amenaza mediante una suma ponderada de las calificaciones de cada factor, como se muestra en la Ecuación:

$$\text{Amenaza} = \text{Susceptibilidad de la vegetación} * (0,17) + \text{Precipitación} * (0,25) \\ + \text{Temperatura} * (0,25) + \text{Pendiente} * (0,03) + \text{Frecuencia} * (0,05) \\ + \text{Accesibilidad} * (0,03)$$

Ecuación 4. Cálculo de la amenaza.

Para calificar y categorizar la amenaza total, se realizó una normalización de la suma ponderada, mediante la Ecuación 2 y esta se clasificó en los mismos niveles de amenaza usados para la susceptibilidad (Tabla 423).

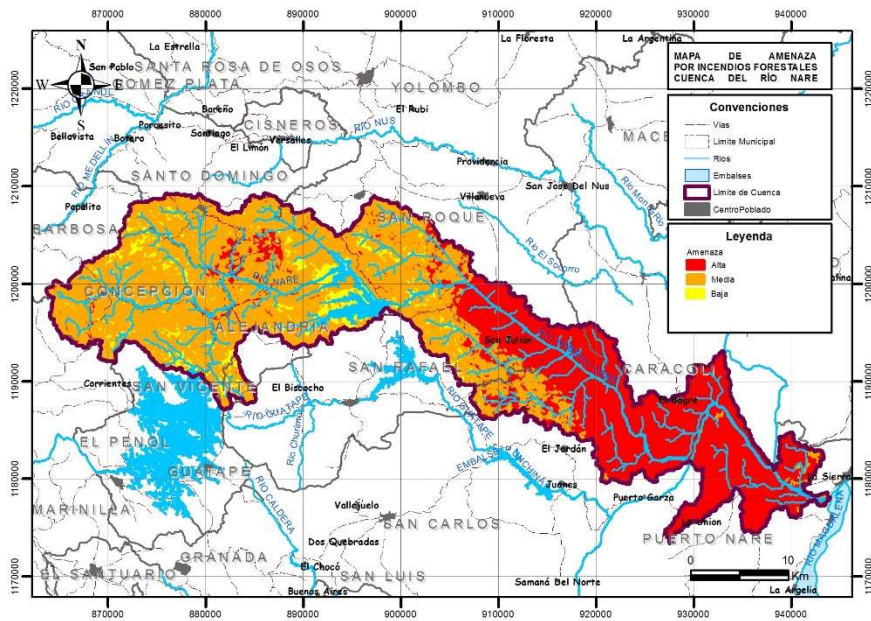


Figura 421. Amenaza por incendios forestales en la cuenca Río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Tabla 423. Áreas por niveles de amenaza a incendios forestales en la cuenca Rio Nare.

CATEGORÍA	AMENAZA POR INCENDIOS FORESTALES	
	Área (Ha)	Área (%)
Baja	12141,369256	12,856
Media	42158,605397	44,640
Alta	40102,986075	42,463

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

La cuenca del Río Nare presenta en mayor proporción de su área niveles de amenaza moderada (44,6%) y alta (42,46%), lo cual corresponde a una amenaza con rangos de 0,4-0,6 y 0,6-0,8, respectivamente.

8.2.3.7 Limitaciones en los resultados

Se presentan limitaciones debido a que la susceptibilidad arroja un resultado muy preocupante, dada la gran cantidad de territorio con alta susceptibilidad ante la ocurrencia de incendios forestales, lo cual en la realidad del territorio no es preciso. Se considera desde el equipo de expertos de Gestión del Riesgo, que lo anterior se debe a la calificación de amenaza Muy Alta que se asigna a la cobertura Pastos en la metodología aplicada para la susceptibilidad (CAR & IDEAM, 2014).

Si bien el grado de detalle en las coberturas para el presente POMCA es adecuado para la escala exigida, en la metodología del IDEAM la calificación dada a los pastos, la cual es de 5, y que responde a la categoría Muy Alta, ocasiona una generalización de esta categoría en casi toda la cuenca, al predominar en la realidad esta cobertura, con amplias variaciones desde pastos limpios a pastos arbolados, pasando por áreas de parcelación, mosaicos de pastos, entre otras, categorías que no son tenidas en cuenta en la metodología seguida. Si esto se contrasta con la ocurrencia de eventos de este tipo, se concluye que no existe coherencia en estos resultados, pues los eventos han ocurrido en áreas muy definidas donde se tiene otro tipo de coberturas, como los rastrojos.

Es importante destacar que esta situación fue reportada ante la Interventoría oportunamente en diferentes reuniones y comunicaciones escritas. Dado que por indicación de estas instancias, la metodología del IDEAM rige la aplicación de este análisis, se decidió presentar los resultados de manera fiel a dicha aplicación, aunque teniendo en cuenta que no corresponden a la realidad total del territorio. Lo anterior señala la necesidad de realizar ajustes a los productos obtenidos a partir de la aplicación de esta metodología, con el fin de obtener mejores resultados en la cartografía resultante, de manera que se obtengan productos más acordes con el territorio en estudio.

Por otra parte, el análisis de susceptibilidad basado en la fórmula que se incluye en la metodología, genera incertidumbre debido a que los pesos de las variables no corresponden al 100% cuando son sumados, pues en realidad suman 78%:

$$\begin{aligned} \text{Amenaza} = & \text{Susceptibilidad de la vegetación} * (0,17) + \text{Precipitación} * (0,25) \\ & + \text{Temperatura} * (0,25) + \text{Pendiente} * (0,03) + \text{Frecuencia} * (0,05) \\ & + \text{Accesibilidad} * (0,03) \end{aligned}$$

De otro lado, la representatividad de las variables Temperatura y Precipitación debe ser replanteada, dado que los pesos o porcentajes que tienen en la fórmula para el cálculo de la amenaza influyen en gran medida en los resultados, lo cual ocasiona generalizaciones y no permiten obtener un adecuado detalle en la cartografía.

Los datos históricos que sirven de base para el análisis, poseen muchos vacíos pues no presentan en muchos casos la georeferencia, o en ocasiones cuando la presentan no corresponde con el territorio de la cuenca en estudio. En otros casos no describe afectaciones o causas del evento.

En el año 2012, CORNARE elaboró el estudio “Zonificación de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo de Incendios Forestales en la Jurisdicción de CORNARE”. En este estudio fueron determinadas para el territorio de la jurisdicción, las categorías de amenaza Muy Alta, Alta, Media, Baja. Las condiciones más desfavorables se presentan en las zonas perimetrales de la jurisdicción, como se observa en la Figura 422.

Este mapa difiere de manera sustancial con el que fue generado por el presente proyecto, debido a que la base metodológica para su elaboración fue muy distinta; la diferencia radica en que el IDEAM utiliza métodos básicamente cuantitativos, mientras que CORNARE ha utilizado un análisis heurístico en el que se trabajaron las variables que se observan en la Figura 423 con su respectiva ponderación.

En la metodología del IDEAM se utiliza unos valores para las coberturas, y como ya se ha mencionado, los pastos tienen asignada una valoración alta (valor 5) y los árboles y arbustos una valoración de 2 y 3 (en una escala de 1 a 6), mientras que en la metodología utilizada por CORNARE en el año 2012, los pastos poseen un valor 2 y los bosques naturales un valor 3 en una escala 1 a 10. Es evidente la diferencia conceptual entre ambos caminos, la cual lleva a resultados tan diferentes como los que se aprecian en ambos productos.

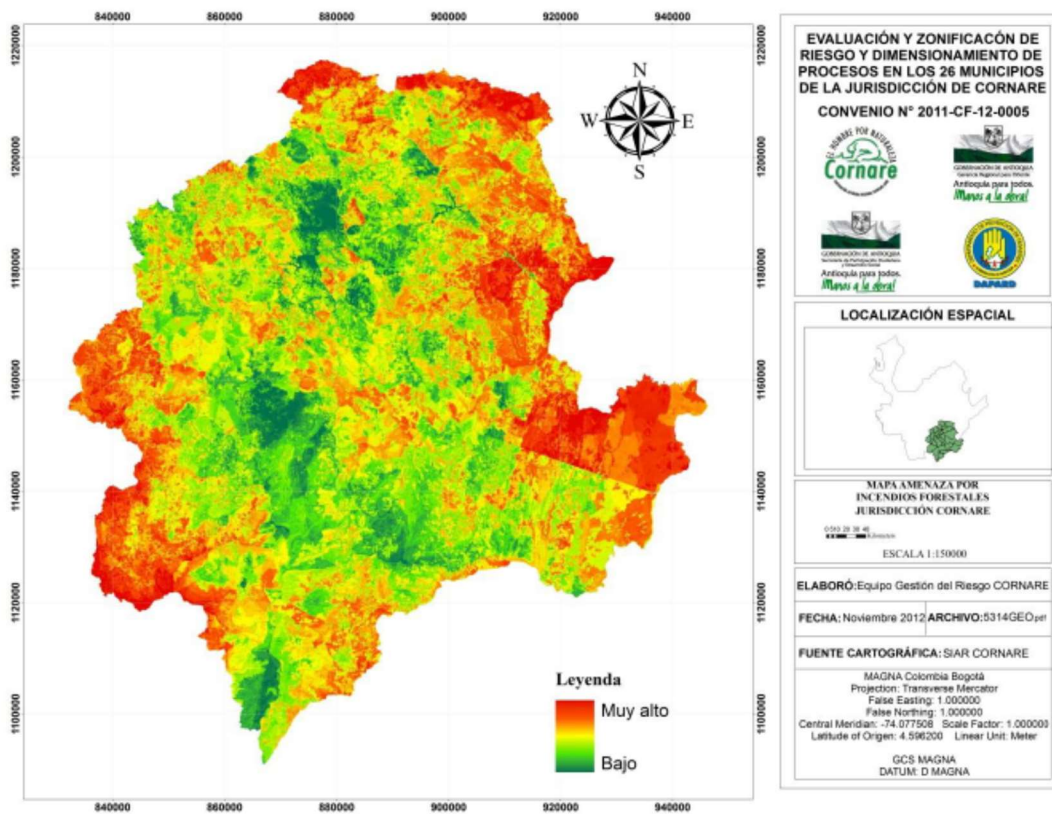


Figura 422. Mapa de Amenaza ante Incendios Forestales según estudio de CORNARE.

Fuente: Zonificación de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo de Incendios Forestales en la Jurisdicción de CORNARE, CORNARE (2012).

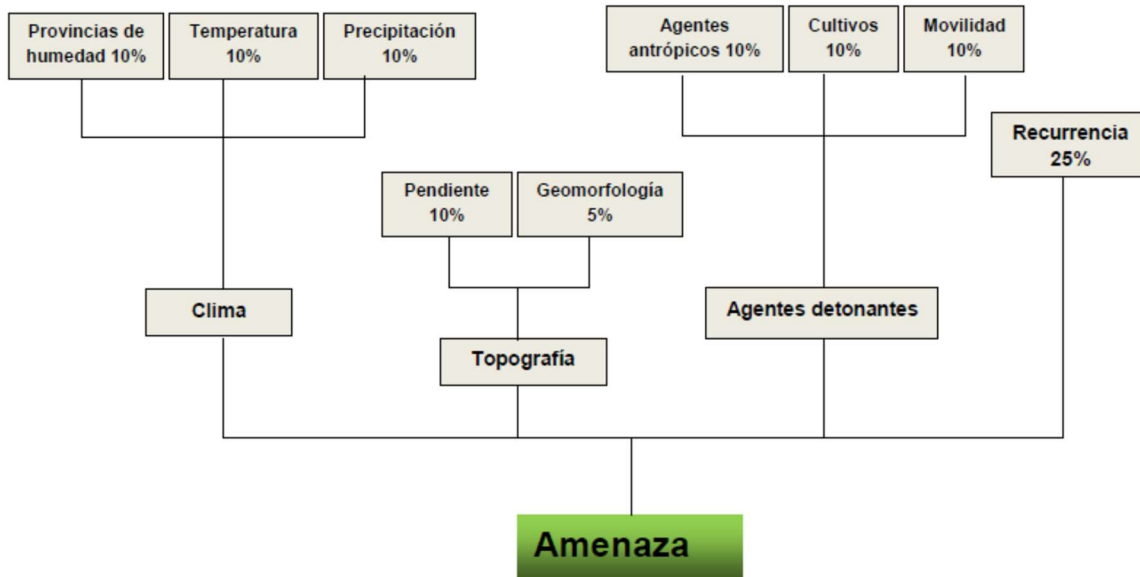


Figura 423. Mapas temáticos empleados para el cálculo de la amenaza ante incendios forestales en la jurisdicción de CORNARE.

Fuente: Zonificación de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo de Incendios Forestales en la Jurisdicción de CORNARE, CORNARE (2012).

8.2.4 Movimientos en Masa

La cuenca del Río Nare se caracteriza en general por un relieve suavemente ondulado, y montañoso en algunos sectores de la cuenca media a media-baja. Sin embargo, se han presentado movimientos en masa de medianas y pequeñas proporciones que han afectado vías y sectores aislados tanto rurales como urbanos. En este sentido es muy importante estudiar la amenaza ante movimientos en masa, máxime si se tiene en cuenta que esta cuenca se encuentra sometida actualmente a procesos de ocupación que de alguna manera alteran sus condiciones naturales y pueden potenciar la ocurrencia de movimientos en masa.

Objetivo

Determinar, a partir de la aplicación de la metodología exigida en los Alcances Técnicos del presente trabajo, la situación actual de la Susceptibilidad y la Amenaza ante movimientos en masa en la cuenca del Río Nare.

Resumen

En la cuenca del Río Nare se presentan condiciones naturales variables en general, desde geofomas de tipo colinado hasta vertientes fuertes en áreas específicas de la cuenca media. La susceptibilidad refleja estas condiciones intrínsecas del territorio, generando unas categorías altas y medias en la parte alta de la cuenca, y bajas en la parte media baja y zona de la desembocadura. Mientras tanto la amenaza en general es Media y Baja, con énfasis en la categoría Media para la parte alta y sectores de la parte media. Los usos actuales del suelo tienen una importante influencia en estos resultados, aunque la misma metodología y los datos de entrada del modelo estadístico permiten precisar para la escala de trabajo.

En la cuenca se tienen antecedentes recientes de estudios previos sobre Amenaza y Riesgo. Los estudios realizados por CORNARE para los municipios de su jurisdicción en el año 2012 presentan la situación del territorio de manera acertada, aunque son producto de otro tipo.

Generalidades.

La cuenca del Río Nare abarca un área de 96.087 ha, de las cuales 80.234 ha están en jurisdicción de CORNARE, es decir un 83,5% y las restantes 15.853 has, que representan un 16,5% en jurisdicción de CORANTIOQUIA.

Esta cuenca tiene como corriente principal el Río Nare y sus principales afluentes son: Río Concepción, Río Santo Domingo, Río Nusito y Río San Lorenzo. Para la jurisdicción de CORNARE en esta cuenca están ubicados los municipios de Alejandría, con 15 veredas, San Roque, Concepción, San Carlos, San Rafael, Puerto Nare, Caracolí y Santo Domingo. En total 8 municipios.

El clima lo determinan los accidentes orográficos y fenómenos conectivos que por efecto de la penetración de masas de aire caliente levantadas a partir de la planicie del Río Magdalena y transitan por los cañones de los ríos Nare, Samaná Norte y Guatapé-San Carlos que finalmente confluyen con el frío de la altiplanicie, que dan origen a abundantes precipitaciones y forman el corredor óptimo fluvial del Oriente Antioqueño en inmediaciones de los municipios de Cocorná, San Carlos y Alejandría, con valores medios multianuales del orden de 4.000 a 5.000 mm.

La cuenca presenta una pendiente promedio de 18.46 %, tiene una temperatura media mensual de 19° C y una precipitación media anual de 3137 mm, caracterizada por un régimen de lluvias bimodal que le confiere una alta importancia hidrológica con un caudal medio multianual es de 347.31 m³/s y rendimientos de 61.18 L/seg-km². Las actividades económicas más relevantes son la generación

de energía, ya que se destaca por su gran potencial hidroeléctrico, la minería y la ganadería extensiva en la parte baja.

8.2.4.1 Metodología

El procedimiento metodológico para evaluar la susceptibilidad y la amenaza ante movimientos en masa, está dado desde el documento del Fondo Adaptación “Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas”.

Susceptibilidad ante Movimientos en Masa.

El análisis se realiza a través de un modelo simple de ladera con las siguientes condiciones del entorno:

- Las laderas están constituidas por un sustrato impermeable (roca) y no recibe aguas de infiltración procedentes de cuencas vecinas.
- Sobre este sustrato se tiene un depósito de material superficial de diverso origen (residual, coluvial, etc) permeable y susceptible a la generación de fallas.
- Si el sustrato es de tipo arcilloso, la parte superior puede meteorizarse, desarrollando fisuras por donde se infiltre el agua y dar lugar a fallas del material. Se adopta como agente desencadenante principal el agua procedente de la precipitación.

Paso A. Modelo Digital del Terreno (MDT).

Se debe generar el MDT a escala 1:25.000.

Paso B. Inventario de eventos.

Se identifican los diferentes movimientos en masa que han sido inventariados en la cuenca, entendiendo que algunos son antiguos, otros recientes y otros activos al momento de su evaluación. Para ello se requiere los siguientes datos:

- Eventos obtenidos del catálogo de eventos: espacializados y representados en tipología punto.
- Eventos recientes y/o activos: a partir de un inventario de eventos en campo, mediante el diligenciamiento de un formato de campo dado por el Protocolo. Las características reseñadas allí se llevan a una base de datos y se estructura sobre la cartografía. Así se

identifican los movimientos en masa activos asociados a la cartografía geológica y geomorfológica. Se compilan en una base de datos las características de cada uno de los procesos.

Paso C. Determinación de zonas inestables.

Se realiza a partir del inventario de eventos y las geoformas asociadas a los eventos antiguos obtenidos desde la cartografía geomorfológica. Desde dicha cartografía se delimitan zonas homogéneas geomorfológicas a nivel de sub unidad, estableciendo zonas de inestabilidad reciente. La determinación de zonas inestables se realiza con el uso del SIG mediante la suma de tres componentes:

ZONAS INESTABLES = CATÁLOGO DE EVENTOS (geometría del punto) + INVENTARIO DE EVENTOS (geometría de polígono y/o punto) + SUBUNIDADES GEOMORFOLÓGICAS asociadas a la inestabilidad (mapa geomorfológico – geometría de polígono)

Las zonas inestables se convierten en la variable de agrupación que se usará para el análisis estadístico y la selección de la muestra. Esta variable deberá ser denominada y codificada.

Paso D. Factores de propensividad.

Caracterización geológica básica: procedente del mapa de geología básica.

Cobertura: Procedente del mapa de cobertura y uso de la tierra, polígonos que serán reclasificados para obtener variables categóricas.

Paso E. Generación y selección de variables.

Se utilizan las siguientes variables:

Con base en la cartografía base (variables cuantitativas):

- MDT
- Pendiente
- Orientación de las laderas
- Insolación

- Distancia a vías
- Distancia a cauces
- Densidad de drenaje
- Tamaño de la cuenca

Con base en la cartografía temática:

- Unidades de rocas y suelos (desde el mapa de geología)
- Cobertura y uso (reclasificada desde el mapa de cobertura)
- Densidad de fracturamiento (desde el mapa de geología)

VARIABLES PRIMARIAS:

SUSC= ZON INES = zonas inestables antiguas y recientes.

VARIABLES CATEGÓRICAS:

VEG = vegetación o cobertura vegetal en rangos de 1 a 10

ROC SUE = presencia o ausencia de un depósito o de suelo. Valor 1 sin depósito, 2 con depósito.

ESPESOR = espesor del depósito de suelo. Categorías desde sin depósito hasta valores variables de alturas del depósito.

ORIGEN = origen y composición de los depósitos. Valores ponderados para dar categorías de acuerdo con su comportamiento mecánico.

DENS FRAC = densidad de fracturamiento en materiales rocosos. Valores ponderados entre celdas sin fracturas hasta densamente fracturadas.

VARIABLES A PARTIR DEL MDT:

Obtenidas a partir de la cartografía base. Producto de la cartografía base se obtiene el MDT y a partir de él las diferentes variables asociadas las cuales se obtienen con la herramienta SIG.

Paso F. Análisis estadístico y SIG.

PROCEDIMIENTO:

Se realiza un análisis discriminante, cuya función discriminante es:

$$d_i = b_0 + b_1X_{i1} + \dots + b_pX_{ip}$$

Ecuación 5. Función discriminante.

Donde:

d_i es el valor de la función discriminante para el caso i

p es el número de predictores

b_j es el valor del j -ésimo coeficiente de la función

X_{ij} es el valor del caso i -ésimo para el predictor j

Los pasos para realizar el análisis estadístico son los siguientes:

1. Selección de las variables a utilizar.
2. Generación del MDT.
3. Reducir al máximo las variables primarias no derivadas del MDT, es decir, reducir al máximo las variables categóricas a usar en el modelo.
4. Generar las variables derivadas del MDT.
5. Rasterización de las variables vectoriales (SIG)
6. Ajuste / categorización de las variables (SIG)
7. Obtención de la muestra (SIG): malla con presencia o ausencia de zonas de inestabilidad. Cada celda se caracteriza de acuerdo a las variables definidas.
8. Depuración de los datos mediante el uso de análisis estadísticos (análisis de errores). Dentro de ese proceso se realiza chequeo del ajuste a una distribución normal de las variables, chequeo de variables independientes, análisis de contraste entre las variables con mayor grado de dependencia, selección de las variables independientes de mayor importancia estadística para construir la función discriminante, creación de variables compuestas, y recodificación cuantitativa de las variables cualitativas, calificación de atributos o adopción

de pesos o valores numéricos de acuerdo al criterio de experto. Construcción y definición de la función discriminante, definición de la susceptibilidad y del mapa de susceptibilidad con la herramienta SIG, validación de la función y el mapa.

OBTENCIÓN DE LA MUESTRA:

- Una vez calculado el tamaño total de pixeles se extrae un porcentaje de la población total o muestra que debe ser escogida de forma aleatoria y que sea representativa de la población total.
- Para realizar la extracción de la muestra cada pixel debe tener un identificador único de tal forma que el método utilizado extraiga uno a uno los individuos según los porcentajes propuestos.
- Mediante el SIG se convierten los pixeles en puntos que tienen un identificador único, de esta forma se tienen poblaciones con individuos completamente independientes.
- Se divide de forma aleatoria la población en dos grupos, la muestra y el residuo aplicando un porcentaje de extracción, con el uso de herramientas estadísticas en el software SIG utilizado.

OBTENCIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD Y VALIDACIÓN:

Para establecer los niveles o categorías de susceptibilidad se dividen los valores de la malla regular discriminante en rangos iguales, en este caso tres. Las descripciones de las categorías de susceptibilidad deben estar asociadas a los resultados de la función discriminante y los valores obtenidos para cada variable, como la geometría (pendiente), geología (unidades de roca y suelo), cobertura, etc.

Las categorías son Alta, Media, Baja. A partir de este mapa de susceptibilidad se seleccionan para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa las zonas de susceptibilidad alta y media, y otras que se seleccionan de acuerdo a criterios técnicos establecidos entre la Interventoría, la Supervisión del Proyecto y el Consultor.

Amenaza ante Movimientos en Masa.

Según el Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (MINAMBIENTE-MINHACIENDA-FONDO ADAPTACIÓN, 2014),

la evaluación de la amenaza por movimientos en masa se desarrolla a través de los siguientes pasos, los cuales se detallan en el mencionado documento:

- Determinación de los parámetros geológico – geotécnicos de las áreas en estudio.
- Determinación de los detonantes a aplicar para diferentes escenarios: niveles freáticos y amplificación sísmica.
- Cálculo del Factor de Seguridad (FS) para las áreas en evaluación.
- Generación del mapa de amenaza en función de probabilidades, teniendo en cuenta la afectación del material debido a la ocurrencia de sismos y al cambio del volumen de infiltración de aguas en los taludes (agentes detonantes).
- Validación y calibración de la amenaza con las áreas dinámicas por procesos naturales y antrópicos existentes.
- Determinación de incertidumbres en la producción del mapa de amenaza.

Se define como método el de talud infinito para la totalidad de las áreas en evaluación de amenazas, pues la modelación de la amenaza mediante el uso de esta técnica genera un adecuado acercamiento a la realidad del territorio en estudio. Se asume la interfaz depósito de ladera – roca como plano de falla. Los mecanismos de falla tipo rotacional se evalúan para los sitios seleccionados a partir del análisis geomorfológico con métodos de equilibrio límite.

A continuación se explica cada uno de los pasos mencionados.

Determinación de los parámetros geológico – geotécnicos de las áreas en estudio.

Los datos se generan para cada unidad homogénea del mapa de Unidades Geológicas Superficiales Cuantitativo (UGS) con base en los análisis de muestras de campo y bibliografía. Como datos de entrada para el cálculo del FS se requieren los siguientes, los cuales se obtienen a partir de la cartografía de UGS: espesor promedio del suelo y/o depósito, parámetros de las UGS (cohesión, peso unitario del suelo y ángulo de fricción), Capacidad de carga y descarga de las rocas (porosidad y permeabilidad), obtenidos del mapa de UGS cuantitativo.

Determinación de los detonantes a aplicar para diferentes escenarios: niveles freáticos.

Si es posible y existen datos se obtendrá un índice de lluvias en 24 horas; si no, se planteará el uso de escenarios extremos utilizando métodos geotécnicos para evaluar la amenaza. Se debe correlacionar la fecha de ocurrencia de los eventos con las de los eventos activadores como la lluvia, con el fin de definir los periodos de retorno que se usan en los diferentes escenarios. Luego se plantean los niveles freáticos esperados para diferentes periodos de retorno. Si existen datos el nivel freático se evalúa para periodos de retorno de lluvias de 2, 20, 50 y 100 años.

Para determinar la tabla de agua en condiciones normales del área, se utiliza la siguiente correlación:

$$\text{Nivel del agua máximo para cada celda} = \frac{1}{(3R + P + 2A) + V} \times 100$$

Ecuación 6. Correlación para determinar la tabla de agua.

Donde:

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

R= Capacidad de carga y descarga de las rocas (porosidad y permeabilidad). Este valor se obtiene del mapa de UGS cuantitativo.

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.

Determinación de los detonantes a aplicar para diferentes escenarios: niveles freáticos y amplificación sísmica.

Se deben desarrollar los siguientes pasos:

- Para evaluar el grado de afectación se introduce la incidencia de la aceleración horizontal, determinada por la magnitud máxima de un evento sísmico en un periodo de retorno determinado. Estos valores se obtienen a partir de los datos del SGC, mapas de estudios locales o desde la NSR-10. El periodo de retorno del estudio es de 475 años y la aceleración máxima regional.

- Modificar la aceleración obtenida por un factor de amplificación que depende de las características del sitio. Se toma el factor de amplificación producto del efecto topográfico que depende de la altura y la inclinación o pendiente del talud y el factor de amplificación por materiales (NSR10). Para ello se utiliza el MDT y funciones de vecindad para marcar las zonas de cambios topográficos importantes (mayor de 40° de pendiente).
- Si es posible se puede modificar el espectro respuesta para este valor de aceleración.
- Si es posible se puede plantear una red de monitoreo que permita establecer con menor incertidumbre estos factores de amplificación.

Cálculo del Factor de Seguridad (FS) para las áreas en evaluación.

La probabilidad de ocurrencia de un fenómeno dado se calcula con base en la recurrencia de detonantes como la lluvia y el sismo. La siguiente es la expresión utilizada para el cálculo de los FS en un talud infinito de una unidad de área:

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

Ecuación 7. Cálculo del Factor de Seguridad.

Donde:

c' = intercepto de cohesión

Ø' = ángulo de fricción

γ = peso unitario de la capa de suelo

B = inclinación del terreno

α = coeficiente de aceleración horizontal y amplificación sísmica

h = espesor de la capa de suelo

mh = Zw = profundidad de la tabla de agua o posición del nivel freático

FS = Factor de Seguridad

La anterior expresión se programa en el SIG considerando condiciones estáticas y pseudoestáticas utilizando el tamaño de pixel correspondiente a la escala de trabajo. Una vez consideradas las diferentes variables que se introducen para el cálculo del FS se generan con la ayuda del SIG los productos cartográficos para diferentes escenarios de amenaza de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 424. Escenarios de análisis de evaluación de amenaza por movimientos en masa.

ESCENARIO	PERIODO DE RETORNO	
	Precipitación	Sismicidad
1	Seca	Con sismo
2	Seca	Sin sismo
3	2	Con sismo
4	2	Sin sismo
5	20	Con sismo
6	20	Sin sismo
7	50	Con sismo
8	50	Sin sismo
9	100	Sin sismo
10	100	Con sismo

Fuente: Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (MINAMBIENTE-MINHACIENDA-FONDO ADAPTACIÓN, 2014),

Para cada uno de los escenarios se obtiene un valor del FS para cada celda, los cuales se agruparán en categorías de diferente grado de amenaza. De esta forma se establece con mayor certeza qué áreas son potencialmente inestables, cuáles estables y cuáles pueden pasar a ser inestables para cada uno de los escenarios en evaluación. Los grados de estabilidad de acuerdo al FS se definen con base en la siguiente tabla:

Tabla 425. Grados de estabilidad según rangos del FS para movimientos en masa.

RANGOS	GRADOS DE ESTABILIDAD
Menos de 1,2	Alta
1,2 – 1,5	Media
Más de 1,5	Baja

Fuente: Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (MINAMBIENTE-MINHACIENDA-FONDO ADAPTACIÓN, 2014),

Cálculo de la amenaza final.

Se ponderan los diferentes escenarios calculando la varianza de FS final para cada celda de cada uno de los diez escenarios. Con el valor de la varianza se calcula la desviación estándar y el área bajo la curva normal, se calcula la probabilidad de ocurrencia de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Z = \frac{1 - F_s}{\sigma F_s}$$

$$P = (0,5 + Z) 100$$

$$P = (0,5 - Z) 100$$

Ecuación 8. Probabilidad de ocurrencia.

Donde:

Z = Distancia entre el FS y la ordenada en la curva normal. Siempre representa un área menor a 1.

σF_s = Desviación estándar del FS

P = Probabilidad de ocurrencia de falla

Una vez obtenido la cartografía del FS con las condiciones actuales del terreno se efectuará un control en campo del mismo con el propósito de verificar si los resultados obedecen a las condiciones reales del área en estudio y se efectuará la correspondiente calibración. El mapa de amenaza final será afinado con el mapa de áreas dinámicas (inventario de eventos)

8.2.4.2 Resultados

Susceptibilidad ante Movimientos en Masa.

Con base en la metodología antes expuesta se ha realizado el conjunto de pasos que permite obtener una función discriminante que identifique las zonas susceptibles a padecer un movimiento en masa. En la descripción de proceso que se explica a continuación se pone especial énfasis en aquellas consideraciones particulares que se han tenido que realizar para adecuar la metodología a las características físicas de la cuenca del Río Nare.

Paso A. Modelo Digital del Terreno (MDT).

A continuación se presenta la imagen del MDT generado, que se utilizó como insumo para el análisis de susceptibilidad. Este MDT presenta una resolución de 10 metros de paso de malla. Este grado de definición permite hacer un trabajo de obtención de las diferentes variables que se utilizan en el

proceso de generación de la susceptibilidad. Fue obtenido a partir de la información cartográfica base suministrada por el IGAC.

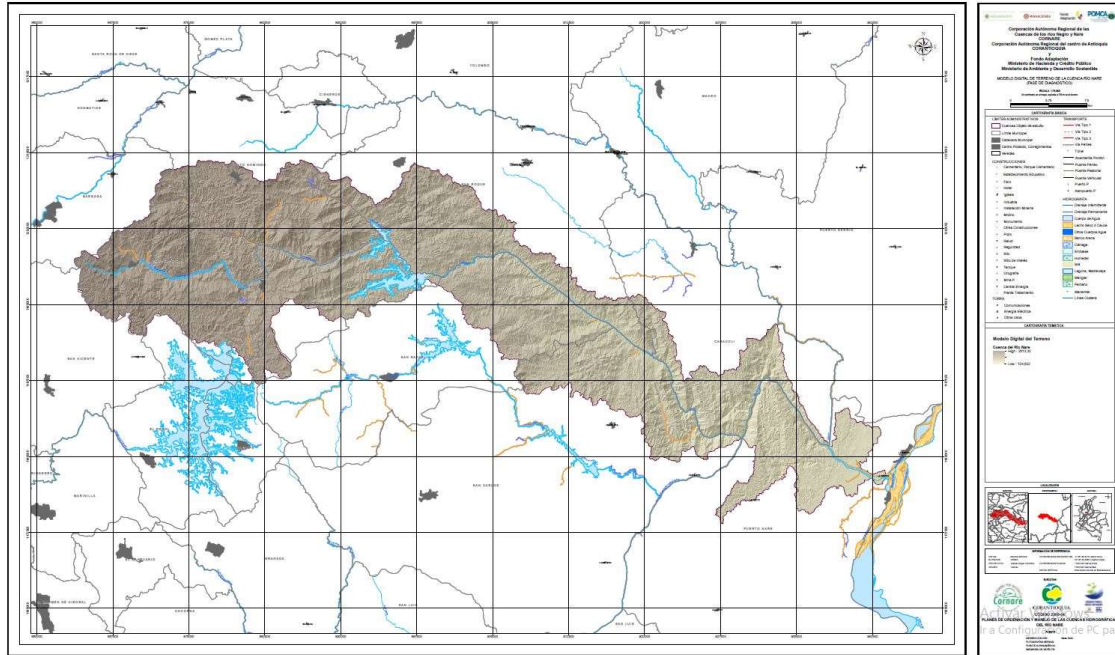


Figura 424. MDT cuenca del río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Paso B. Inventario de eventos.

Este paso es uno de los más críticos del procedimiento ya que es el que diferencia las poblaciones entre celdas o puntos inestables, de aquellos otros que se consideran inestables. Para hacer este trabajo se han recogido datos de dos fuentes diferentes, las cuales se explican a continuación.

- Eventos obtenidos del catálogo de eventos: espacializados y representados en tipología punto. Del universo de eventos registrados en el catálogo como movimientos en masa, fueron tomados para el análisis aquellos que presentan georreferenciación dentro de la cuenca; esto se aclara debido a que existen muchos registros encontrados en las bases de datos, que dicen corresponder a alguno de los municipios que hacen parte de la cuenca pero en realidad no pertenecen a ella, pues su localización georreferenciada se ubica por fuera de la cuenca. También fueron excluidos del análisis aquellos eventos que fueron ubicados en alguno de estos municipios según las bases de datos consultadas, pero que no tenían georreferenciación. El total de puntos activos en la cuenca es 639.

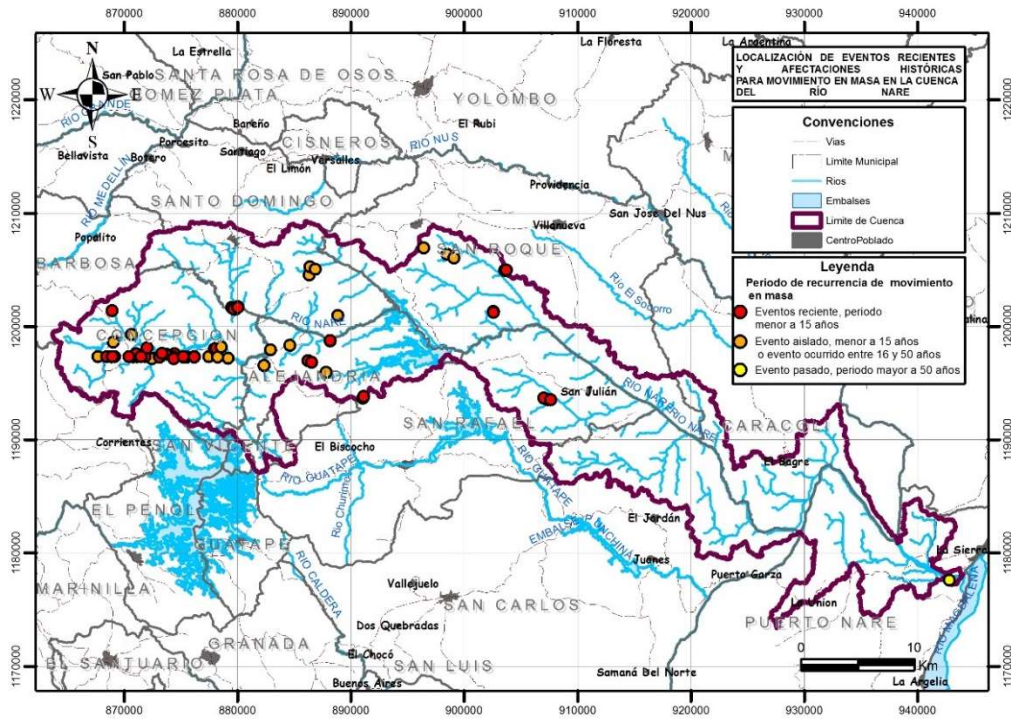


Figura 425. Eventos históricos de movimientos en masa.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

- Eventos recientes y/o activos: a partir de un inventario de eventos en campo, realizado por el componente Geomorfología; el reporte de este tema se encuentra en el numeral 4.9.1.2.1 en la Figura 163 del mencionado documento.

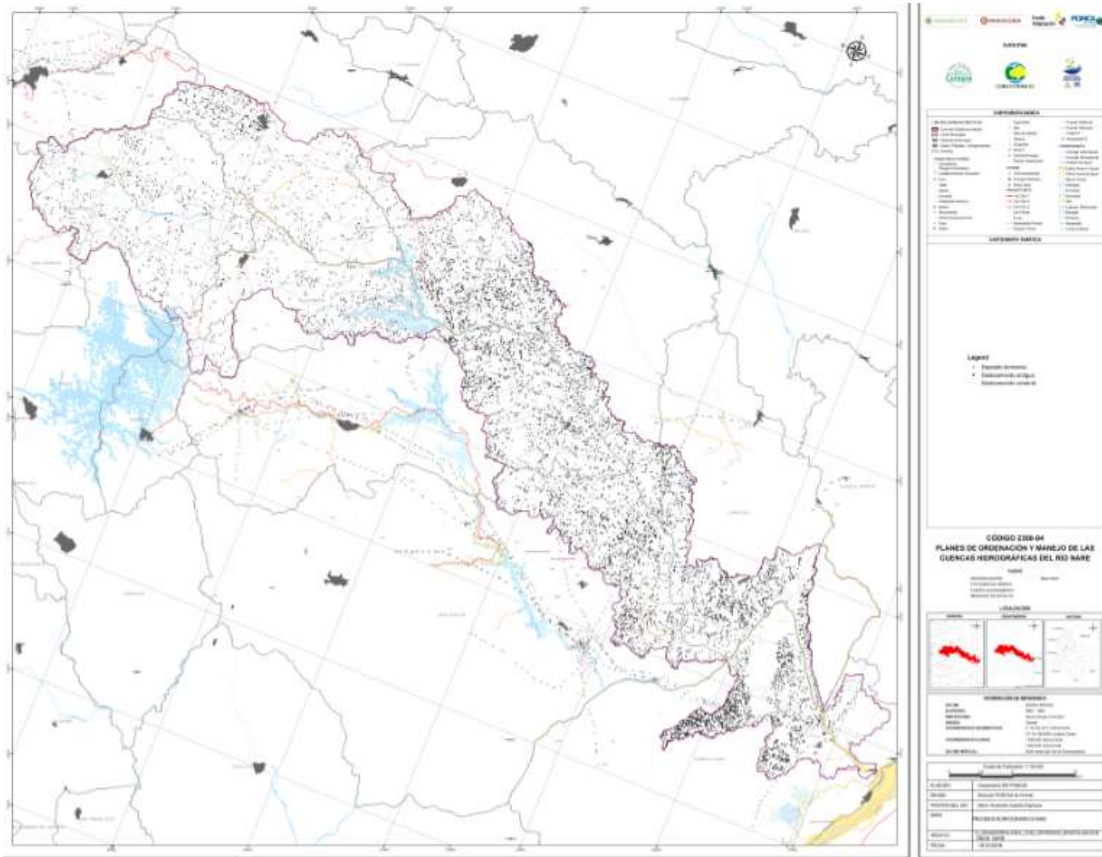


Figura 426. Procesos morfodinámicos.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Paso C. Determinación de zonas inestables.

Tal y como se ha comentado anteriormente se ha compuesto una cobertura de puntos de zonas inestables que considera todos los puntos inventariados de las dos fuentes antes descritas. El resultado final se muestra en la Figura 427.

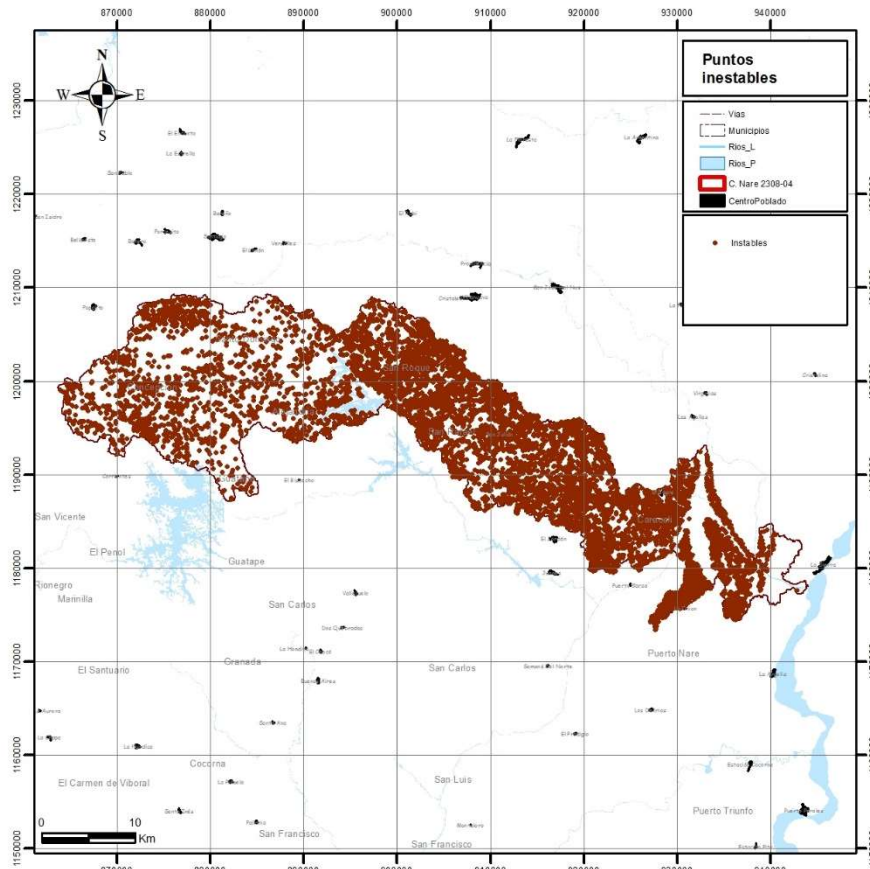


Figura 427. Conjunto de puntos considerados como inestables para la realización del proceso.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Paso D. Factores de propensividad.

Caracterización geológica básica: procedente del mapa de geología básica.

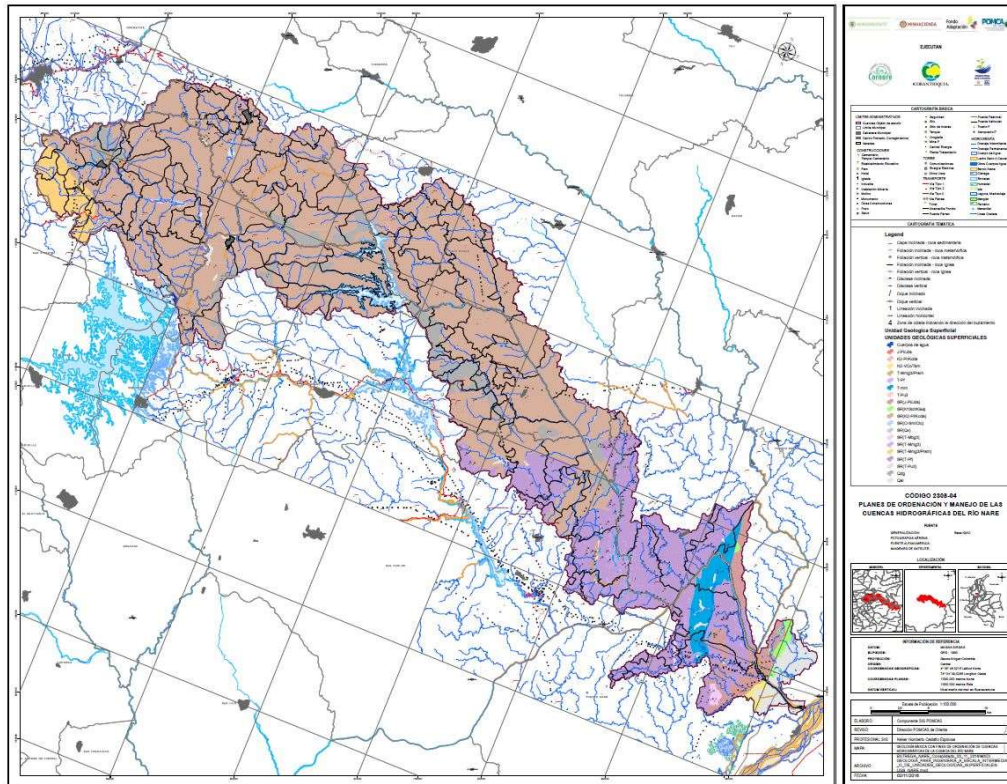


Figura 428. Mapa de unidades geológicas.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Las unidades geológicas utilizadas son las que aparecen en el mapa, y no son reclasificadas:

- | | |
|-----------------------------|-------------------------|
| Formación La Cristalina | Batolito de Segovia |
| Ortogneises graníticos | Anfibolitas de La Ceja |
| Neises cuarzo-feldespáticos | Sedimentitas de Segovia |
| Mármoles | Batolito Antioqueño |
| Esquistos grafiticos | Formación Mesa |
| Dunitas | Depósitos antrópicos |
| Depósitos de ladera | Depósitos aluviales |

Cobertura: Procedente del mapa de cobertura y uso de la tierra generado por el Proyecto, con base en la metodología Corine Land Cover.

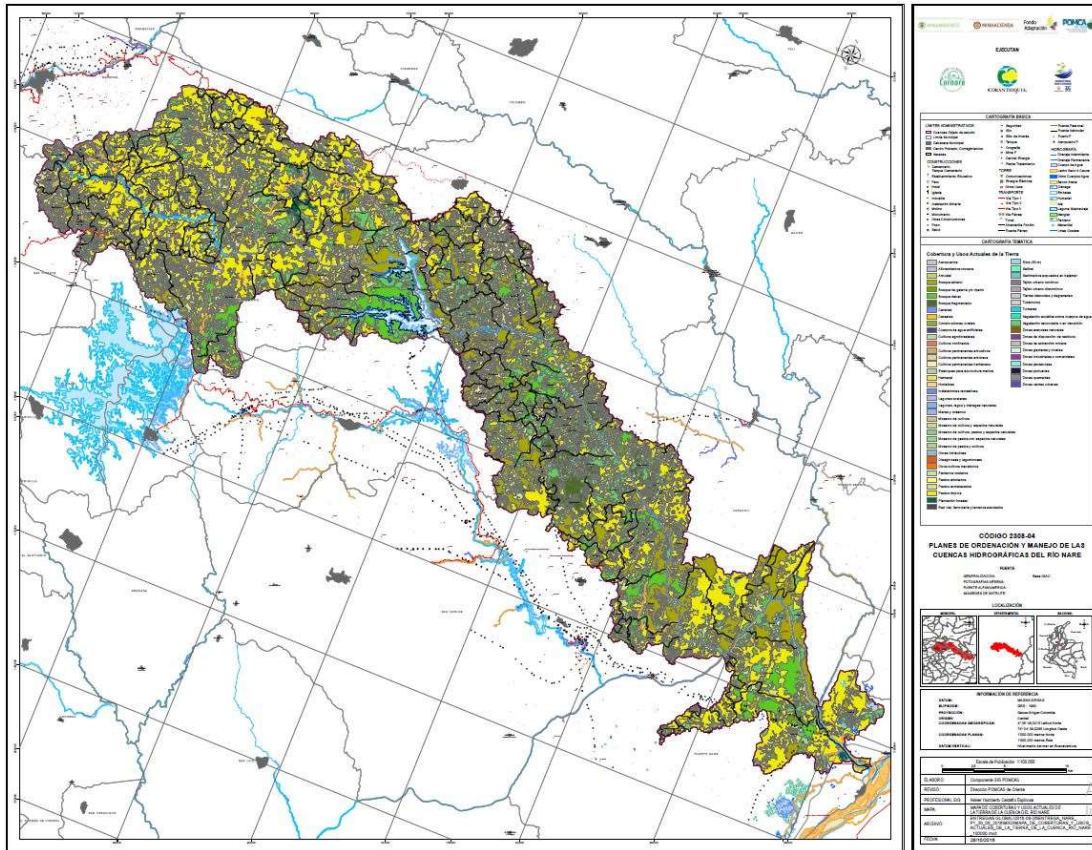


Figura 429. Mapa de coberturas.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Paso E. Generación y selección de variables.

El análisis considera todas las variables exigidas por el Protocolo, las cuales son:

Factores derivados del MDT

- Elevación: Esta se determina a partir del Modelo Digital de Elevación (MDE), con celda de 10 m de largo, generado por el grupo SIG para los diferentes procesos hidrológicos. **Archivo NA_DEM.**

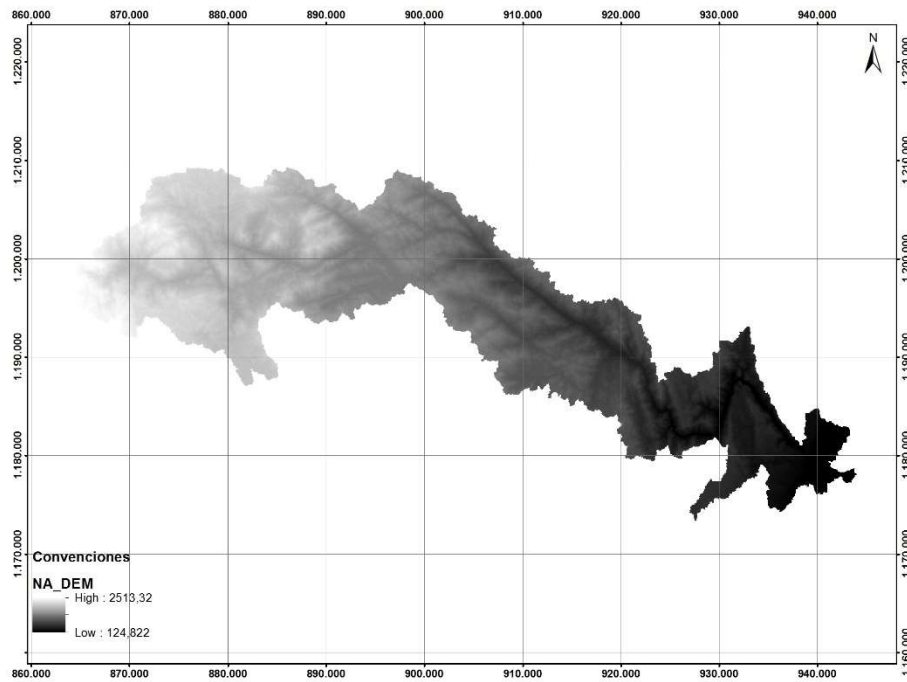


Figura 430. Variable MDT.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

- Orientación: Este factor determina la orientación de cada una de las celdas del raster de elevación, MDE, para esto se utilizó el programa QGIS, la función Raster/analisis del terreno/orientación, para obtener el **archivo NA_orienta**.

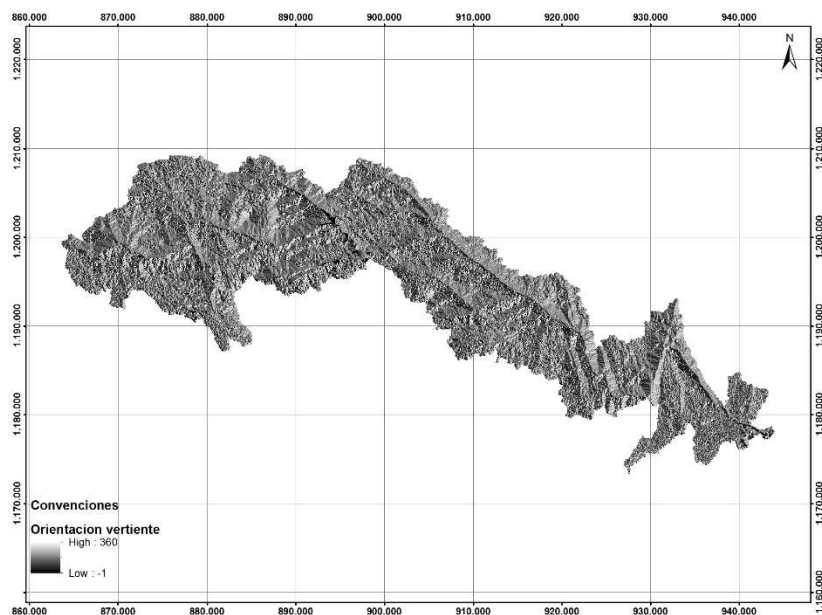


Figura 431. Variable Orientación de las laderas.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

- Pendiente: Este factor determina la pendiente, en grados, de cada una de las celdas del raster de elevación, MDE, para esto se utilizó el programa QGIS, la función Raster/analisisdelterreno/pedneinte, para obtener el **archivo NA_pend**.

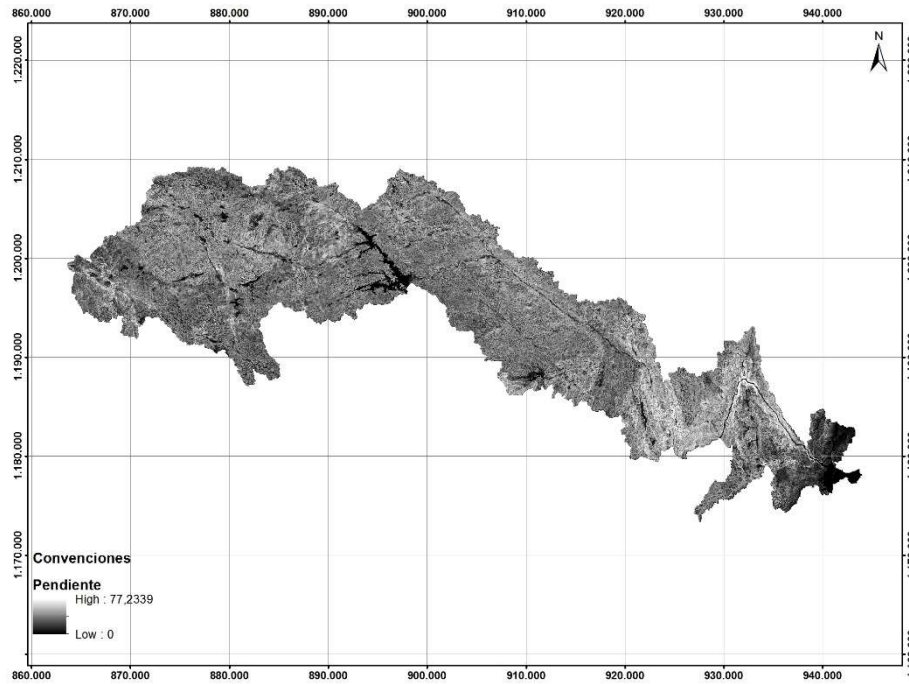


Figura 432. Variable Pendiente.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

- Insolación. Este factor determina el grado de radiación solar sobre una zona, para lo cual con base en el MDE, se utilizó la herramienta arealsolarradiaton del módulo Solarradiation ARCGIS, generando un archivo raster denominado. **NA_insola**.

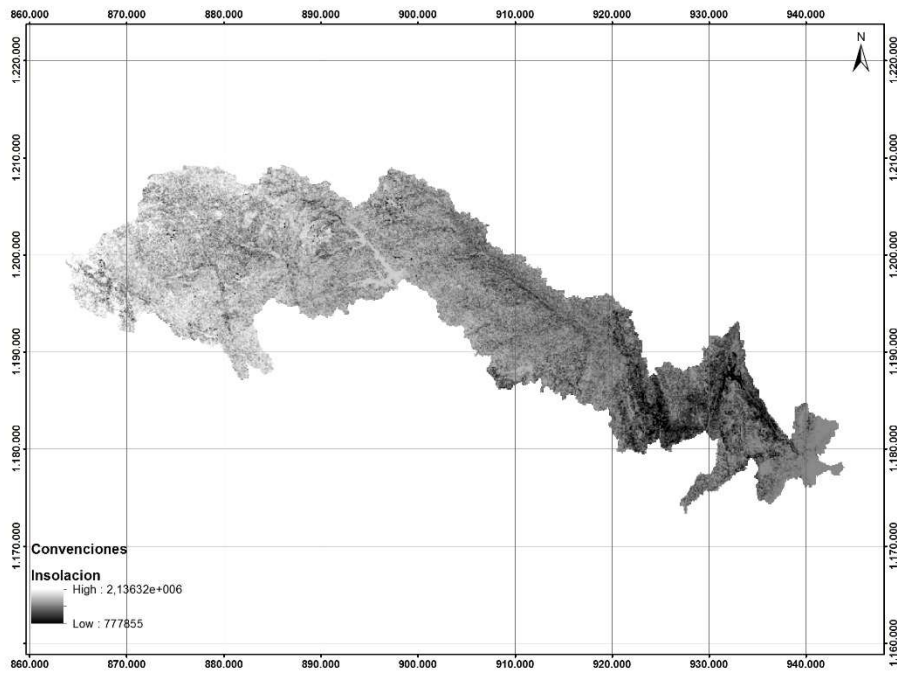


Figura 433. Variable Insolación.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

- Área de cuenca: Esta variable fue definida a partir del MDE generado dentro del proyecto de trabajo. Para esto se utilizó dentro del módulo Hydrtology de ARC-GIS, inicialmente se aplicó la herramienta fill, que elimina cualquier inconsistencia, si la hubiese, del MDE. Posteriormente se utilizaron las herramientas FLODIRECTION – FLOW ACUMULATION, generando un archivo raster, base que luego fue multiplicado por 100, que es el valor de área de cada celda, para así obtener el área acumulada en m2. el archivo generado es **NA_acuena**.

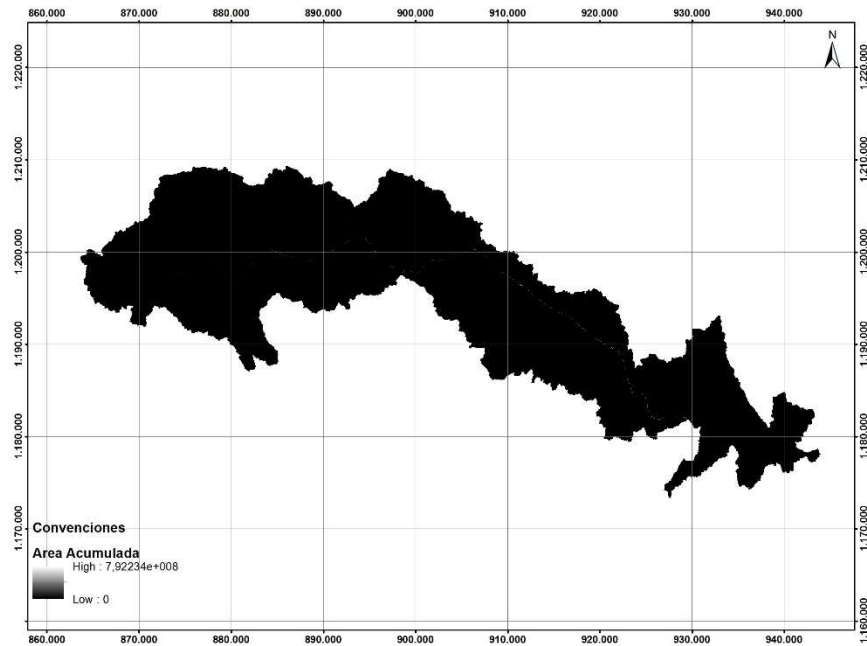


Figura 434. Variable Área acumulada.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

- Longitud de drenaje: Esta variable fue definida a partir del MDE generado dentro del proyecto de trabajo, para esto se utilizó dentro del módulo Hydrtology de ARC-GIS, inicialmente se realizó aplicó la herramienta fill, que elimina cualquier inconsistencia, si la hubiese, del MDE. Posteriormente se utilizaron las herramientas FLOWDIRECTION – FLOW LENGHT, generando un archivo raster, base que luego fue dividido por el coseno de la pendiente, para así obtener el valor en m de las corrientes. El archivo generado es **NA_longcorr**.

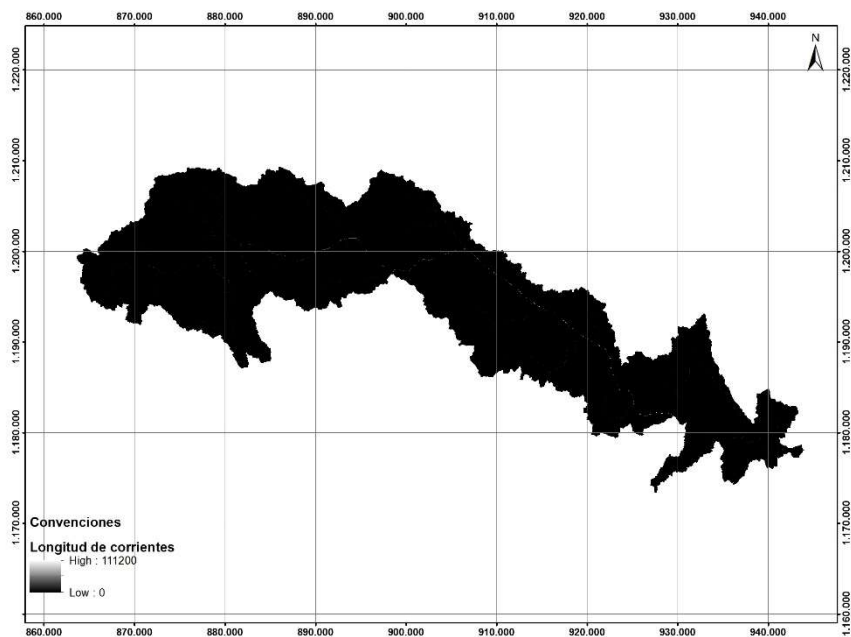


Figura 435. Variable Longitud corrientes.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

- Densidad de drenaje. Este factor fue calculado con la herramienta RASTER-CACULATOR de ARC-GIS, mediante la cual se realizó la división de la longitud de drenaje el área acumulada, obteniendo la densidad de drenaje en m/m². El archivo generado es un raster denominado **NA_ddrenje**.

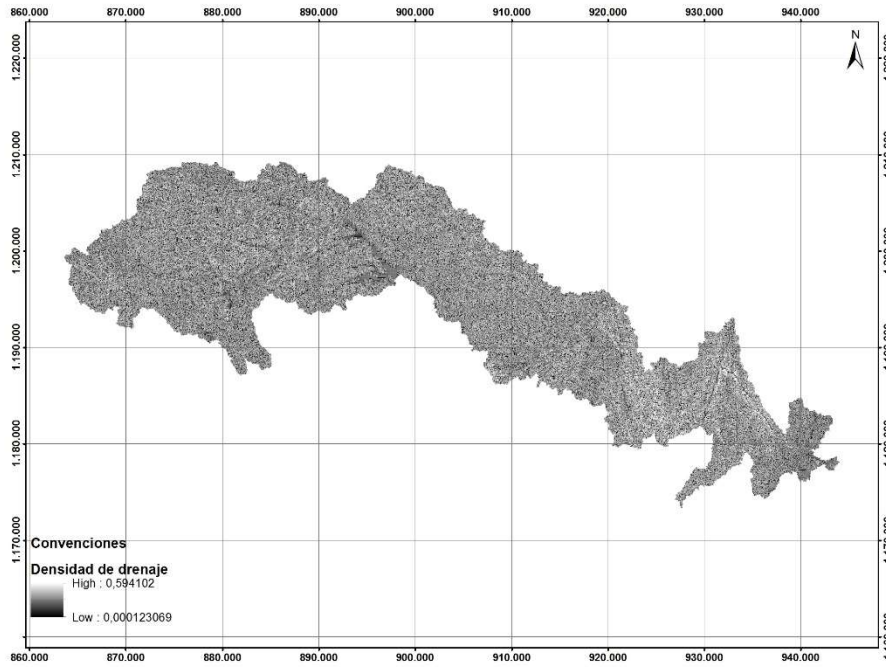


Figura 436. Variable Densidad drenaje.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

- Distancia a vías. Para esto se creó una malla de puntos mediante la función createfishnet de ARC-GIS. Con estos puntos se realizó un cálculo de la menor distancia euclidiana de los puntos definidos a las vías, el resultado generado, dio lugar a muchos valores por cada punto (valores a diferentes vías o a la misma varias veces), de los valores obtenidos se conservó el menor, y dicha capa de puntos fue convertida a raster mediante la función point to raster de ARC-GIS. Se obtuvo el archivo **NA_DVIAS**.

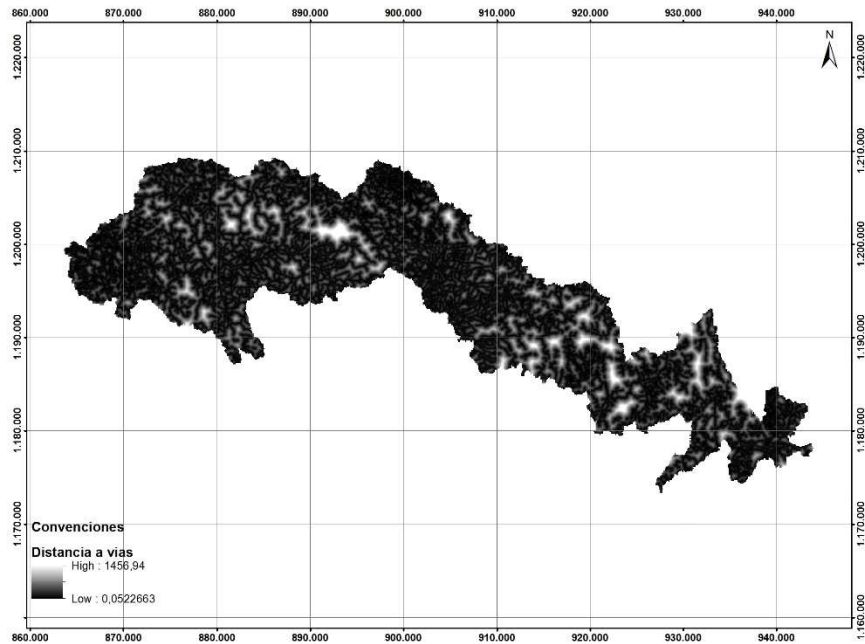


Figura 437. Variable Distancia a vías.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

- Distancia a corrientes. Para esto se creó una malla de puntos mediante la función createfishnet de ARC-GIS. Con estos puntos se realizó un cálculo de la menor distancia euclidiana de los puntos definidos a las corrientes. El resultado generado, dio lugar a muchos valores por cada punto (valores a diferentes vías o a la misma varias veces), de los valores obtenidos se conservó el menor, y dicha capa de puntos fue convertida a raster mediante la función point to raster de ARC-GIS. Se obtuvo el archivo **NA_dcrrr**.

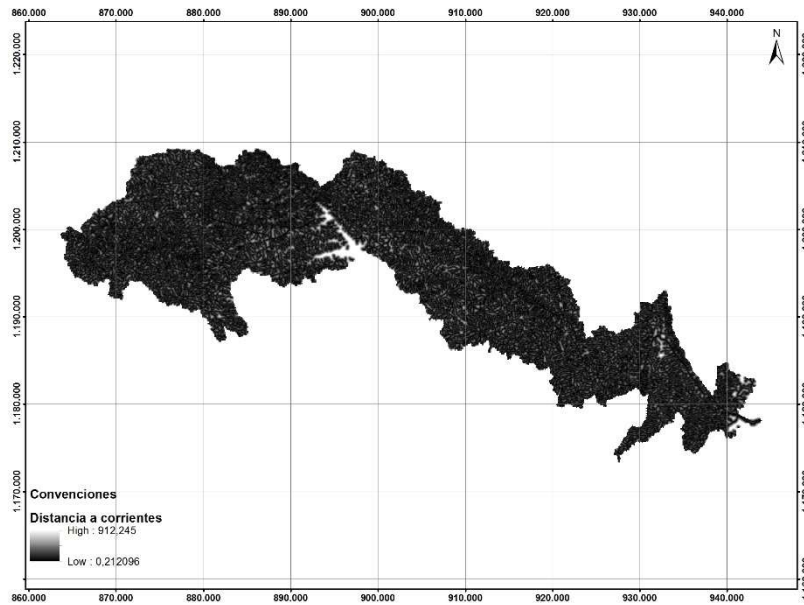


Figura 438. Variable Distancia a corrientes.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Otros Factores

- Cobertura Vegetal: Este factor representa la cobertura vegetal de la zona de estudio, para esto se utilizó la capa de cobertura vectorial en polígonos, definida por el grupo de trabajo respectivo del proyecto y se convirtió en un archivo tipo raster, para lo cual se utilizó la función v.to.rast, de Qgis, donde se consideró como campo de transformación el campo del Nivel 4 de cobertura. El archivo obtenido fue **NA_cveg**.

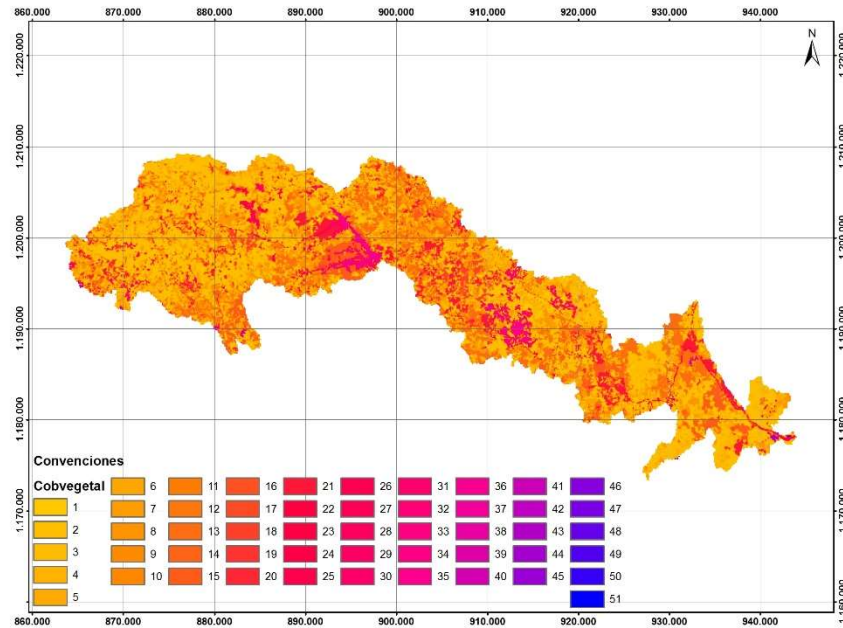


Figura 439. Variable Cobertura.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

- Origen. Esta variable clasifica las características de los diferentes materiales que componen los suelos (tanto regolitos como depósitos) en la zona de estudio, para lo cual se tomó la capa de geología generada por el grupo de trabajo respectivo, de esta se eliminó el embalse de Punchiná y se clasificó en números ordinales, de acuerdo a sus características geomecánicas. Para esto se tomó la cobertura tipo vector/polígono, se le asignaron los valores respectivos de acuerdo y se realizó la conversión de vector a raster, mediante la función de ARC-GIS; polygontoraster. Generando el archivo **NA_origen**.

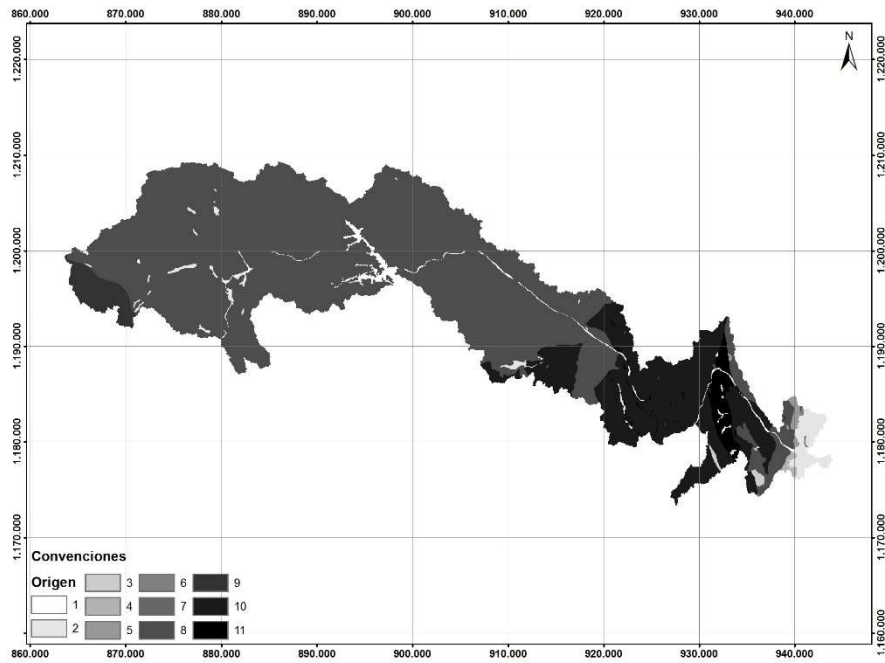


Figura 440. Variable Origen.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

- Roca-suelo. Esta variable fue determinada a partir del mapa de Formaciones Superficiales generado por el grupo de Geología, ya con la extracción del embalse de Punchiná. Para esto se generó un campo adicional en dicho archivo denominado SUELO_ROCA, donde los elementos denominados Roca Ígnea y Roca Metamórfica del campo T_MATERIAL se denominaron con el número 0 en el nuevo campo y los restantes elementos como son: DEPÓSITO Y SUELO RESIDUAL fueron denominados con el número 1, en el nuevo campo. Esta cobertura fue transformada a Raster, mediante al herramienta Poligon To Raster, con el campo SUELO_ROCA, como el de transformación generando así el archivo **NA_sueloroca** 0 roca, 1 suelo.

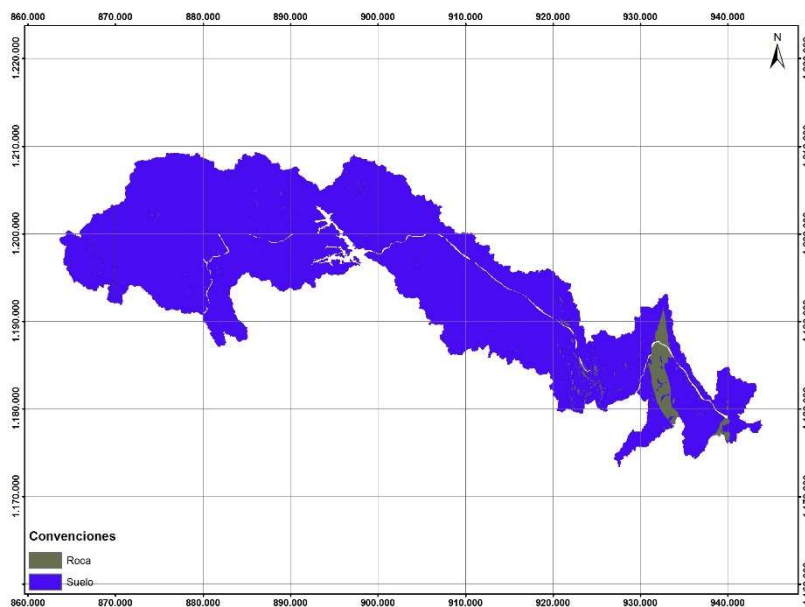


Figura 441. Variable Roca - Suelo.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

- Espesor de Suelo. Para esto se tomó la cobertura generada por el grupo de Geología, y se realizó una multiplicación con el Raster de Suelo-roca, donde la roca está marcada con 0 y el suelo con 1, generando así el raster respectivo, denominado **NA_espesordesuelo**.

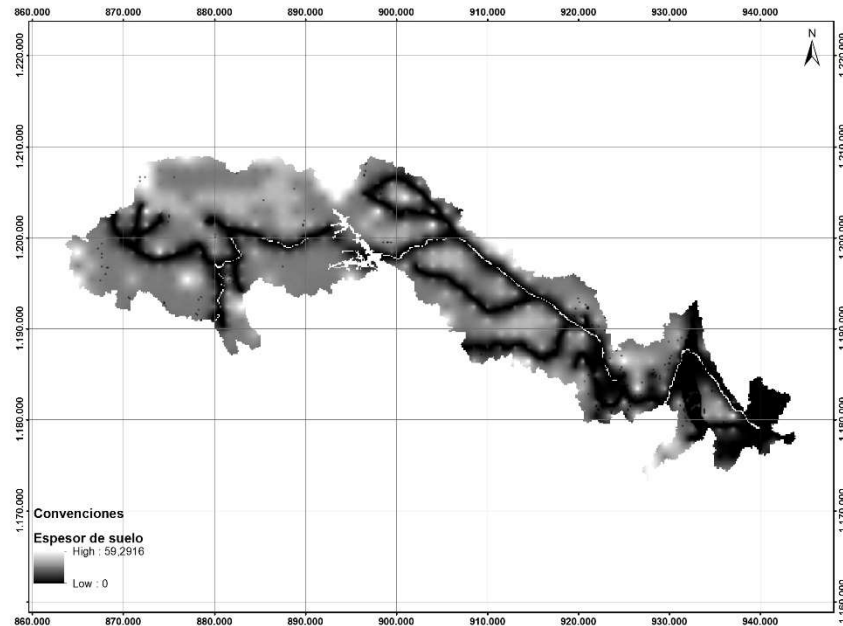


Figura 442. Variable Espesor de Suelo.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

- Densidad de fracturamiento: La información sobre densidad de fracturamiento es de tipo discreto que no es susceptible de interpolación o extrapolación. Esta información, en los sitios donde es pertinente, se encuentra en los formatos de campo, entregados como Anexos del Componente Geología; en los atributos de la capa de estaciones de campo, en el mapa de geología, aparece el dato de Jb. Como una generalización puede afirmarse que en las zonas de falla la roca está triturada, lo que corresponde a una densidad de fracturamiento del orden de 10 a 20 fracturas/m, en tanto que en el conjunto del macizo rocoso, la roca diaclasada tiene una densidad de fracturamiento media del orden de 2,5 fracturas/m, con valores extremos entre 0,5 y 5,0 fracturas/m”. Estos sin embargo son promedios y no pueden ser cartografiados extrapolando a la escala del presente trabajo.
- Zines. Esta es la variable primaria del análisis y comprende la suma de la información de procesos morfodinámicos de varias fuentes como son: catálogo de eventos, mapeo de procesos y formaciones superficiales. Este proceso se realizó mediante la suma de los procesos obtenidos en el catálogo, capa vectorial tipo punto, y los procesos tipo punto generados por el grupo de Geología, igualmente capa vectorial tipo punto, esta capa fue convertida en raster mediante la herramienta pointtoraster de ARCGIS, donde a los procesos menores a 15 años se les asignó el número 1 y a los mayores a 50 el número 2. A su vez la

información de depósitos de vertiente fue rasterizada mediante la herramienta poligontoraster, donde los polígonos de estos depósitos fueron calificados con el número 3. Una vez con estas dos capas raster se procedió a realizar su suma mediante la herramienta Rastercalculator. El archivo obtenido es **NA_ZINES**.

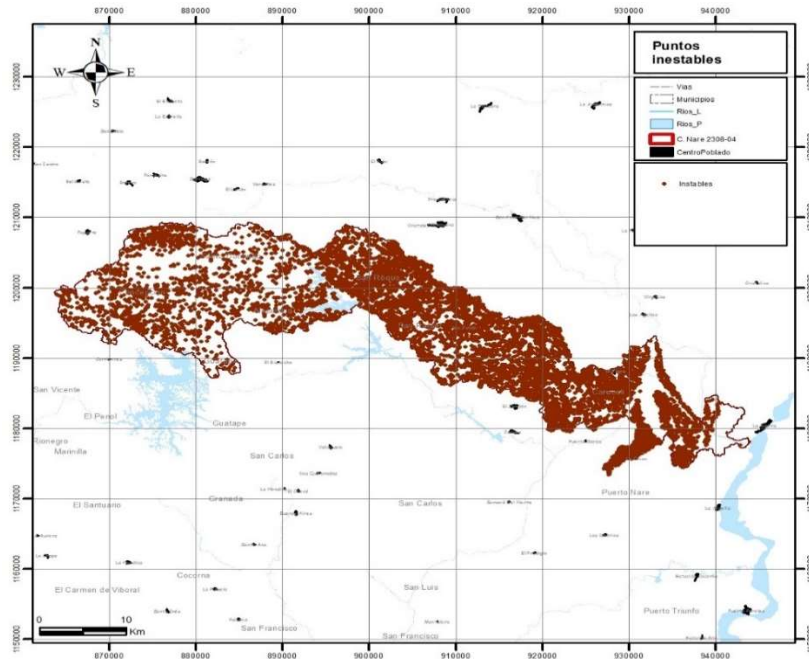


Figura 443. Zonas inestables cuenca del Río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Criterios de Reclasificación.

Para utilizar la información de las variables consideradas dentro de la ecuación discriminante, se requiere que éstas se encuentren clasificadas de manera numérica, es por esto que variables como Cobertura Vegetal y Geología, que son cualitativas deben transformarse a valores numéricos, para lo cual se utilizaron los procedimientos que se describen a continuación.

Origen:

Para la Geología, la cual se considera dentro de la variable denominada Origen, se adoptó un criterio de relación del tipo de unidad geológica mapeada y la ocurrencia de movimientos en masa. Este criterio se basa en la experiencia de los expertos del componente Gestión del Riesgo; los valores asignados no son unívocos, ya que el mismo valor puede estar asignado a diferentes unidades por considerarse que tiene comportamiento similar (Tabla 426).

Tabla 426. Clasificación unidades geología, variable Origen

NOMBRE	VALOR PARA ORIGEN
Cuerpo agua	0
Depósitos Palustres	1
Depósitos Aluviales	2
Depósitos Aluviales	2
Depósitos de Ladera	3
Depósitos Antrópicos	4
Terrazas	5
Sedimentitas de La Fe	6
Batolito Antioqueño	7
Complejo Cajamarca - Esquistos de Ancón	7
Dunitas de Medellín	8
Granofels de Normandía	9
Migmatitas de Puente Peláez	9
Neis Milonítico de Sajonia	9
Anfibolitas de La Ceja	10
Anfibolitas de Medellín	10
Gabro de Carrizales	11

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Suelo – Roca:

La variable Suelo-roca es una variable de presencia - ausencia, para su definición se tomó el mapa de Unidad Geológica Superficial, generado por el componente Geología y se reclasificó con base en el campo de T_MATERIAL, donde se resalta si el material es un suelo, un depósito o es roca, así todo lo que fuese suelo o depósito se reclasificó como suelo y aquello que está definido como roca, sin importar su tipo (ígneas, sedimentaria o metamórfica), fue clasificado como roca.

Espesor:

Para el espesor de suelo, se tomó del mapa respectivo generado por el componente Geología, donde se presentan los valores de dicha variable; a su vez, a dicho mapa se le realizó un cruce con la variable Suelo - roca. En dicho cruce la variable Suelo - roca se clasificó así: 0 Roca y 1 Suelo, así se realizó una multiplicación entre las variables de *Espesor de Suelo* y *Suelo - roca*, por medio de la herramienta *raster_calculator*.

Coberturas Vegetales:

La reclasificación de la cobertura vegetal, no adopta criterios relativos a su propensión o resistencia a la generación de movimientos en masa, sino que toma el método de caracterización utilizado (Corine Land Cover), el cual clasifica la Cobertura vegetal en niveles, de acuerdo con un sistema de

nomencladores numéricos; así el procedimiento consistió en asignarle a cada cobertura su nomenclador respectivo definido en el nivel 4 por dicho método, como puede observarse en la cobertura respectiva que se encuentra en la Tabla 427.

Tabla 427. Clasificación del nivel 4 en la metodología Corine Land Cover.

NIVEL				CODIFICACIÓN UTILIZADA	
1	2	3	4		
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	1.1 Zonas urbanizadas	1.1.1 Tejido urbano continuo			
		1.1.2 Tejido urbano discontinuo			
	1.2 Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	1.2.1 Zonas industriales o comerciales	1.2.1.1 Zonas industriales		1211
			1.2.1.2 Zonas comerciales		1212
		1.2.2 Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	1.2.2.1 Red vial y territorios asociados		1221
			1.2.2.2 Red ferroviaria y terrenos asociados		1222
		1.2.3 Zonas portuarias	1.2.3.1 Zonas portuarias fluviales		1231
			1.2.3.2 Zonas portuarias marítimas		1232
		1.2.4 Aeropuertos	1.2.4.1 Aeropuerto con infraestructura asociada		1241
			1.2.4.2 Aeropuerto sin infraestructura asociada		1242
	1.2.5 Obras hidráulicas				
	1.3 Zonas de extracción minera y escombreras	1.3.1 Zonas de extracción minera	1.3.1.1 Otras explotaciones mineras		1311
			1.3.1.2 Explotación de hidrocarburos		1312
			1.3.1.3 Explotación de carbón		1313
			1.3.1.4 Explotación de oro		1314
			1.3.1.5 Explotación de materiales de construcción		1315
			1.3.1.6 Explotación de sal		1316
		1.3.2 Otros sitios de disposición de residuos a cielo abierto	1.3.2.1 Otros sitios de disposición de residuos a cielo abierto		1321
			1.3.2.2 Escombreras		1322
1.3.2.3 Vertederos				1323	

NIVEL				CODIFICACIÓN UTILIZADA
1	2	3	4	
			1.3.2.4 Relleno sanitario	1324
	1.4 Zonas verdes artificializadas no agrícolas	1.4.1 Zonas verdes urbanas	1.4.1.1 Otras zonas verdes urbanas	1411
			1.4.1.2 Parques cementerios	1412
			1.4.1.3 Jardines botánicos	1413
			1.4.1.4 Zoológicos	1414
			1.4.1.5 Parques urbanos	1415
			1.4.1.6 Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas	1416
		1.4.2 Instalaciones recreativas	1.4.2.1 Áreas culturales	1421
			1.4.2.2 Áreas deportivas	1422
			1.4.2.3 Áreas turísticas	1423
2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS	2.1 Cultivos transitorios	2.1.1 Otros cultivos transitorios		
		2.1.2 Cereales	2.1.2.1 Arroz	2121
			2.1.2.2 Maíz	2122
			2.1.2.3 Sorgo	2123
			2.1.2.4 Cebada	2124
			2.1.2.5 Trigo	2125
		2.1.3 Oleaginosas y leguminosas	2.1.3.1 Algodón	2131
			2.1.3.2 Ajonjolí	2132
			2.1.3.3 Frijol	2133
			2.1.3.4 Soya	2134
			2.1.3.5 Maní	2135
		2.1.4 Hortalizas	2.1.4.1 Cebolla	2141
			2.1.4.2 Zanahoria	2142

NIVEL				CODIFICACIÓN UTILIZADA
1	2	3	4	
			2.1.4.3 Remolacha	2143
		2.1.5 Tubérculos	2.1.5.1 Papa	2151
			2.1.5.2 Yuca	2152
	2.2 Cultivos permanentes	2.2.1 Cultivos permanentes herbáceos	2.2.1.1 Otros cultivos permanentes herbáceos	2211
			2.2.1.2 Caña	2212
			2.2.1.3 Plátano y banano	2213
			2.2.1.4 Tabaco	2214
			2.2.1.5 Papaya	2215
			2.2.1.6 Amapola	2216
		2.2.2 Cultivos permanentes arbustivos	2.2.2.1 Otros cultivos permanentes arbustivos	2221
			2.2.2.2 Café	2222
			2.2.2.3 Cacao	2223
			2.2.2.4 Viñedos	2224
			2.2.2.5 Coca	2225
		2.2.3 Cultivos permanentes arbóreos	2.2.3.1 Otros cultivos permanentes arbóreos	2231
			2.2.3.2 Palma de aceite	2232
			2.2.3.3 Cítricos	2233
			2.2.3.4 Mango	2234
		2.2.4 Cultivos agroforestales	2.2.4.1 Pastos y árboles plantados	2241
			2.2.4.2 Cultivos y árboles plantados	2242
	2.2.5 Cultivos confinados			
	2.3 Pastos	2.3.1 Pastos limpios		
		2.3.2 Pastos arbolados		
		2.3.3 Pastos enmalezados		

NIVEL				CODIFICACIÓN UTILIZADA
1	2	3	4	
	2.4 Áreas heterogéneas agrícolas	2.4.1 Mosaico de cultivos		
		2.4.2 Mosaico de pastos y cultivos		
		2.4.3 Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales		
		2.4.4 Mosaico de pastos con espacios naturales		
		2.4.5 Mosaico de cultivos con espacios naturales		
3. BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES	3.1 Bosques	3.1.1 Bosque denso	3.1.1.1 Bosque denso alto	3111
			3.1.1.2 Bosque denso bajo	3112
		3.1.2 Bosque abierto	3.1.2.1 Bosque abierto alto	3121
			3.1.2.2 Bosque abierto bajo	3122
		3.1.3 Bosque fragmentado	3.1.3.1 Bosque fragmentado con pastos y cultivos	3131
			3.1.3.2 Bosque fragmentado con vegetación secundaria	3132
	3.1.4 Bosque de galería y ripario			
	3.1.5 Plantación forestal	3.1.5.1 Plantación de coníferas	3151	
		3.1.5.2 Plantación de latifoliadas	3152	
	3.2 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.2.1 Herbazal	3.2.1.1 Herbazal denso	3211
			3.2.1.2 Herbazal abierto	3212
		3.2.2 Arbustal	3.2.2.1 Arbustal denso	3221
			3.2.2.2 Arbustal abierto	3222
		3.2.3.1 Vegetación secundaria alta	3231	

NIVEL				CODIFICACIÓN UTILIZADA
1	2	3	4	
	3.3 Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	3.2.3 Vegetación secundaria o en transición	3.2.3.2 Vegetación secundaria baja	3232
		3.3.1 Zonas arenosas naturales	3.3.1.1 Playas	3311
			3.3.1.2 Arenales	3312
			3.3.1.3 Campos de dunas	3313
		3.3.2 Afloramientos rocosos		
		3.3.3 Tierras desnudas y degradadas		
		3.3.4 Zonas quemadas		
3.3.5 Zonas glaciares y nivales	3.3.5.1 Zonas glaciares	3351		
		3.3.5.2 Zonas nivales	3352	
4. ÁREAS HÚMEDAS	4.1 Áreas húmedas continentales	4.1.1 Zonas pantanosas		
		4.1.2 Turberas		
		4.1.3 Vegetación acuática sobre cuerpos de agua		
	4.2 Áreas húmedas costeras	4.2.1 Pantanos costeros		
		4.2.2 Salitral		
		4.2.3 Sedimentos expuestos en bajamar		
5. SUPERFICIES DE AGUA	5.1 Aguas continentales	5.1.1 Ríos (50 m)		
		5.1.2 Lagunas, lagos y ciénagas naturales		
		5.1.3 Canales		
		5.1.4 Cuerpos de agua artificiales	5.1.4.1 Embalses	5141
	5.1.4.2 Lagunas de oxidación		5142	
	5.1.4.3 Estanques para acuicultura continental		5143	
5.2 Aguas marítimas	5.2.1 Lagunas costeras			

NIVEL				CODIFICACIÓN UTILIZADA
1	2	3	4	
		5.2.2 Mares y océanos	5.2.2.1 Otros fondos	5221
			5.2.2.2 Fondos coralinos someros	5222
			5.2.2.3 Praderas de pastos marinos someras	5223
			5.2.2.4 Fondos someros de arenas y cascajo	5224
		5.2.3 Estanques para acuicultura marina		

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 206.

TAMAÑO MUESTRAL

Para el cálculo de la muestra se tiene un tamaño poblacional para la cuenca de $N= 17.873$, donde se tienen 8.808 procesos estables y 9.065 procesos inestables. Para esta cuenca se establece un nivel de confianza de 95% y un error muestral de 0.01.

Selección de la muestra.

- $N=17.873$
- $e(\text{error muestral})=0.01$. Establecido por el investigador.
- $p = q = 0.5^*$
- $k = 1.96$ Valor crítico de la distribución normal
- Nivel de confianza= 95%

*Se toma el peor escenario o el peor de los casos: se supone que 50% de la población son con proceso y el 50% restante sin proceso, este supuesto proporciona un tamaño de muestra mayor para el margen de error.

$$n = \frac{k^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{(e^2 \cdot (N-1)) + k^2 \cdot p \cdot q}$$

Ecuación 9. Cálculo del tamaño de la muestra.

Se obtiene un tamaño muestra de $n = 6.248$ puntos o registros.

Para la extracción de la muestra se divide la población en dos: población de puntos estables y población de puntos inestables con el fin de seleccionar de forma aleatoria el mismo número de puntos de cada población, esto se realiza para evitar la influencia en los resultados finales de alguna de las dos poblaciones, ya que el análisis discriminante trabaja bien cuando las dos poblaciones tienen un tamaño similar en la muestra. Por medio de la función *sample* del programa estadístico R se seleccionan 3.124 de cada población de forma aleatoria.

Paso F. Análisis estadístico.

El análisis discriminante consiste en aprovechar la información contenida en las variables independientes para crear una función D que es combinación lineal de X_1, X_2, \dots, X_n capaz de diferenciar lo más posible a ambos grupos.

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

Ecuación 10. Función discriminante.

Donde b_i son las ponderaciones $i = 1, 2, \dots, n$ que consiguen hacer que los sujetos de uno de los grupos obtenga puntuaciones máximas en D y los sujetos del otro grupo, puntuaciones mínimas.

1. Selección de los puntos estables

Como paso previo a la realización del análisis estadístico se debe seleccionar un conjunto de puntos que muestran aquellas zonas que se consideran estables. Estos puntos se han generado de forma aleatoria en el conjunto cuenca. La muestra de zonas estables seleccionadas de forma aleatoria se muestra en la Figura 444.

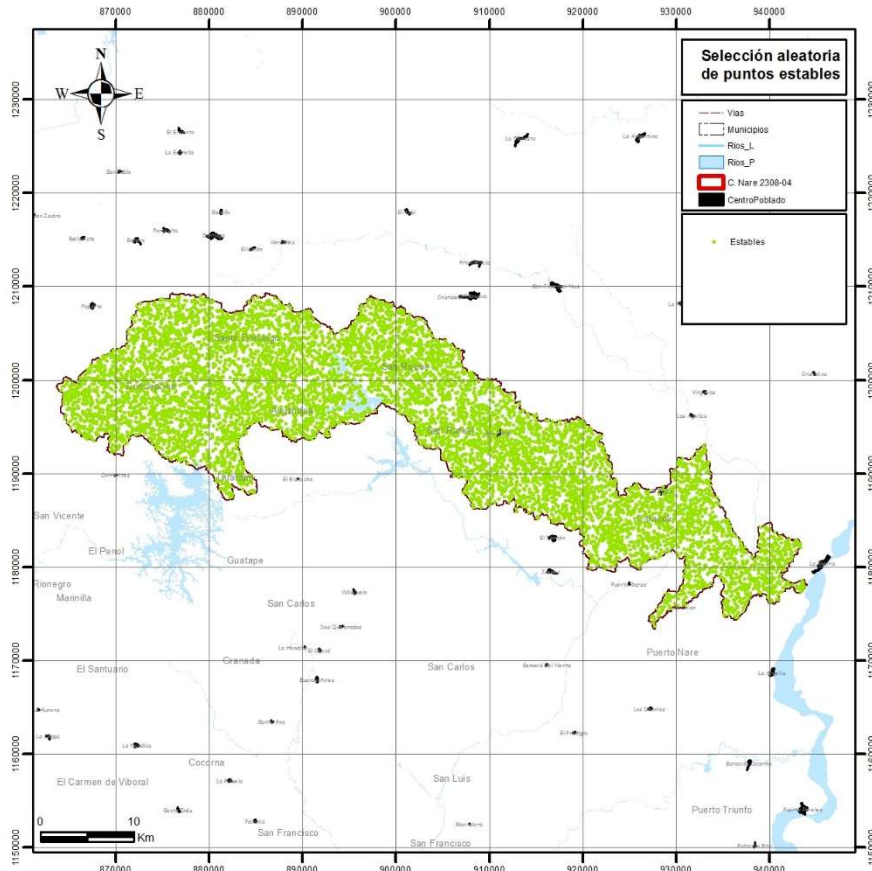


Figura 444. Conjunto de puntos considerados como estables obtenidos de forma aleatoria.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

2. Análisis de las variables y prueba de normalidad

Para el análisis de esta cuenca se tiene 14 variables que son:

Variables independientes

- X_1 : Altura (Dem)
- X_2 : Área acumulada
- X_3 : Cobertura
- X_4 : Densidad
- X_5 : Distancia a corrientes
- X_6 : Distancia a vías
- X_7 : Espesor
- X_8 : Geología
- X_9 : Insolación

- X₁₀ : Longitud
- X₁₁ : Orientación
- X₁₂ : Origen
- X₁₃ : Pendiente
- X₁₄ : Suelo Roca

Variable Dependiente

- Proceso o movimiento.

Una vez se tiene la muestra seleccionada para el conjunto de las variables se debe garantizar que las diferentes variables seleccionadas se ajusten a una distribución normal. Esta es una condición preestablecida del análisis discriminante. A aquellas variables que no se ajustan de forma adecuada a una distribución normal se ha realizado una transformación de la variable.

Tabla 428. Análisis Descriptivo de las Variables.

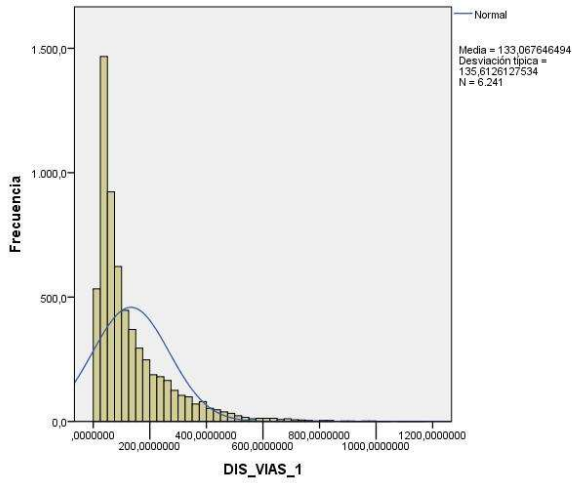
VARIABLE O FACTOR	MÍNIMO	MÁXIMO	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
Altura	125,463200	2480,601000	1017,460447	645,494897
Distancia a corrientes	0,333482	1158,901000	133,067646	135,612613
Distancia a vías	0,333482	1158,901000	133,067646	135,612613
Espesor	0,000000	58,664950	22,241190	13,561489
Insolación	1042851,000000	2097443,000000	1690965,712706	145246,317194
Longitud	0,000000	30265,320000	92,918038	608,316980
Orientación	0,000400	179,976700	88,521172	50,441928
Densidad	0,000052	3,980941	0,437495	0,354843
Área acumulada	100,000000	212851700,000000	96591,582101	3135454,584894
Pendiente	0,000000	174,030400	49,579018	19,664280

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

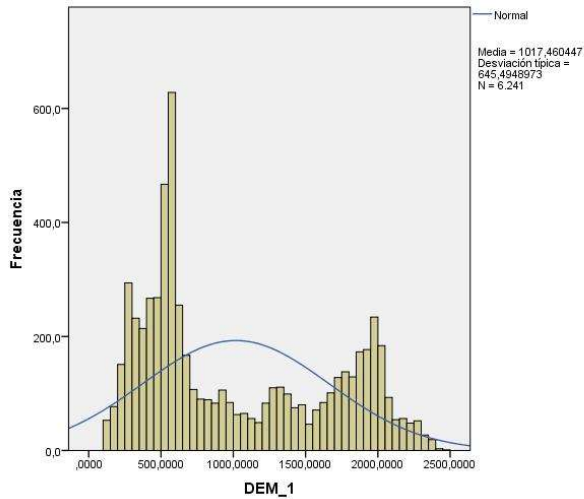
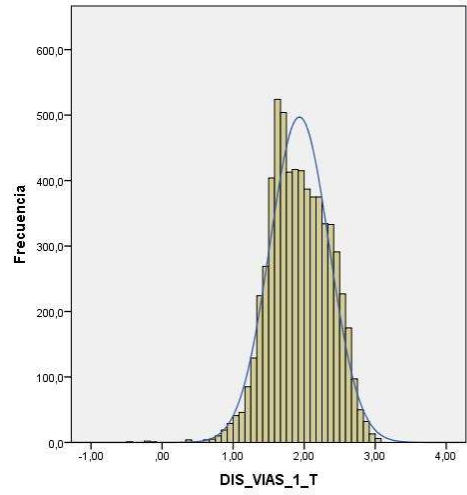
Esta transformación se ha realizado teniendo en consideración el sesgo de la muestra, las muestras de sesgo positivo se han transformado considerando el logaritmo decimal de cada uno de los datos de cada variable.

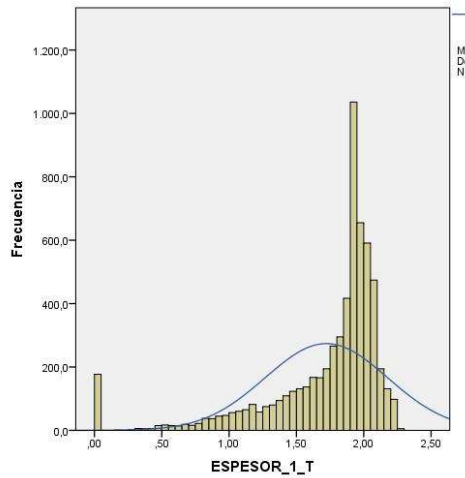
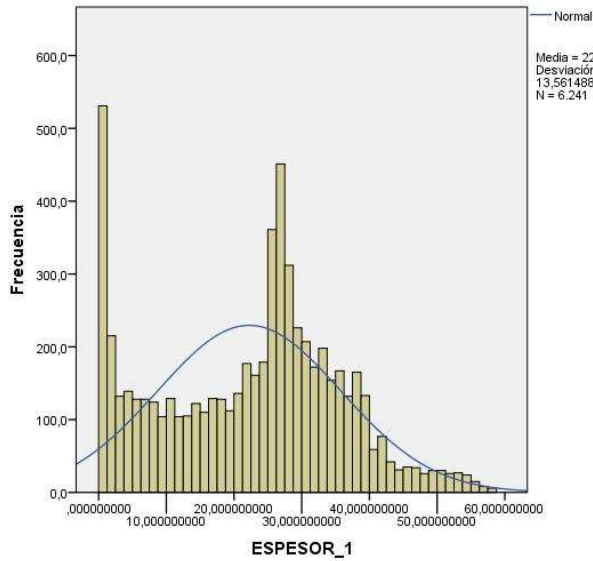
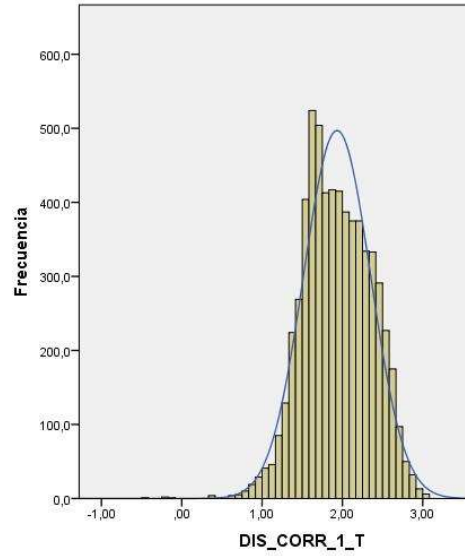
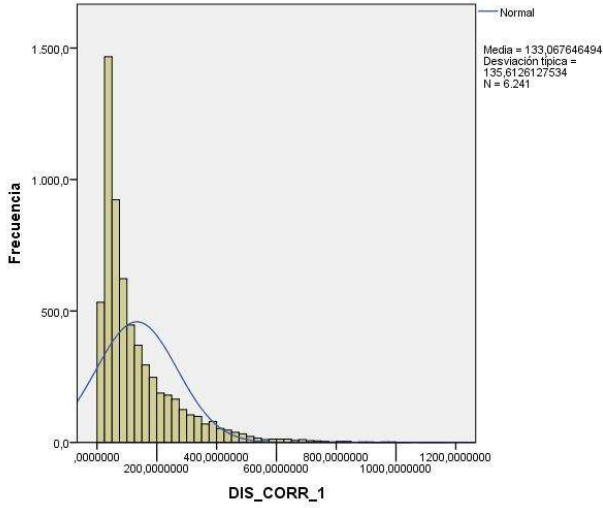
A continuación se muestra un conjunto de gráficos que presenta la distribución de los datos de la muestra conjuntamente y la distribución normal teórica, además se muestra aquel conjunto de variables que se han transformado donde se aprecia una mejoría notable en alguna de ellas en relación a la bondad del ajuste.

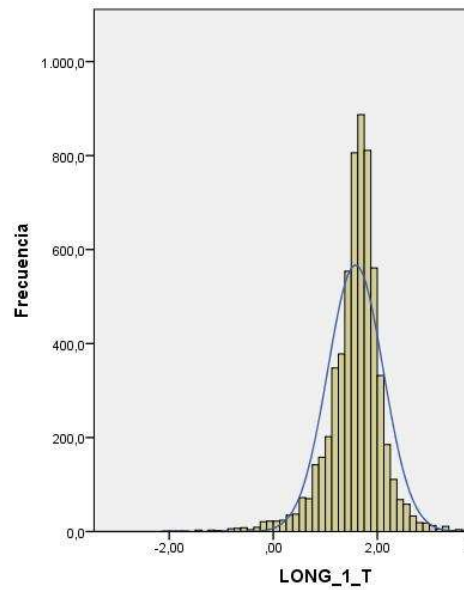
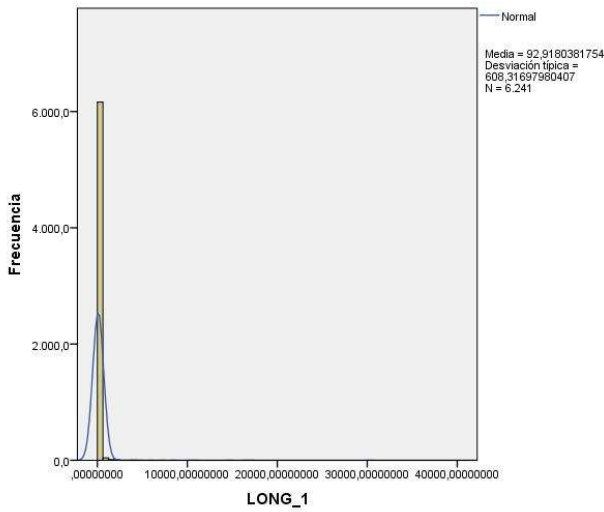
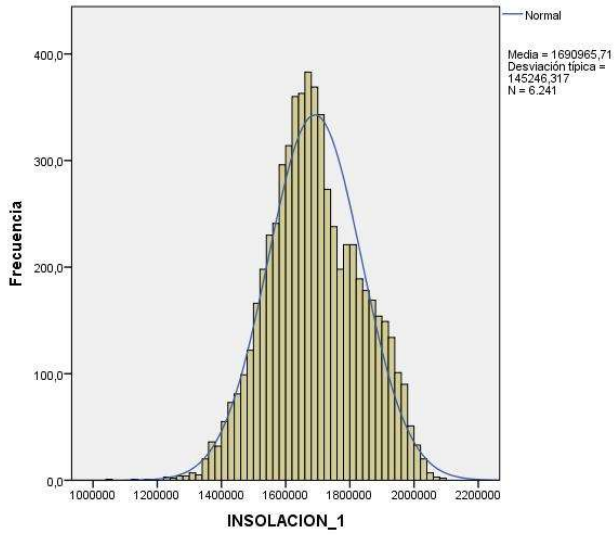
Distribución variable

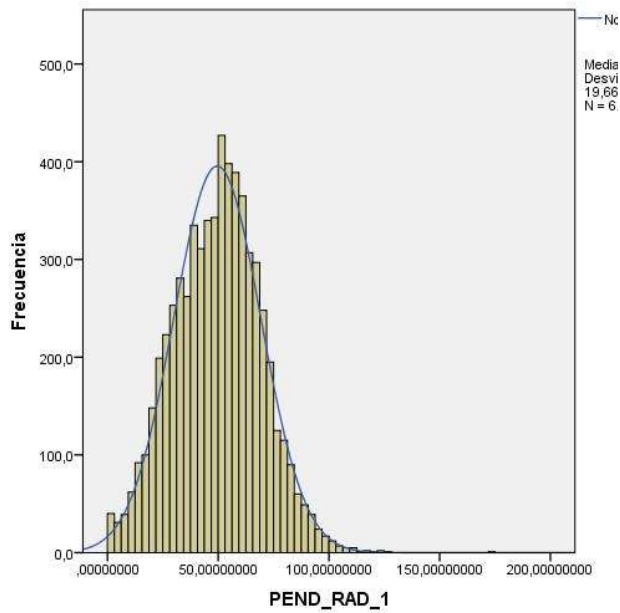
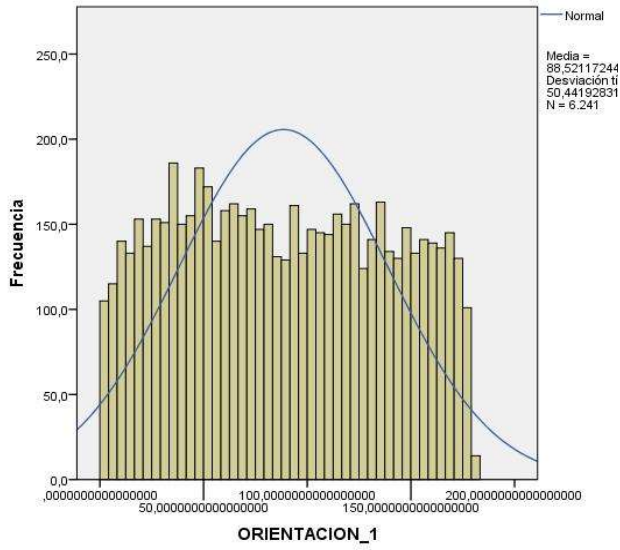


Distribución variable transformada









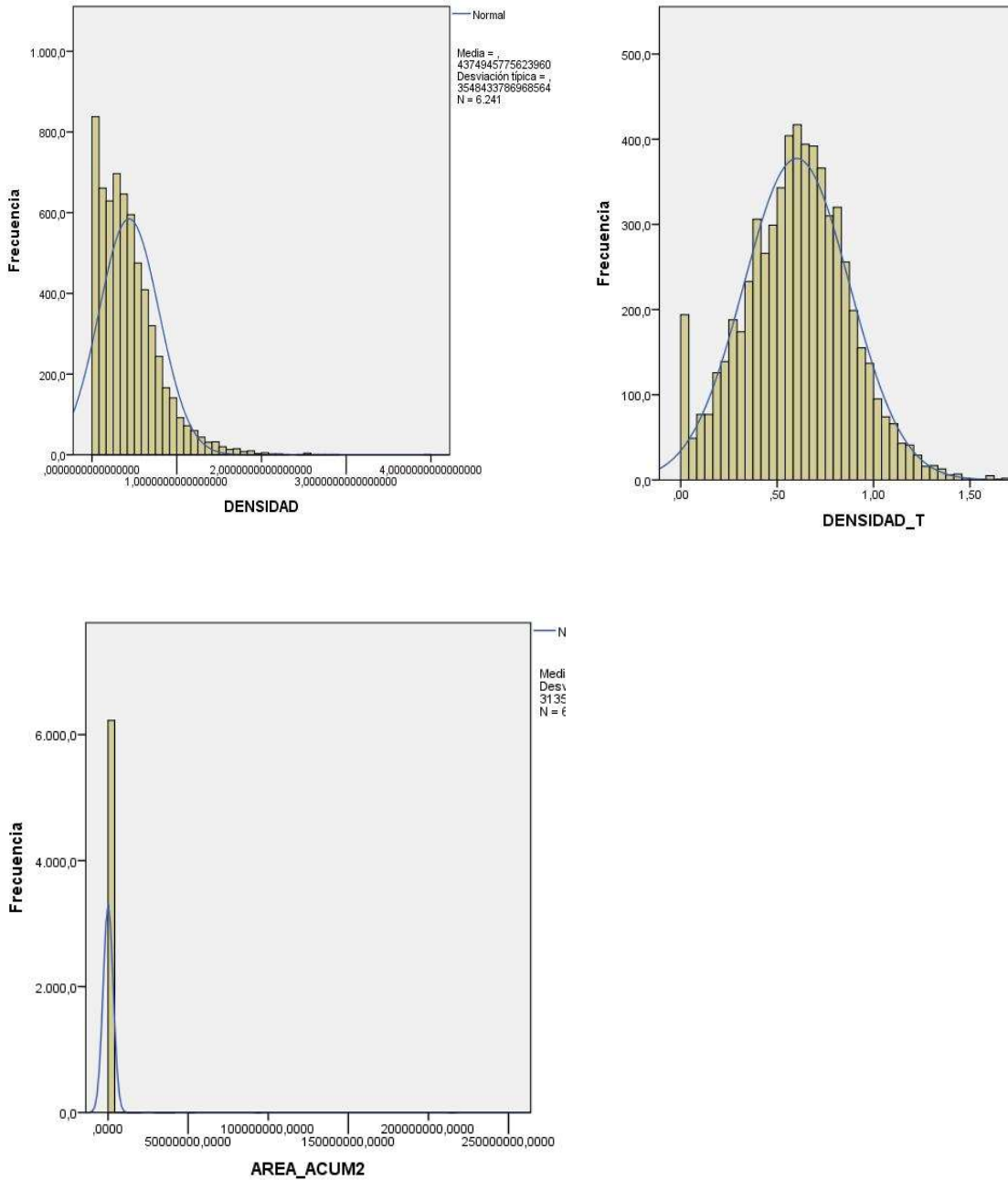


Figura 445. Histogramas de representación del conjunto de variables consideradas y la curva teórica ajustada a una distribución normal.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Ninguna variable cumple el supuesto de normalidad y su transformación mejora la distribución de la variable pero es posible cumplir con este supuesto, aun así se trabaja con la variable transformada por su mejor ajuste a la distribución normal.

3. Identificación de la dependencia entre variables. Análisis de factores

El siguiente paso a realizar es determinar el grado de dependencia entre variables, para ello se realiza un análisis por factores y se muestra una matriz de correlación entre variables (Tabla 429).

Tabla 429. Varianza total explicada.

COMPONENTE	AUTOVALORES INICIALES		
	Total	% de la varianza	% acumulado
1	3,168	22,631	22,631
2	2,199	15,710	38,341
3	1,609	11,492	49,833
4	1,467	10,477	60,310
5	1,044	7,457	67,768
6	,988	7,061	74,828
7	,936	6,683	81,511
8	,849	6,063	87,575

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

La Tabla 429 presenta los porcentajes de varianza explicada por cada componente, la primera componente explica el 22.631%, la segunda componente explica el 15.710%, por consiguiente las dos primeras componentes explican el 38.341%, las ocho componentes explican el 87.575% de la variabilidad. De esta tabla se deduce que las variables que conforman las 4 primeras componentes son aquellas que deben ir en el análisis discriminante ya que se alcanza más de un 50% de variabilidad.

Tabla 430. Matriz de componentes.

VARIABLE	COMPONENTE			
	1	2	3	4
Dis_Corr_1_T	-.246	.920	-.148	.045
Distancia_Vías_1_T	-.246	.920	-.148	.045
Longitud_1_T	-.360	.014	.683	-.439
Altura_T (DEM_1_T)	.802	.320	.320	.043
Densdad_T	-.443	.033	.694	-.365
Espesor_1_T	.305	.176	.497	.647
Área_acum2	.007	.019	.016	-.292

VARIABLE	COMPONENTE			
	1	2	3	4
Orientación_1	.091	-.007	-.052	.013
Origen_1	-.563	.014	.134	.563
Pend_Rad_1	-.485	.167	.386	.169
Sue_Roca_1	.240	-.054	.339	.313
Geología_1	.799	.275	.143	-.212
Insolacion_1	.872	.102	.154	-.070
Cobertura_1	-.091	.499	-.109	-.280

Método de extracción: Análisis de componentes principales.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

En la Tabla 430 se muestra el peso o aporte de cada factor en cada una de las cuatro componentes, todas las componentes están conformadas por las 14 variables. Para la primera componente las variables Distancia a corrientes, Distancia a vías, Longitud, Densidad, Origen, Pendiente y Cobertura tienen un peso negativo, mientras que las variables Altura, Espesor, Área acumulada, Orientación, Suelo - roca, Geología e Insolación tienen un peso positivo; para esta componente las variables que tienen un mayor peso son Insolación y Altura.

Prueba T-Student para medias

A continuación se evalúa la capacidad de clasificación de cada una de las variables, es decir, si existe diferencia significativa en las poblaciones (estables e inestables) para cada variable.

Hipótesis a contrastar:

H_0 : No existe diferencia significativa entre poblaciones

vs

H_1 : Existe diferencia significativa entre las poblaciones

A nivel de significancia del 5%. $\alpha = 0.05$

La anterior prueba de hipótesis se evalúa con una prueba t-student (prueba de muestras independientes).

Tabla 431. Prueba de muestras independientes.

VARIABLE O FACTOR	VALOR P	α	DECISIÓN
Dist_Corrientes_T	,442	,050	No Rechaza H ₀
Distancia_Vías_1_T	,442	,050	No Rechaza H ₀
Longitud_T	,000	,050	Rechazo H ₀
Altura	,007	,050	Rechazo H ₀
Densidad_T	,000	,050	Rechazo H ₀
Espesor_1_T	,000	,050	Rechazo H ₀
Suelo Roca	,000	,050	Rechazo H ₀
Origen	,000	,050	Rechazo H ₀
Insolación	,001	,050	Rechazo H ₀
Geología	,000	,050	Rechazo H ₀
Cobertura	,000	,050	Rechazo H ₀

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Las variables que menos aportan en la clasificación de los puntos en inestables y estables son: Dist_Corrientes_T y Distancia_Vías_1_T, estas variables no se eliminan del análisis pero se ingresan al final en el análisis discriminante.

4. Obtención de la función discriminante

Por último y después de realizar el proceso antes descrito se obtiene la función discriminante utilizando el método de inclusión por pasos en el que se va trabajando con un conjunto de variables paso a paso. Las siguientes tablas ilustran varias funciones discriminantes obtenidas con las variables seleccionadas.

- Función discriminante obtenida con todas las variables.

Tabla 432. Coeficientes de la función discriminante obtenida con todas las variables.

COEFICIENTES ESTANDARIZADOS DE LA FUNCIÓN DISCRIMINANTE	
Variable	Coefficiente
DEM_1_T	-.800
DENSIDAD_T	.143
ESPESOR_1_T	.270
ORIENTACION_1	.066
PEND_RAD_1	.644
SUE_ROCA_1	.162

COEFICIENTES ESTANDARIZADOS DE LA FUNCIÓN DISCRIMINANTE		
Variable	Coeficiente	
GEOLOGIA_1	-.501	
INSOLACION_1	.595	
COBERTURA_1	-.368	

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Tabla 433. Resultados de la clasificación utilizando todas las variables.

RESULTADOS DE LA CLASIFICACIÓN ^a				
		Grupo de pertenencia pronosticado		Total
		Inestable	Estable	
Recuento	Inestable	2352	772	3124
	Estable	696	2421	3117
%	Inestable	75.3	24.7	100.0
	Estable	22.3	77.7	100.0

a. Clasificados correctamente el 76.5% de los casos agrupados originales.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

$$\text{Proceso} = 0.644 X_{13} + 0.595 X_9 + 0.27 X_7 + 0.162 X_{14} + 0.143 X_4 + 0.066 X_{11} - 0.368 X_3 - 0.501 X_8 - 0.8X_1$$

- Función discriminante al eliminar las variables: Área, Distancia a vías, Distancia a corrientes y Orientación.

Tabla 434. Coeficientes de la función discriminante eliminando las variables Área, Distancia a vías, Distancia a corrientes y Orientación.

COEFICIENTES ESTANDARIZADOS DE LA FUNCIÓN DISCRIMINANTE		
Variable	Coeficiente	
DEM_1_T	-.800	
DENSIDAD_T	.141	
ESPEJOR_1_T	.268	
PEND_RAD_1	.646	
SUE_ROCA_1	.161	
GEOLOGIA_1	-.501	
INSOLACION_1	.600	
COBERTURA_1	-.369	

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Tabla 435. Resultados de la clasificación eliminando las variables Área, Distancia a vías, Distancia a corrientes y Orientación.

RESULTADOS DE LA CLASIFICACIÓN^a				
		Grupo de pertenencia pronosticado		Total
		Inestable	Estable	
Recuento	Inestable	2354	770	3124
	Estable	688	2429	3117
%	Inestable	75.4	24.6	100.0
	Estable	22.1	77.9	100.0

a. Clasificados correctamente el 76.6% de los casos agrupados originales.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

$$\text{Proceso} = 0.646 X_{13} + 0.6 X_9 + 0.268 X_7 + 0.161 X_{14} + 0.141 X_4 - 0.369 X_3 - 0.501 X_8 - 0.8X_1$$

- Función discriminante al eliminar las variables: Área, Distancia a vías, Distancia a corrientes, Orientación e Insolación.

Tabla 436. Coeficientes de la función discriminante eliminando las variables Área, Distancia a vías, Distancia a corrientes, Orientación e Insolación.

COEFICIENTES ESTANDARIZADOS DE LA FUNCIÓN DISCRIMINANTE	
Variable	Coficiente
DEM_1_T	.351
DENSIDAD_T	-.166
ESPESOR_1_T	-.247
PEND_RAD_1	-.424
SUE_ROCA_1	-.191
GEOLOGIA_1	.514
COBERTURA_1	.425

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Tabla 437. Resultados de la clasificación eliminando las variables Área, Distancia a vías, Distancia a corrientes, Orientación e Insolación.

RESULTADOS DE LA CLASIFICACIÓN^a				
		Grupo de pertenencia pronosticado		Total
		Inestable	Estable	
Recuento	Inestable	2303	821	3124
	Estable	702	2415	3117
%	Inestable	73.7	26.3	100.0
	Estable	22.5	77.5	100.0

a. Clasificados correctamente el 75.6% de los casos agrupados originales.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

$$\text{Proceso} = 0.514 X_8 + 0.425 X_3 + 0.351 X_1 - 0.166 X_4 - 0.191 X_{14} - 0.247 X_7 - 0.424 X_{13}$$

- Función discriminante al eliminar las variables: Área e Insolación.

Tabla 438. Coeficientes de la función discriminante eliminando las variables Área e Insolación.

COEFICIENTES ESTANDARIZADOS DE LA FUNCIÓN DISCRIMINANTE	
Variable	Coefficiente
DEM_1_T	.350
DENSIDAD_T	-.167
ESPESOR_1_T	-.254
PEND_RAD_1	-.431
SUE_ROCA_1	-.185
GEOLOGIA_1	.520
COBERTURA_1	.400
DIS_CORR_1_T	.077
ORIENTACION_1	-.076

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Tabla 439. Resultados de la clasificación eliminando las variables Área e Insolación.

RESULTADOS DE LA CLASIFICACIÓN ^a				
		Grupo de pertenencia pronosticado		Total
		Inestable	Estable	
Recuento	Inestable	2307	817	3124
	Estable	699	2418	3117
%	Inestable	73.8	26.2	100.0
	Estable	22.4	77.6	100.0

a. Clasificados correctamente el 75.7% de los casos agrupados originales.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

$$\text{Proceso} = 0.52 X_8 + 0.4 X_3 + 0.35 X_1 + 0.077 X_5 - 0.076 X_{11} - 0.167 X_4 - 0.185 X_{14} - 0.254 X_7 - 0.431 X_{13}$$

Se puede decir que las variables área, distancia a vías, distancia a corrientes, orientación e insolación no aportan en la clasificación de los puntos, ya que en las dos funciones anteriores el porcentaje de clasificación es el mismo: 73.8% para puntos inestables y 77.6 para puntos estables.

- Función discriminante obtenida con las variables Pendiente, Espesor, Suelo-Roca, Densidad, Distancia a Corrientes, DEM, Cobertura y Geología.

Tabla 440. Coeficientes de la función discriminante obtenida con las variables Pendiente, Espesor, Suelo-Roca, Densidad, Distancia a Corrientes, DEM, Cobertura y Geología.

COEFICIENTES ESTANDARIZADOS DE LA FUNCIÓN DISCRIMINANTE	
Variable	Coeficiente
Pendiente	0,431
Espesor_T	0,254
Suelo Roca1	0,187
Densidad_T	0,152
DIS_CORR_1_T	0,077
DEM_1_T	0,351
Cobertura1	0,409
Geología	0,528

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Tabla 441. Resultados de la clasificación utilizando las variables Pendiente, Espesor, Suelo-Roca, Densidad, Distancia a Corrientes, DEM, Cobertura y Geología.

RESULTADOS DE LA CLASIFICACIÓN ^a				
		Grupo de pertenencia pronosticado		Total
		Inestable	Estable	
Recuento	Inestable	2352	772	3124
	Estable	696	2421	3117
%	Inestable	75.3	24.7	100.0
	Estable	22.3	77.7	100.0

a. Clasificados correctamente el 76.5% de los casos agrupados originales.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

$$\text{Proceso} = 0.528 X_8 + 0.409 X_3 - 0.431 X_{13} + 0.351 X_1 - 0.254 X_7 - 0.152 X_4 - 0.187 X_{14} + 0.077 X_5$$

La función que mejor discrimina la población en puntos estables e inestables es la última presentada, por lo que con esto queda evidenciada su sensibilidad clasificando adecuadamente; además es la función que utiliza las variables que el equipo de expertos considera con mayor pertinencia para el análisis de susceptibilidad para esta cuenca. Por lo tanto es ésta la función escogida.

Tabla 442. Función discriminante escogida.

COEFICIENTES DE LA FUNCIÓN DISCRIMINANTE	
Variable	Coefficiente
Pendiente	0,431
Espesor_T	0,254
Suelo Roca1	0,187
Densidad_T	0,152
DIS_CORR_1_T	0,077
DEM_1_T	0,351
Cobertura1	0,409
Geología	0,528

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

T: indica variable transformada

Función Discriminante:

Proceso/Mvto: Estable= 1 Inestable=2

X₁: log(Altura (DEM_1_T))

X₃: Cobertura

X₄: Densidad^{0.5}

X₅: log(Distancia a corrientes)

X₇: Espesor^{0.2}

X₈: Geología

X₁₃: Pendiente

X₁₄: Suelo Roca

$$\text{Proceso} = 0.528 X_8 + 0.409 X_3 - 0.431 X_{13} + 0.351 X_1 - 0.254 X_7 - 0.152 X_4 - 0.187 X_{14} + 0.077 X_5$$

5. Elaboración del mapa de susceptibilidad

A partir de la función discriminante anterior, se construye el mapa de susceptibilidad, el cual se presenta en la Figura 446.

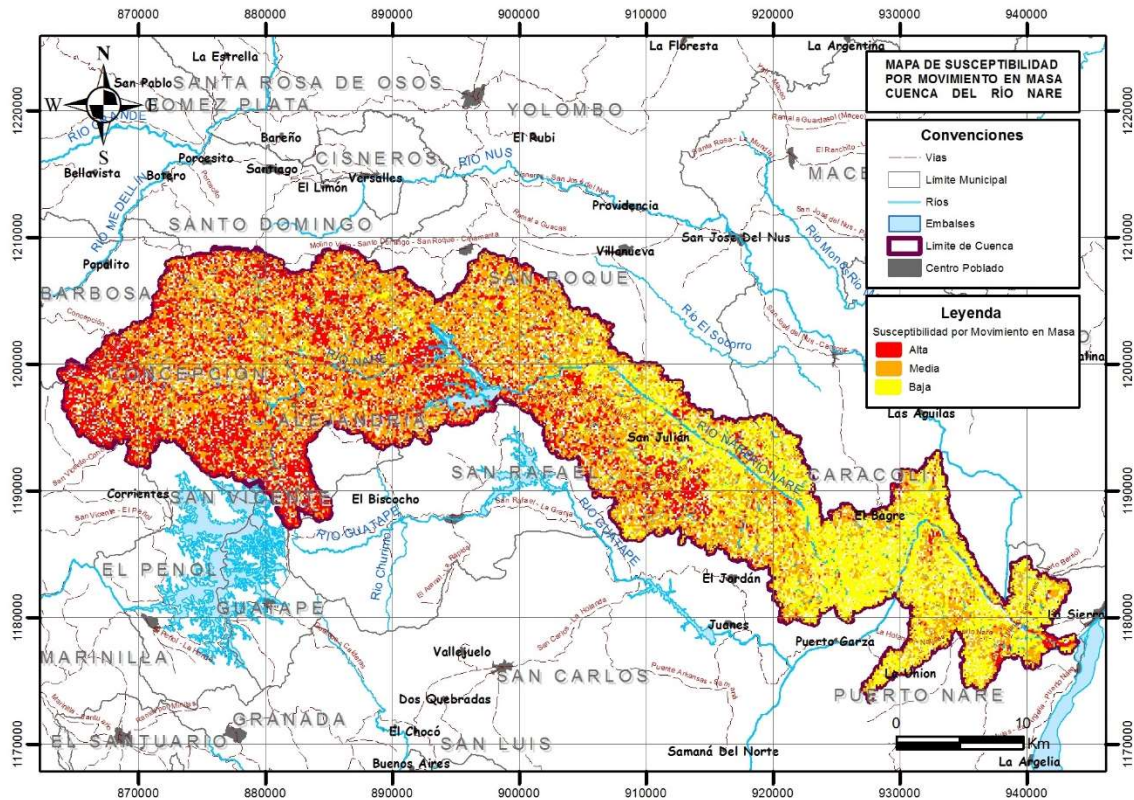


Figura 446. Susceptibilidad por movimiento en masa en la cuenca del Río Nare a partir de la función discriminante.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

En la Tabla 443 se presenta la distribución areal de las categorías de susceptibilidad; se puede apreciar que la categoría Media predomina en la cuenca con 35,6%, seguida de la Alta con 21% y por último la categoría Baja con 20,5%. Estos resultados son consecuentes con la realidad del territorio de la cuenca, el cual presenta en general susceptibilidad Alta en la parte alta de la cuenca donde se encuentran las zonas con mayores pendientes donde nacen las principales corrientes que drenan al Río Nare. La categoría Media predomina en las partes media y media-baja de la cuenca.

Tabla 443. Distribución en área de las categorías de susceptibilidad ante movimientos en masa.

CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD	AREA EN Has	AREA EN %
Alta	19.845,264986	21,013
Media	33.683,002803	35,665
Baja	19.413,13221	20,5557

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Amenaza ante Movimientos en Masa.

A continuación se presentan los pasos seguidos de acuerdo con la metodología establecida en el Protocolo, para la obtención de la amenaza ante movimientos en masa.

Paso 1. Asignar atributos geotécnicos a las unidades geológicas.

Este paso consistió en agregar los respectivos atributos de cohesión, ángulo de fricción y peso específico a los polígonos de las unidades geológicas. Esta información fue suministrada por el componente Geología, y consta de una serie de datos extraídos de ensayos de campo e información secundaria. Esta información resumida se presenta a continuación en la Tabla 444. Cada unidad geológica cartografiada por el componente Geología, se enlaza con las unidades de la Tabla 444 de acuerdo con la codificación de la Tabla 445.

Tabla 444. Parámetros geotécnicos de algunas unidades geológicas.

UNIDAD	Residuales de gneises		Residuales de esquistosas		Residuales de metamórficas masivas		Residuales de intrusivas		Residuales de ultramáficas		Residuales de sedimentarias		Aluviales		Depósitos de vertiente	
	1		2		3		4		5		6		7		8	
CÓDIGO	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
Peso unitario (KN/m ³)	18,4	1,6	18,4	0,9	18,1	1,1	17,5	1	16,7	2	17,4	1,42	16,5		17,4	2,4
Cohesión	39	23	31	7	32	25	27	5	25	12	2		0	0	23	21
Angulo de fricción (grados)	25	9	20	5	21	8	29	3	26	7	29		27		25	9
Angulo de fricción (radianes)	0,43633333	0,15708	0,34906667	0,08726667	0,36652	0,13962667	0,50614667	0,05236	0,45378667	0,12217333	0,50614667	0	0,47124	0	0,43633333	0,15708
Permeabilidad (cm/seg)	0,000006	0,000001	0,000004	0,000001	0,000006	0,000001	0,000005	0,000001	0,000004	0,000001	0,000003				0,000003	
Infiltración (cm/hora)	4,2	3,1	3,7	2,7	3,8	2,1	3,9	1,8					2,9	2	4	3

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Tabla 445. Codificación de las unidades geológicas encontradas y su asimilación con las unidades de la Tabla 444.

UNIDAD GEOLÓGICA CARTOGRAFIADA	CÓDIGO EN LA Tabla 444
Anfibolitas de La Ceja	1
Anfibolitas de Medellín	1
Batolito Antioqueño	4
Complejo Cajamarca – Esquistos de Ancón	2
Depósitos aluviales	7
Depósitos palustres	7
Depósitos antrópicos	8
Depósitos de ladera	8
Dunitas de Medellín	5
Gabro de Carrizales	4
Granofels de Normandia	1
Migmatitas de Puente Peláez	4
Neis de La Ceja	1
Neis Milonítico de Sajonia	1
Sedimentitas de La Fe	6
Terrazas	7
Batolito de Segovia	4
Dunitas	5
Esquistos grafiticos	2
Fm La Cristalina	6
Formación Mesa	6
Mármoles	NA
Neises cuarzofeldespáticos	1
Ortoneises graníticos	1
Sedimentitas de Segovia	6

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

En las Figura 447 a Figura 450 se presenta la espacialización de los parámetros geotécnicos.

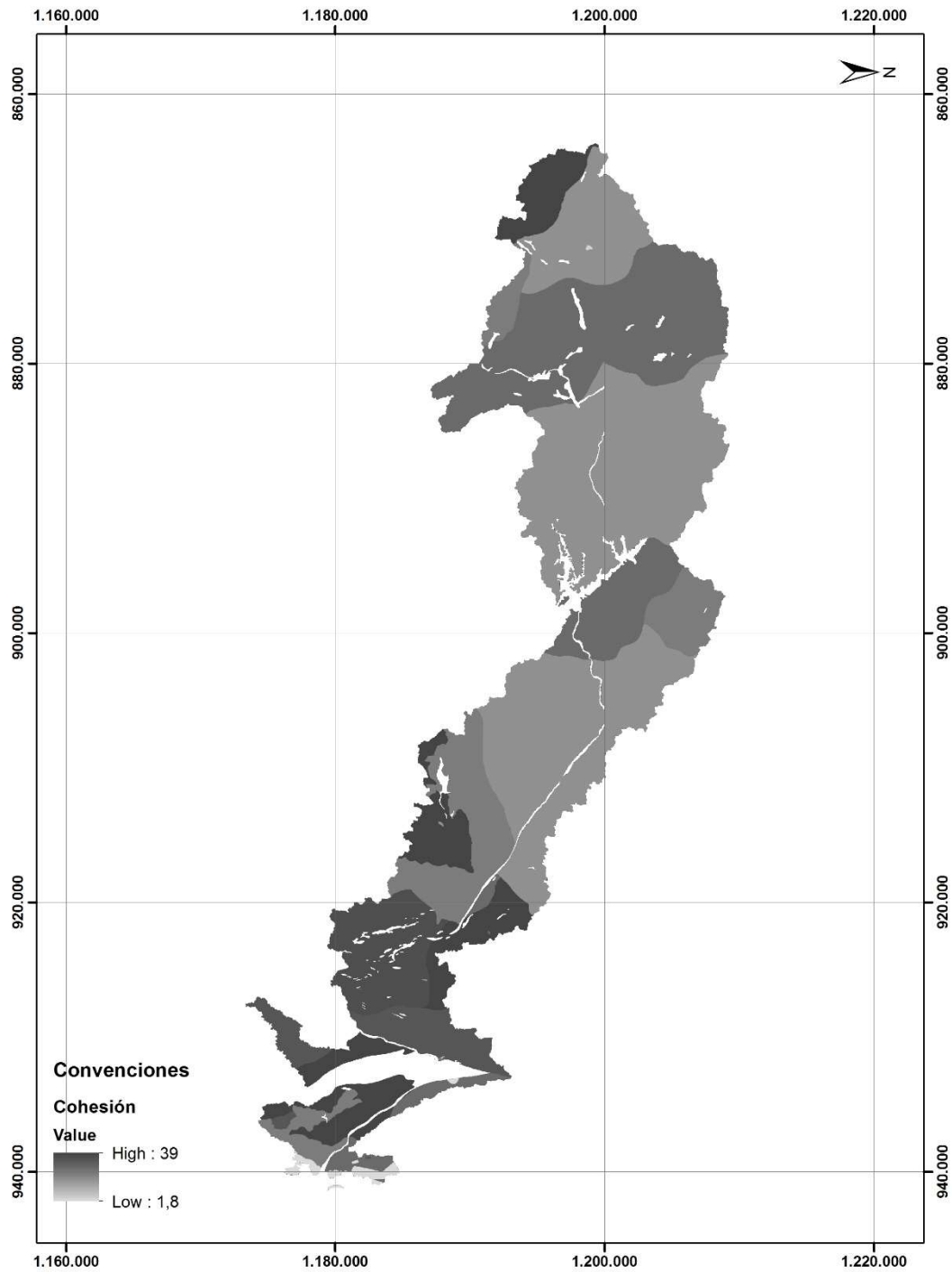


Figura 447. Espacialización de la cohesión.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

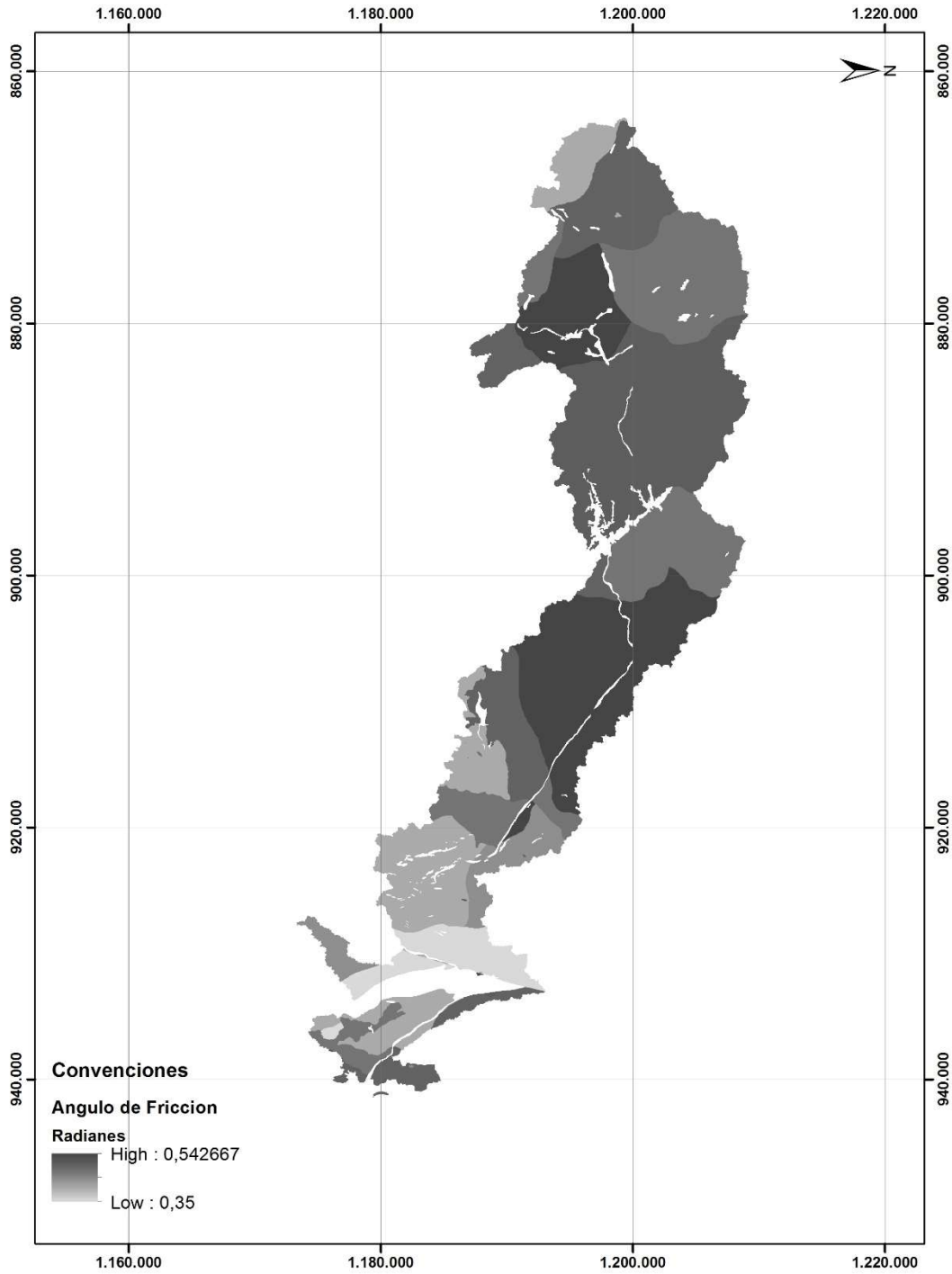


Figura 448. Espacialización del ángulo de fricción.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

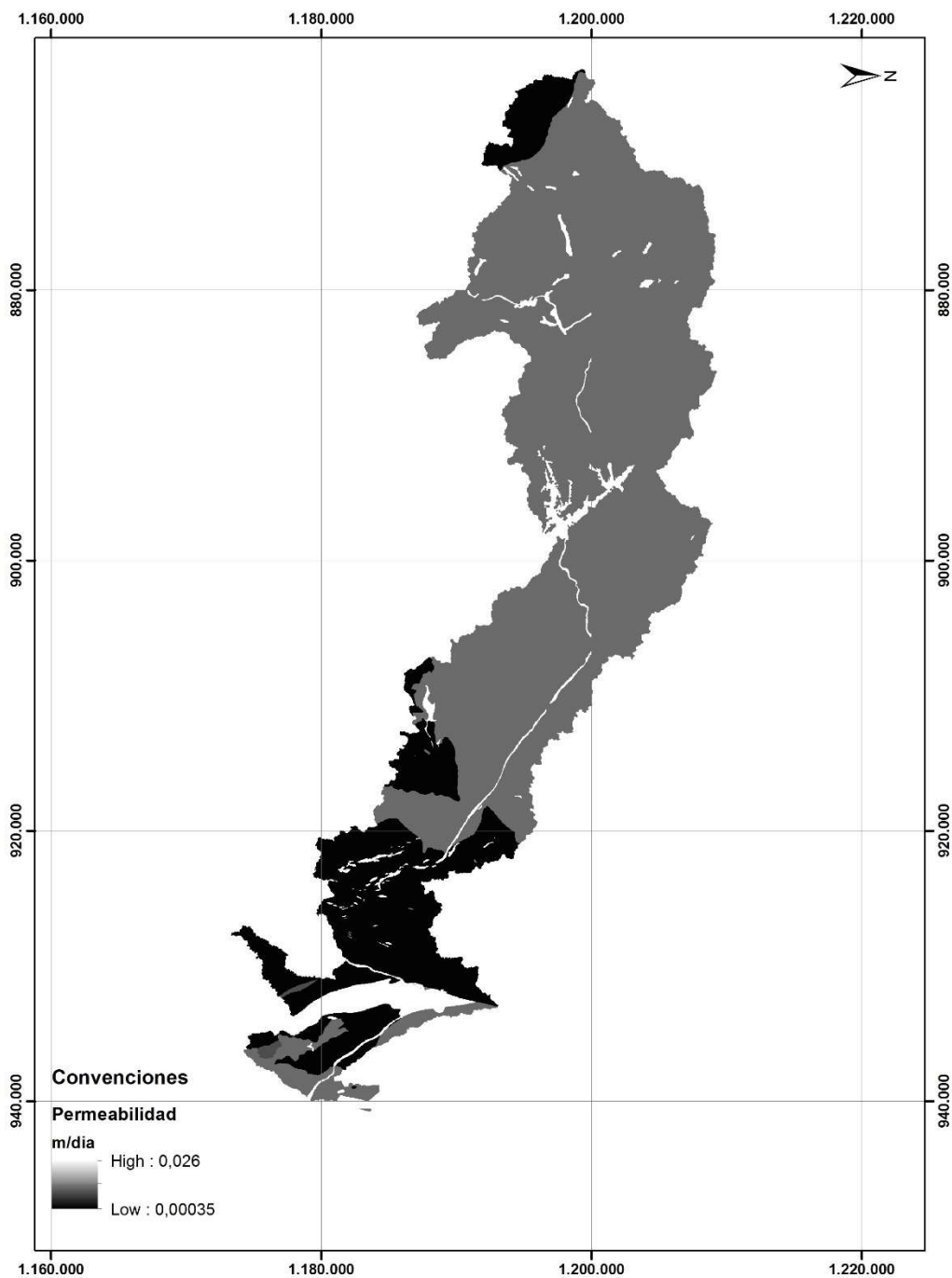


Figura 449. Espacialización de la permeabilidad.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

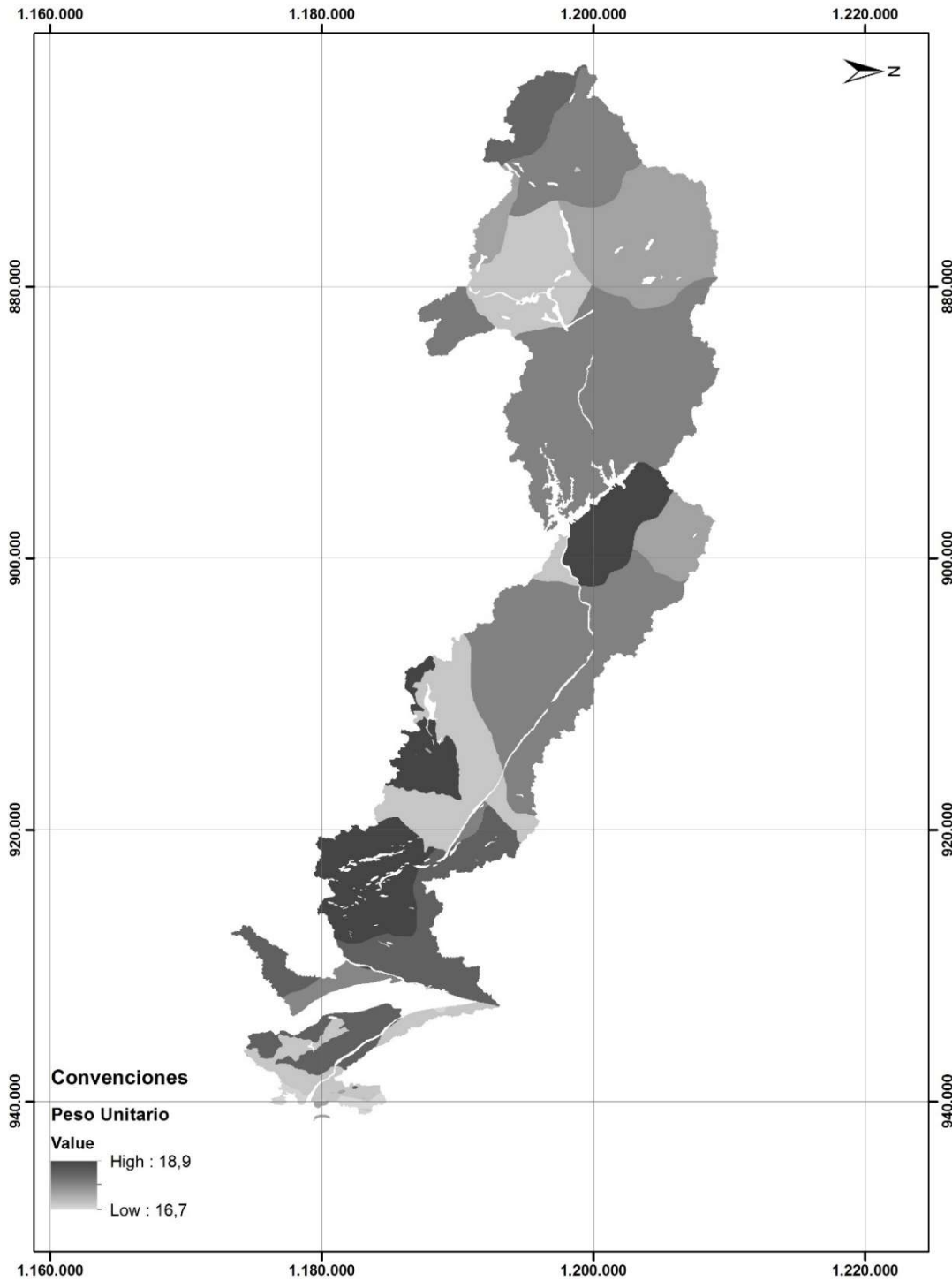


Figura 450. Espacialización del peso unitario.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Paso 2. Conversión de los polígonos de unidades geológicas a formato raster.

En este paso, se utilizó la herramienta **Polygon to Raster** del software ArcGIS 10.3 para generar archivos raster para cada parámetro de suelo en las distintas unidades geológicas existentes en la cuenca. Los argumentos ingresados son los siguientes:

Field:	c, phi, gam (uno cada vez)
Processing Extent:	el área de la cuenca [Cuenca_N]
Snap Raster:	el modelo de elevación digital de la cuenca [dem]
Cell Size:	10 m
Mask:	modelo de elevación digital de la cuenca [dem]

La Figura 451 presenta la información de unidades geológicas que fue utilizada.

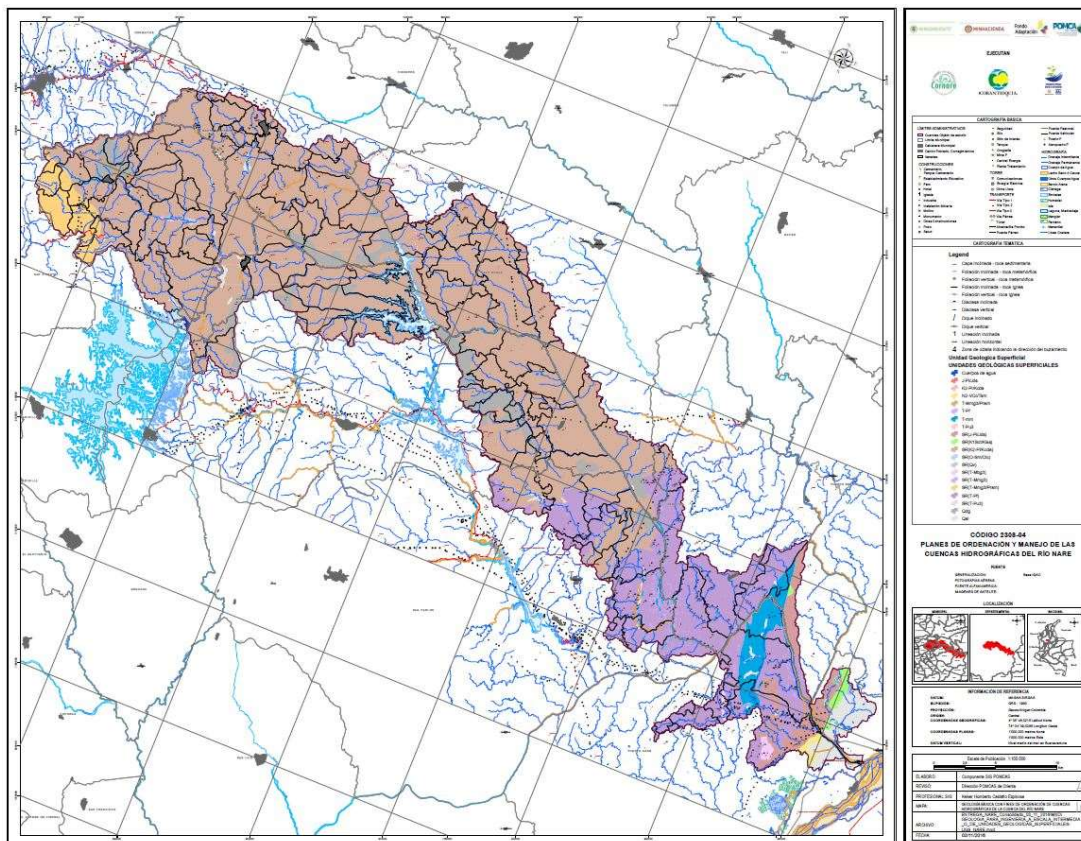


Figura 451. Mapa de unidades geológicas.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Paso 3. Generación del mapa de pendientes.

Para la generación de este mapa se usó la función Slope del software, utilizando como insumo principal el modelo de elevación digital.

Los argumentos ingresados son:

Output measurement: Degree
Z: 1

La pendiente fue clasificada en 5 rangos, con base en los criterios definidos en el Acuerdo Metropolitano 09 de 2012 (AMVA, 2012), que parte de la clasificación de las pendientes en función de su estabilidad para labores de planificación en el Valle de Aburrá, definiendo cuatro categorías básicas, a las cuales para el presente estudio se adiciona una quinta, con el fin de dar mayor detalle a un rango que se considera muy amplio en el documento original.

Tabla 446. Clasificación de las pendientes para el cálculo de la amenaza ante movimientos en masa.

RANGO DE PENDIENTE (grados)	CLASIFICACIÓN
0-5	Baja
>5-15	Moderada
>15-30	Alta
>30-45	Muy Alta
>45	Escarpada

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

La Figura 452 presenta la salida gráfica de pendientes que fue utilizada para el análisis.

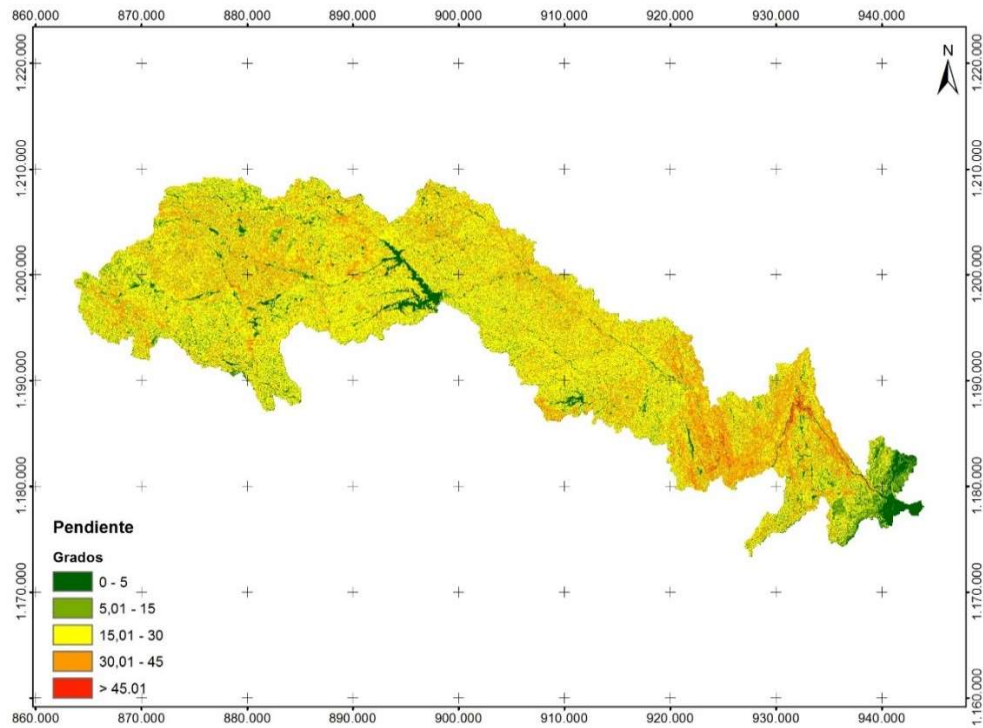


Figura 452. Mapa de pendientes.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Paso 4. Obtención de los raster asociados a la pendiente.

Con el mapa de pendientes se procedió a generar archivos raster para:

- Seno de la pendiente [sen_pen]
- Coseno de la pendiente [cos_pen]
- Coseno2 de la pendiente [cos_cua_pen]

Paso 5. Obtención del mapa de TanPhi.

Para la obtención de este mapa fue necesario convertir el raster de ángulo de fricción [phi] a radianes.

La fórmula para hacer esta conversión fue:

$$\text{Phi} * 3,1415926535 / 180$$

Una vez obtenido el raster del ángulo Phi en radianes se procedió a calcular la tan de este raster. La fórmula aplicada fue:

$$\text{Tan } (\text{Phi}_{\text{rad}})$$

Paso 6. Consideración del Nivel Freático.

La posición del nivel freático es un factor fundamental en la estabilidad de una vertiente, por lo tanto su determinación es clave dentro de cualquier cálculo de este tipo. El presente desarrollo plantea diferentes escenarios de periodo de retorno para el cálculo del Factor de Seguridad en estabilidad de taludes, por lo que se hace necesario calcular el nivel freático para dichos periodos de retorno.

Existen numerosos modelos que buscan determinar la variación de los niveles de agua en un suelo, en relación con eventos extremos de lluvia, donde se tienen modelos de medición directa en campo con piezómetros, criterio de expertos, modelos conceptuales y físicos apoyados en herramientas de Sistemas de Información Geográfica, como son el SHIA y el SHALSTAB entre otros (Aristizabal et al, 2015 y Aristizabal, Vélez et al 2015) y modelos de tipo determinístico como el de Mora-Vahrson (1994) u Ocampo Araya (2016).

Todos los modelos o métodos antes planteados tiene sus ventajas y desventajas, y su escogencia depende de factores como escala de trabajo y variables requeridas y consideraciones de su aplicabilidad en medios tropicales húmedos con regolitos espesos como es el caso en estudio, donde los modelos antes mencionados han sido trabajados en Colombia (SHALSTAB, SHIA) o en medios similares como Costa Rica, Venezuela, Nicaragua como los métodos de Mora-Vahrson y Ocampo, todos a nivel de cuencas de pocos kilómetros cuadrados y en ningún caso a nivel macro.

La profundidad del nivel piezométrico se ha obtenido mediante la combinación hidrológica simple para la generación de presión de poro para un talud infinito. Esta combina la ley de Darcy y se asume que el flujo subterráneo poco profundo sigue el gradiente topográfico. Este es un método habitual utilizado en programas como el SINMAP o SHALSTAB.

La combinación de estas dos ecuaciones da como resultado la expresión siguiente:

$$d = \left(\frac{I}{K}\right) \left(\frac{A}{b \sin \theta}\right)$$

Ecuación 11. Profundidad de la tabla de agua.

Donde:

d: la profundidad del nivel piezométrico

I: infiltración expresada como % de la Precipitación

K: permeabilidad

A: Área de aportación

b: Longitud de circulación de caudal

θ : ángulo de la pendiente

Así con estos valores, se procedió a aplicarlos a los valores de lluvia máximos para los escenarios de lluvia máxima de los años 2, 20, 50 y 100 y se obtuvo el valor de m (profundidad del nivel piezométrico), requerido en la ecuación de Factor de Seguridad. Este procedimiento se realizó mediante la reclasificación de los valores de lluvia generados en archivo Raster, y cuyos resultados se presentan en la carpeta valoresdem (Anexo 8.6). En la Figura 453 a Figura 456 se presentan las imágenes de estos valores de lluvia para los periodos de retorno especificados.

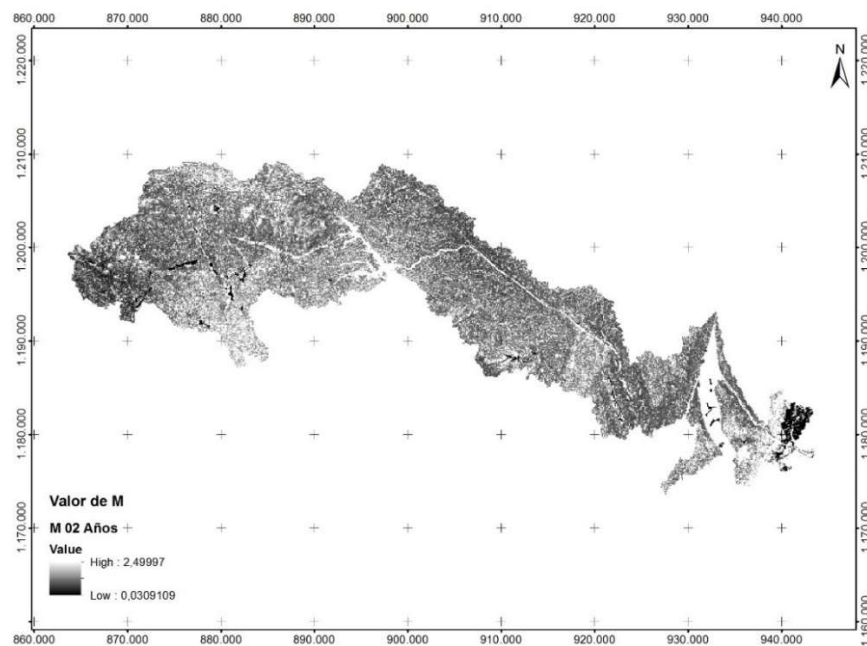


Figura 453. Valores de lluvia para retorno de 2 años.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

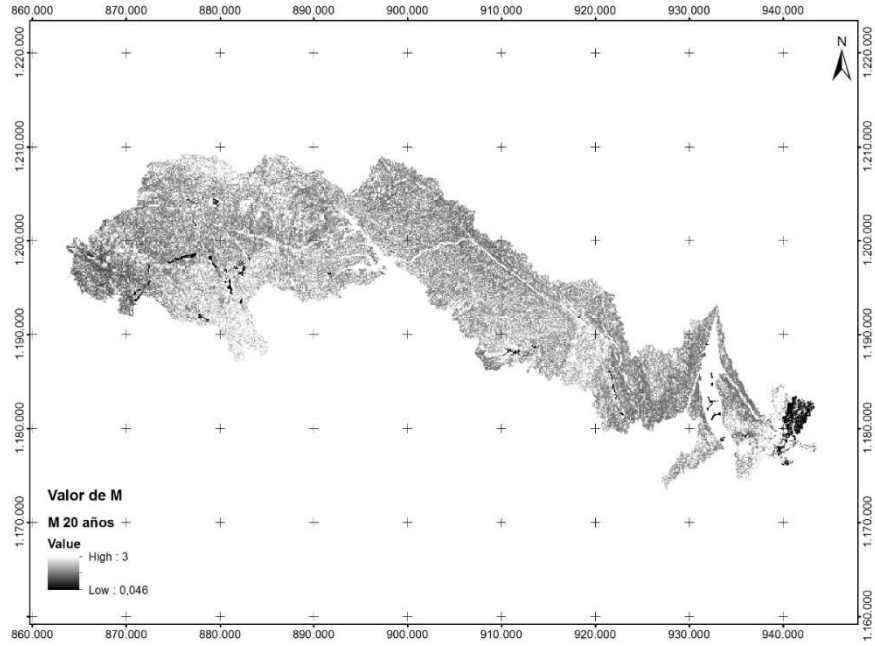


Figura 454. Valores de lluvia para retorno de 20 años.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

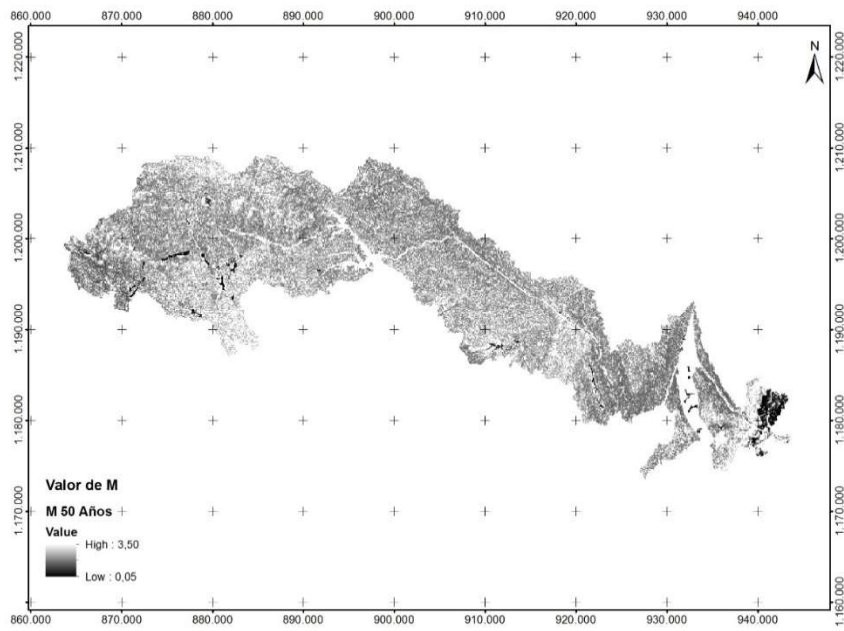


Figura 455. Valores de lluvia para retorno de 50 años.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

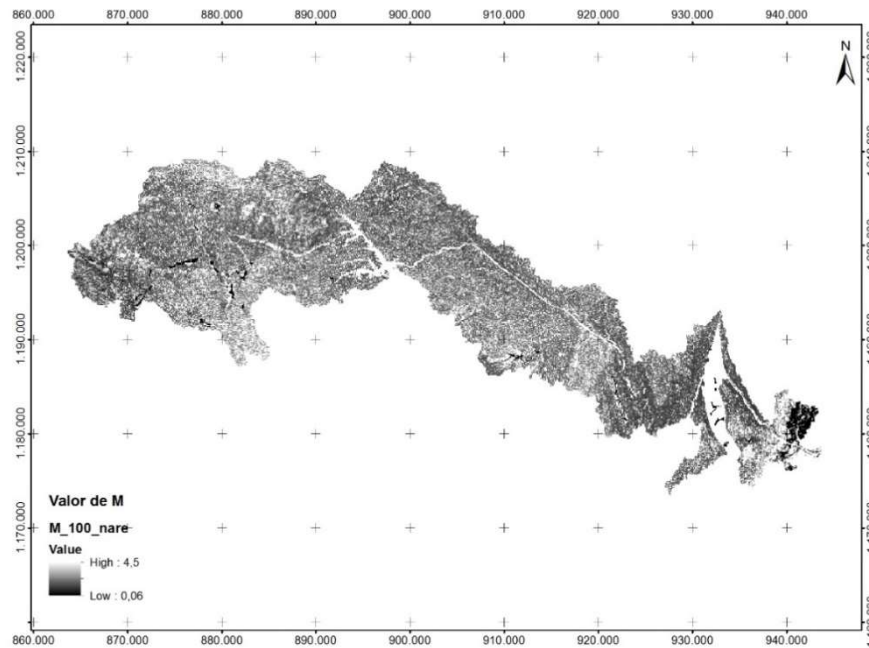


Figura 456. Valores de lluvia para retorno de 100 años.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Paso 7. Remuestreo de los raster de Nivel Freático.

Desde el componente Geología se allegó información de niveles freáticos de la zona de estudio considerando períodos de retorno de 2, 20, 50 y 100 años. A estos raster, si bien estaban con resolución de 10 metros, fue necesario aplicar una función de remuestreo, pues es importante que exista una correspondencia de pixeles en todos los archivos raster que intervienen en el análisis, es decir, que la coordenada X, Y de la esquina inferior izquierda de cada pixel Pij, corresponda con la coordenada X, Y de la esquina inferior izquierda de cada pixel Qij.

Para operativizar esta idea se utilizó la herramienta **Resample** del software. Los argumentos ingresados para esta herramienta fueron:

Output Cell Size X: 10

Output Cell Size Y:	10
Resampling Technique:	Nearest
Processing Extent:	el área de la cuenca [Cuenca_N]
Snap Raster:	el modelo de elevación digital de la cuenca [dem]
Mask:	modelo de elevación digital de la cuenca [dem]

Paso 8. Consideración de la Amplificación Sísmica.

Dentro de la ecuación propuesta para el cálculo de Factor de Seguridad (FS), para falla planar en talud infinito, la variable que involucra la influencia de la actividad sísmica tiene dos componentes: la Aceleración Horizontal y la Amplificación Sísmica.

La Aceleración Horizontal corresponde a aquellos valores máximos de aceleración asignados a una zona o región, de acuerdo a estudios técnicos. En Colombia este parámetro está definido en el Mapa de amenaza sísmica y Aceleración (NSR 10), que para la zona de trabajo plantea un valor de 0.1 lo que la califica en categoría Intermedia a nivel nacional, donde este mapa considera los valores menores a 0.1 bajos y mayores a 0.2 altos.

La Amplificación Sísmica, también conocida como Efectos Locales, plantea que los efectos del sismo se ven incrementados por las características de los lugares donde se presenta el evento y que involucran los materiales que conforman la zona afectada, ya sea suelo o rocas y el relieve.

Para la amplificación sísmica por las características de los materiales que conforman el perfil de suelo o roca, en el título A de la NSR 10, se califican 6 tipos de perfiles (Tabla 447) y que van desde roca fresca competente, como la mejor categoría, hasta suelos expansibles, orgánicos o licuables, como la categoría de mayor amplificación, esta última requiriendo de estudios específicos de sitio para evaluar su aplicación.

Tabla 447. Clasificación de los perfiles de suelo según la NSR-10.

TIPO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN	DEFINICIÓN
A	Perfil de roca competente	$vs \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > vs \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$760 \text{ m/s} > vs \geq 360$ m/s $N \geq 50$, o $su \geq 100$ kPa ($>=1$ kgf/cm ²)

TIPO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN	DEFINICIÓN
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$360 \text{ m/s} > v_s \geq 180 \text{ m/s}$ $50 > N \geq 15$, o $100 \text{ kPa} (>=1 \text{ kgf/cm}^2) > s_u \square 50 \text{ kPa} (>=0.5 \text{ kgf/cm}^2)$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$180 \text{ m/s} > v_s$ $IP > 20$ $w \geq 40\%$ $50 \text{ kPa} (=0.50 \text{ kgf/cm}^2) > s_u$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: F1 — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. F2 — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). F3 — Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con Índice de Plasticidad IP > 75) F4 — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 36 m)	

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Tabla 448. Valores de amplificación para aceleración de 0.1 por tipo de perfil según la NSR-10.

TIPO PERFIL	ACELERACIÓN ≤ 0.1
A	0.8
B	1.0
C	1.2
D	1.6
E	2.5
F	Para cada sitio

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

De acuerdo a la tabla anterior y lo descrito en el título de la norma mencionada, para la cuenca del Río Nare se consideraron 3 amplificaciones por tipo de perfil como se muestra en la Tabla 449.

Tabla 449. Valores de amplificación sísmica por tipo de perfil (Basado en NSR 10).

TIPO PERFIL	CARACTERÍSTICAS	AMPLIFICACIÓN
A	Espesor de suelo menor de 0,5	0,8 veces aceleración base

TIPO PERFIL	CARACTERÍSTICAS	AMPLIFICACIÓN
B	Suelo entre 0,5-10	1 veces aceleración base
D	Espesor de suelos mayor de 10	1,6 veces aceleración base

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

El perfil tipo A es en aquellas zonas donde aflora roca o donde los espesores de suelo son mínimos, como se observa en la tabla, y se considera roca competente, ya que las rocas que afloran en la cuenca del Río Nare, pertenecen al Macizo Metamórfico de la Cordillera Central.

El perfil Tipo B, el cual es asignado a rocas de rigidez media, se asignó en zonas donde se presenta perfil de roca a poca profundidad, menor de 10 m, ya que las características para asignar los tipos de perfiles de suelo, consideran velocidades de onda promedio para perfiles de más de 30 m de espesor del material, así, si se define un tipo de perfil a zonas con nivel de roca superficial, se genera una sobrevaloración de la amplificación.

El perfil Tipo D se asignó a aquellos perfiles con más de 10 m de suelo de forma generalizada en toda la cuenca, esto considerando que los suelos tienen valores de compresión que cumplen este criterio, pero su velocidad de onda no permite clasificarlos como Tipo C.

En la cuenca del Río Nare no se clasificaron suelos Tipo E y F, los cuales son de muy bajas características y alta amplificación.

La amplificación por relieve o topografía plantea que la forma de las vertientes genera efectos que amplifican la onda de un sismo y por ende sus efectos y a este respecto la NSR 10 en su numeral A 2.4.5.7, plantea que estos efectos serán definidos a partir de estudios de zonificación a nivel municipal, como por ejemplo Estudio de Microzonificación Sísmica del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (GSM, 2002), entre otros, y si no existen dichos estudios, se deberán realizar estudios particulares de sitio, dando a entender así que es algo de carácter detallado.

Los primeros estudios en considerar la influencia del relieve en los efectos de un sismo fueron Idriss and Seed, 1967 (en Messaoudi, et al 2012) y a partir de dicho trabajo se han presentado desarrollos de tipo experimental y de evidencias de campo que han documentado ampliamente este fenómeno, entre los que se encuentra el sismo de Armenia 1998 referenciado por Restrepo and Cowan, 2000 (en Messaoudi, et al 2012).

Los estudios muestran que se tiene numerosas variables que pueden afectar la aplicación por relieve como son amplitud de la onda, atenuación de suelos, relación del relieve local, rigidez del suelo, frecuencia natural del suelo, frecuencia de la topografía, entre otros, como los reportan autores como

Messaoudi et al (2012), Shafique et al (2001), Ashford et al (1997), Massa et al (2012) y Silva (2015), aunque no existe coincidencia de cómo y en qué porcentaje es la influencia de estas variables.

Dado lo anterior, es de esperar diversas aproximaciones para determinar la amplificación por efecto del relieve. Para el presente estudio se escogió el parámetro definido en el Eurocodigo 8 parte 5, que propone valores de amplificación de 1.4 veces para vertientes mayores a 30°, la cual fue la que el equipo de expertos asumió para el análisis. Para obtener este resultado, se tomó el raster de Pendientes y se reclasificó, de acuerdo al criterio antes expuesto, generando el archivo *NA_amp_topo*.

El estudio “Panorama de la Amenaza Sísmica en los 26 Municipios de la Jurisdicción de CORNARE (2012), señala que “en los municipios de la jurisdicción de CORNARE se han registrado 252 sismos hasta febrero de 2012, los cuales tienen magnitud variable entre 0.6 y 4.5 en la escala de Richter y profundidades entre 0 y 400 Km, siendo los superficiales los más comunes con profundidades menores a 40 Km. Según los datos instrumentales los sismos desde 1993, han sido continuos y con magnitudes entre 2 y 3 con escasos eventos que sobrepasan estas magnitudes”. Sin embargo, dice que “en la región del Valle de San Nicolás, se han identificado indicios de actividad neotectónica, se ha establecido la ocurrencia de paleoterremotos desde hace 880.000 años hasta 37.000 años como mínimo, donde se estimaron magnitudes de sismos cercanos a 6.4 en promedio en la escala de Richter”. Esta información fue tomada en consideración en el análisis del factor sísmico para efectos del presente análisis.

Paso 9. Generación del raster de amplificación sísmica α .

Para la obtención del raster de coeficiente de aceleración y amplificación sísmica se consideraron los análisis y las reflexiones al interior del equipo de expertos del componente Riesgos, concluyendo que la amplificación es el resultado de sumar la aceleración base más las amplificaciones. De lo anterior, se infiere la siguiente ecuación:

$$\text{Factor de Aceleración} = \text{Aceleración base} + \text{amplificación topografía} + \text{amplificación terreno}$$

Ecuación 12. Factor de aceleración.

La aceleración base es 0.1 para toda la zona de estudio.

La amplificación por topografía es:

- Para terrenos con pendiente mayor a 40°, es 1.4 veces equivalentes a 0.24.
- Para terrenos menores a 40°, no hay aceleración, así que el factor queda en 0.1.

Desde el punto de vista operativo en el software ArcGIS, el raster de factor de aceleración se obtiene mediante la herramienta Raster Calculator, donde la sentencia es como se muestra a continuación:

Con (pend < 40, 0.1, 0.24)

Al ejecutar la operación se genera un raster el cual se denominó [**caas**].

La Figura 457 presenta el resultado gráfico del análisis de amplificación sísmica.

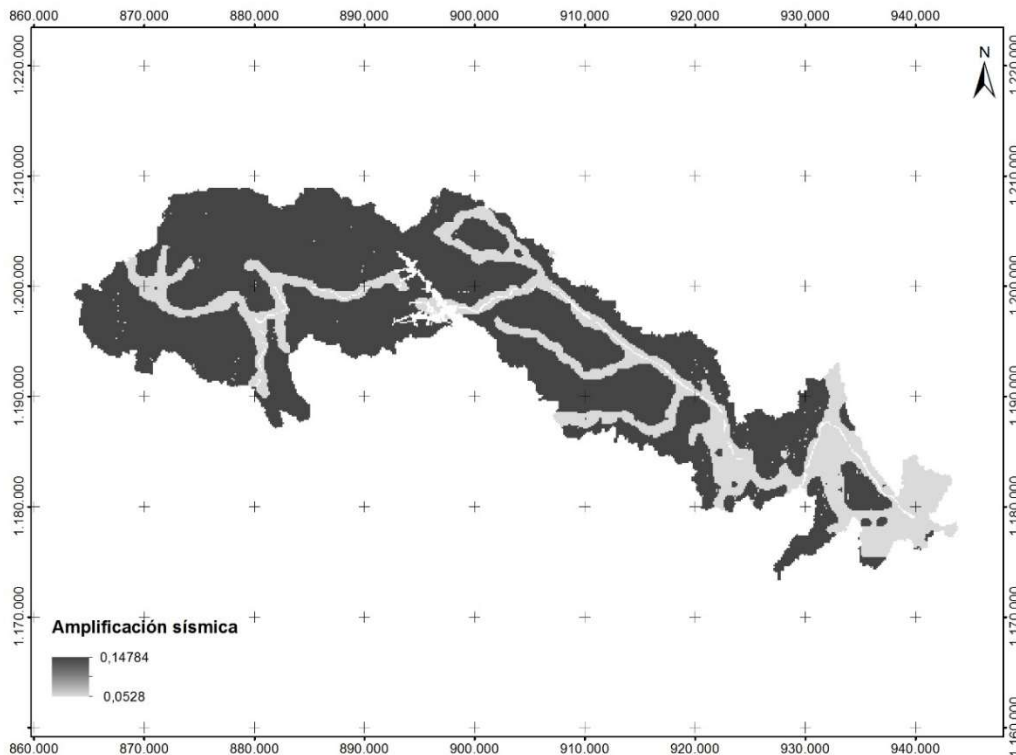


Figura 457. Mapa de amplificación sísmica.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Paso 10. Obtención de los factores de seguridad para los 10 escenarios propuestos.

Para la obtención de estos factores se utilizó la siguiente fórmula, dada desde el Protocolo:



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

Donde:

c' = intercepto de cohesión

ϕ' = ángulo de fricción

γ = peso unitario de la capa de suelo

β = inclinación del terreno

α = coeficiente de aceleración horizontal y amplificación sísmica

h = espesor de la capa de suelo

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

FS = Factor de seguridad

La profundidad del nivel piezométrico se ha obtenido mediante la combinación hidrológica simple para la generación de presión de poro para un talud infinito. Esta combina la ley de Darcy y se asume que el flujo subterráneo poco profundo sigue el gradiente topográfico. Este es un método habitual utilizado en programas como el SINMAP o SHALSTAB.

La combinación de estas dos ecuaciones da como resultado la expresión siguiente:

$$d = \left(\frac{I}{K}\right) \left(\frac{A}{b \sin \theta}\right)$$

Ecuación 13. Profundidad de la tabla de agua.

Donde:

d la profundidad del nivel piezométrico

I infiltración expresada como % de la Precipitación

K permeabilidad

A: Área de aportación

b: Longitud de circulación de caudal

θ ángulo de la pendiente

En relación con la variable h “espesor de la capa de suelo”, se ha tomado con un valor de 5 m. Esto se justifica desde dos vías:

- El trabajo de campo realizado permitió determinar que la profundidad frecuente en los deslizamientos ocurridos no supera el espesor mencionado.

- Estudios como el realizado por Terlien (1998) citado por Aristizábal et al (2010), concluyen que para ambientes tropicales de montaña, los movimientos detonados por lluvias antecedentes pueden alcanzar superficies de falla de 6 m, aunque los suelos con alta porosidad efectiva producen generalmente deslizamientos superficiales.

Por otra parte, y de acuerdo a la metodología explicada en el Protocolo, es necesario realizar el análisis para 10 escenarios, los cuales se muestran a continuación:

Tabla 450. Escenarios para evaluar la amenaza ante movimientos en masa.

Escenario	periodo de retorno	
	Precipitación	Sismicidad
1	SECA	CON SISMO
2	SECA	SIN SISMO
3	2	CON SISMO
4	2	SIN SISMO
5	20	CON SISMO
6	20	SIN SISMO
7	50	CON SISMO
8	50	SIN SISMO
9	100	SIN SISMO
10	100	CON SISMO

Fuente: Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (MINAMBIENTE-MINHACIENDA-FONDO ADAPTACIÓN, 2014)

Siendo consecuentes con esta metodología, se procedió a generar archivos raster que representan el Factor de Seguridad (FS) para los 10 escenarios propuestos. A continuación se muestran las sentencias ingresadas al software ArcGIS para los 10 cálculos.

Escenario 1

$$("c" + ("gam" * 5 * "cos_cuad_pen" - "caas" * 5 * "gam" * "sen_pen" * "cos_pen") * "tan_phirad") / ("gam" * 5 * "sen_pen" * "cos_pen" + "caas" * "gam" * 5 * "cos_cuad_pen")$$

R/: fs_esc_1

Escenario 2

$$("c" + ("gam" * 5 * "cos_cuad_pen" * "tan_phirad")) / ("gam" * 5 * "sen_pen" * "cos_pen")$$

R/: fs_esc_2

Escenario 3

$$\frac{("c" + ("gam" * 5 * "cos_cuad_pen" - "caas" * 5 * "gam" * "sen_pen" * "cos_pen" - "nf_02" * 9.8 * "cos_cuad_pen")) * "tan_phirad")}{("gam" * 5 * "sen_pen" * "cos_pen" + "caas" * "gam" * 5 * "cos_cuad_pen")}$$

R/: fs_esc_3

Escenario 4

$$\frac{("c" + ("gam" * 5 * "cos_cuad_pen" - "nf_02" * 9.8 * "cos_cuad_pen")) * "tan_phirad")}{("gam" * 5 * "sen_pen" * "cos_pen")}$$

R/: fs_esc_4

Escenario 5

$$\frac{("c" + ("gam" * 5 * "cos_cuad_pen" - "caas" * 5 * "gam" * "sen_pen" * "cos_pen" - "nf_20" * 9.8 * "cos_cuad_pen")) * "tan_phirad")}{("gam" * 5 * "sen_pen" * "cos_pen" + "caas" * "gam" * 5 * "cos_cuad_pen")}$$

R/: fs_esc_5

Escenario 6

$$\frac{("c" + ("gam" * 5 * "cos_cuad_pen" - "nf_20" * 9.8 * "cos_cuad_pen")) * "tan_phirad")}{("gam" * 5 * "sen_pen" * "cos_pen")}$$

R/: fs_esc_6

Escenario 7

$$\frac{("c" + ("gam" * 5 * "cos_cuad_pen" - "caas" * 5 * "gam" * "sen_pen" * "cos_pen" - "nf_50" * 9.8 * "cos_cuad_pen")) * "tan_phirad")}{("gam" * 5 * "sen_pen" * "cos_pen" + "caas" * "gam" * 5 * "cos_cuad_pen")}$$

R/: fs_esc_7

Escenario 8

$$("c" + ("gam" * 5 * "cos_cuad_pen" - "nf_50" * 9.8 * "cos_cuad_pen") * "tan_phirad") / ("gam" * 5 * "sen_pen" * "cos_pen")$$

R/: fs_esc_8

Escenario 9

$$("c" + ("gam" * 5 * "cos_cuad_pen" - "nf_100" * 9.8 * "cos_cuad_pen") * "tan_phirad") / ("gam" * 5 * "sen_pen" * "cos_pen")$$

R/: fs_esc_9

Escenario 10

$$("c" + ("gam" * 5 * "cos_cuad_pen" - "caas" * 5 * "gam" * "sen_pen" * "cos_pen" - "nf_100" * 9.8 * "cos_cuad_pen") * "tan_phirad") / ("gam" * 5 * "sen_pen" * "cos_pen" + "caas" * "gam" * 5 * "cos_cuad_pen")$$

R/: fs_esc_10

Las Figura 458 a Figura 467 presentan el resultado del Factor de Seguridad para cada uno de los 10 escenarios modelados. Los archivos adjuntos en el Anexo 8.6 se entregan con los resultados totales y reclasificados así:

< 1.2 = 1: Equivale a Bajo

1.2-1.5 = 2 Equivale a Medio

> 1.5 = 3 y equivale a alto

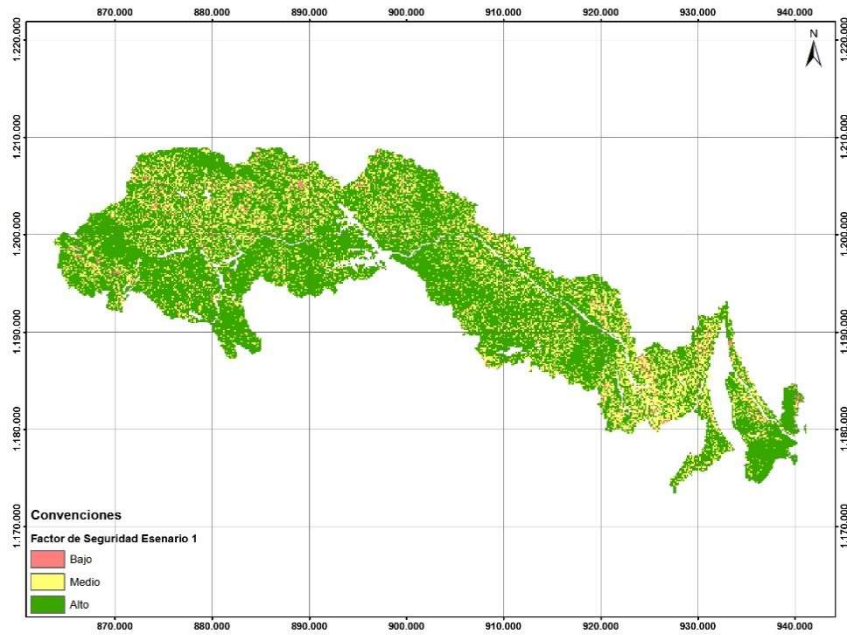


Figura 458. Factor de Seguridad para el Escenario 1 (condición seca con sismo).

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

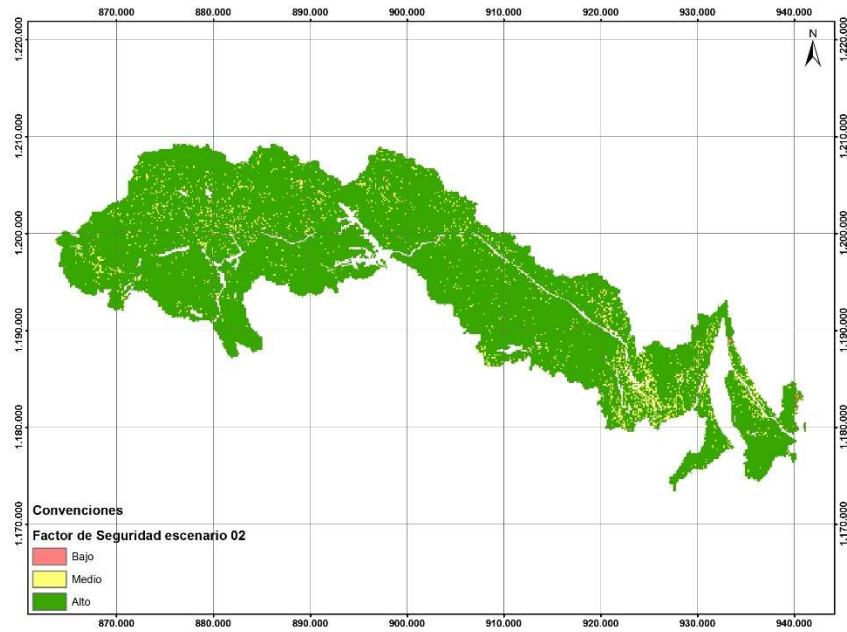


Figura 459. Factor de Seguridad para el Escenario 2 (condición seca sin sismo).

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

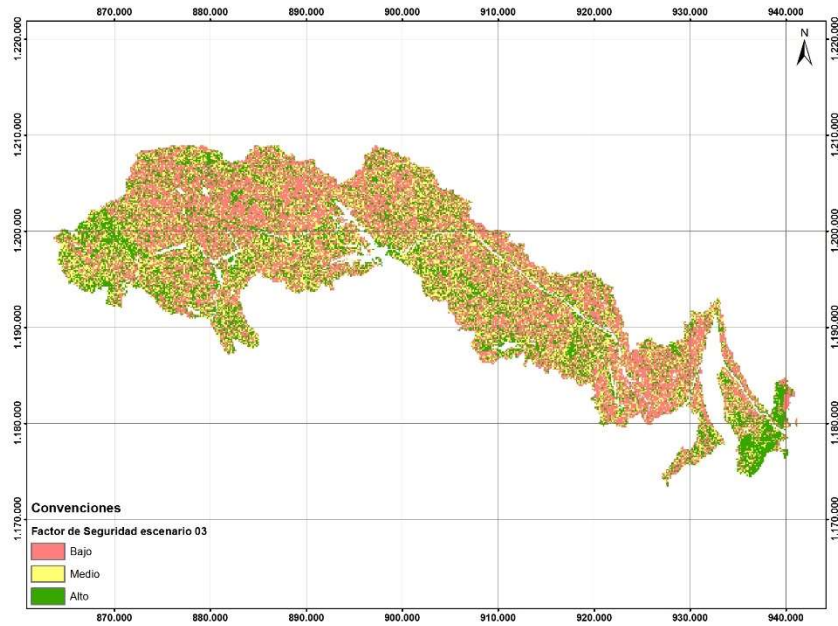


Figura 460. Factor de Seguridad para el Escenario 3 (Tr 2 con sismo).

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

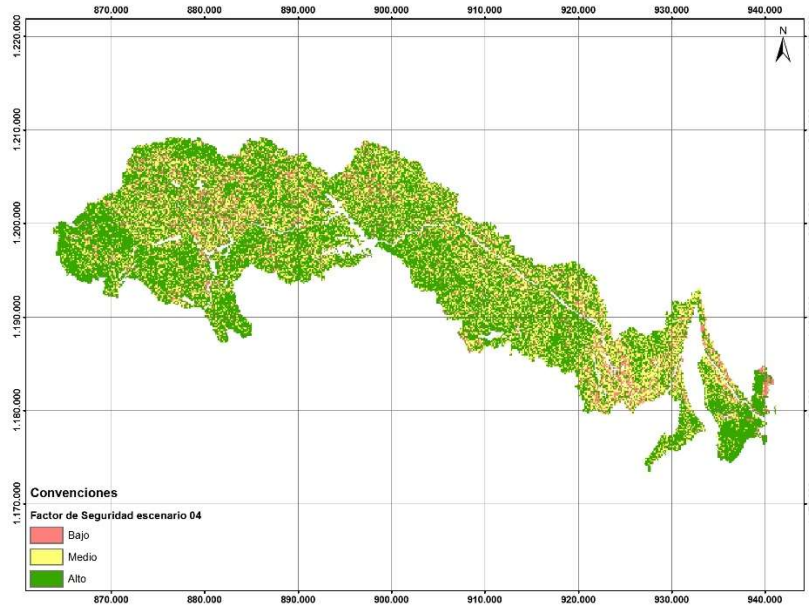


Figura 461. Factor de Seguridad para el Escenario 4 (Tr 2 sin sismo).

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

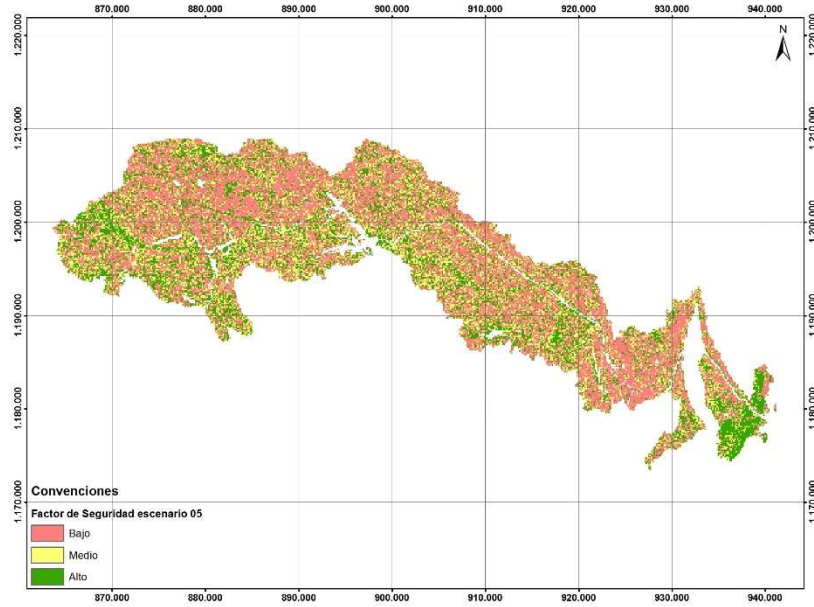


Figura 462. Factor de Seguridad para el Escenario 5 (Tr 20 con sismo).

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

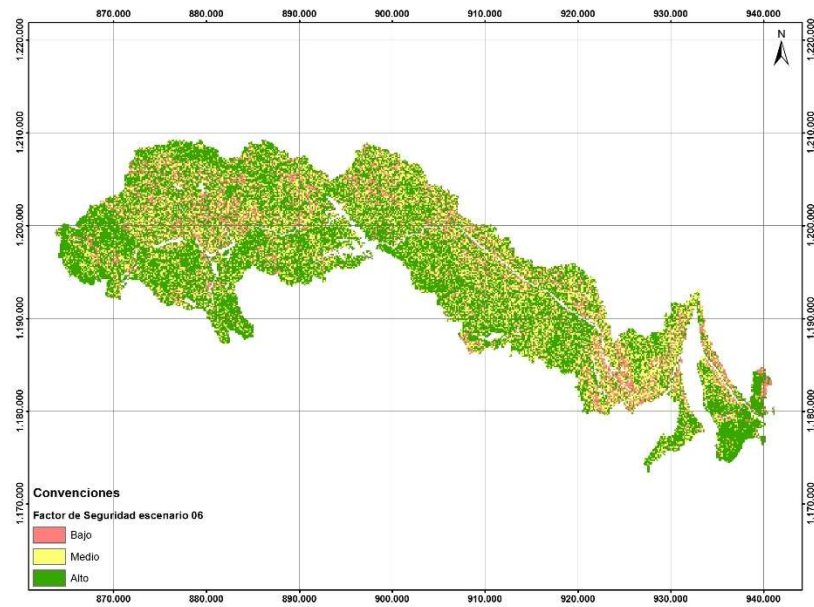


Figura 463. Factor de Seguridad para el Escenario 6 (Tr 20 sin sismo).

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

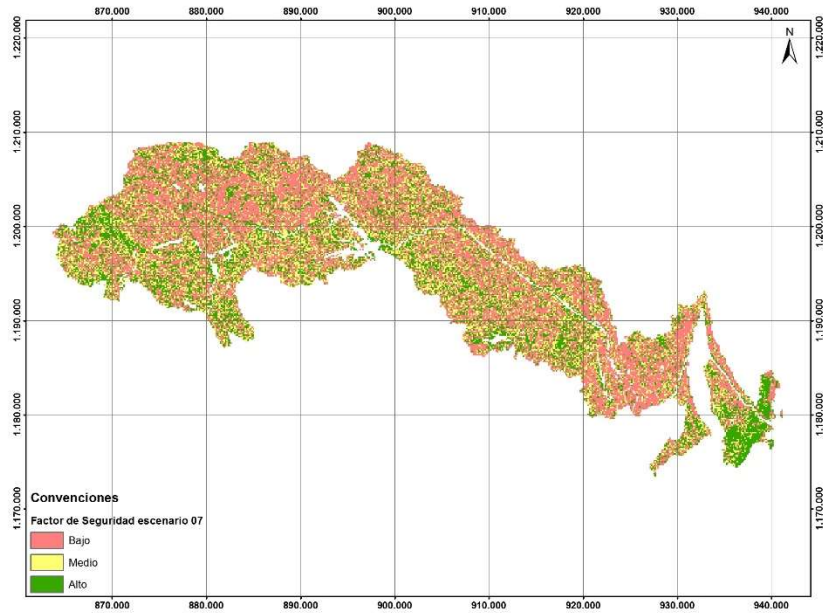


Figura 464. Factor de Seguridad para el Escenario 7 (Tr 50 con sismo).

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

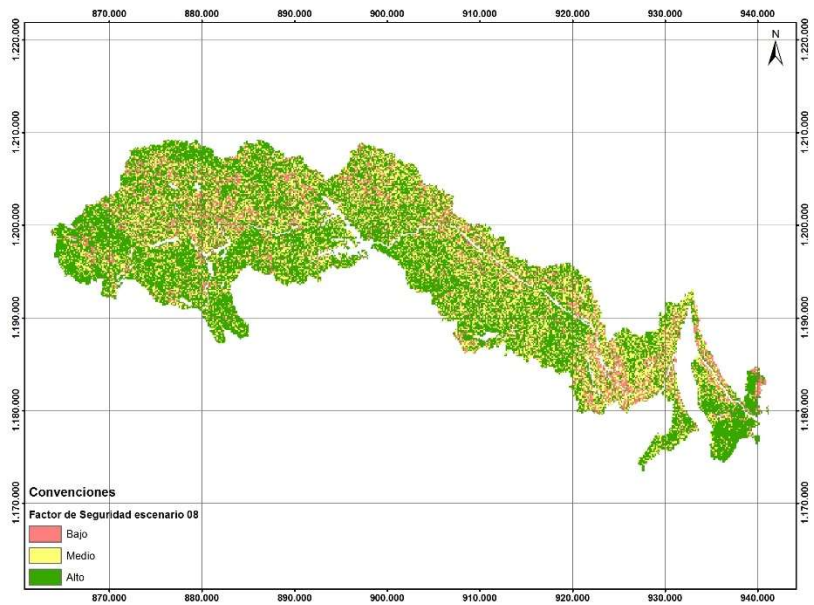


Figura 465. Factor de Seguridad para el Escenario 8 (Tr 50 sin sismo).

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

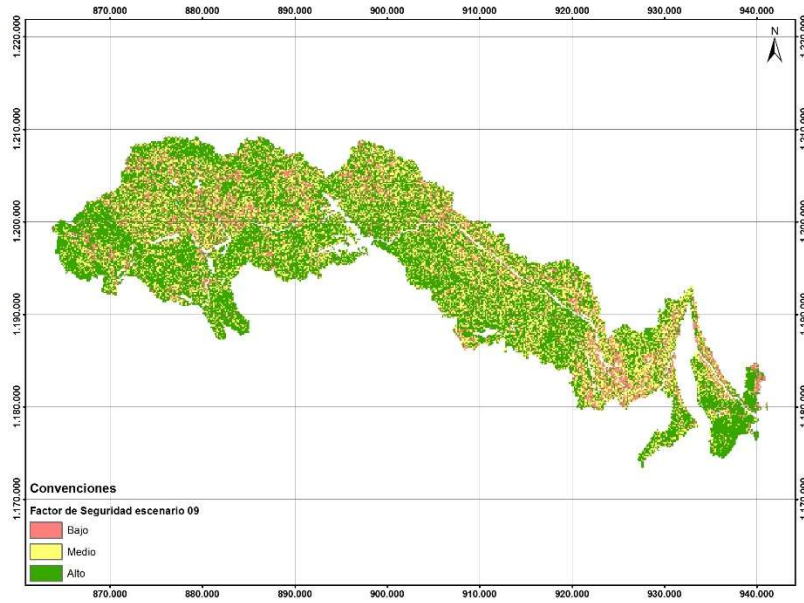


Figura 466. Factor de Seguridad para el Escenario 9 (Tr 100 sin sismo).

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

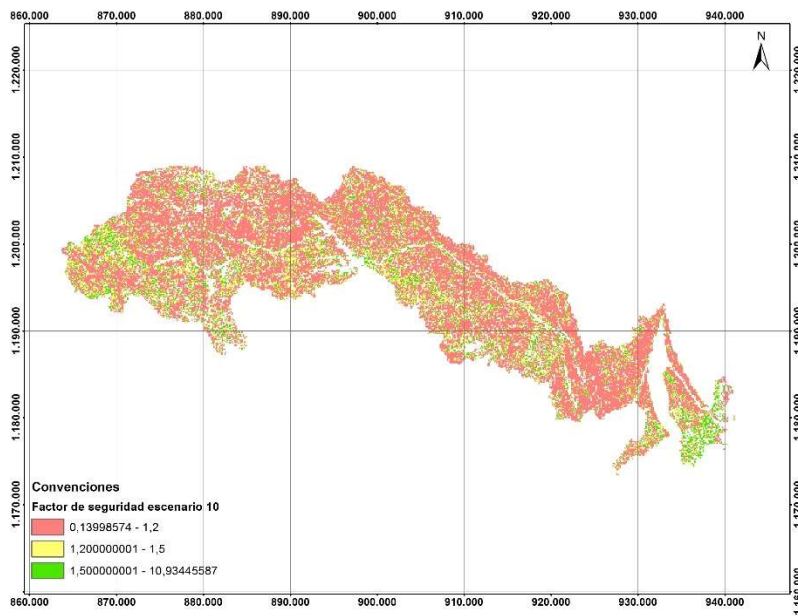


Figura 467. Factor de Seguridad para el Escenario 10 (Tr 100 con sismo).

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Paso 11. Cálculo de la desviación estándar de los valores de FS.

Con los 10 raster obtenidos en el paso anterior, se procedió a calcular la desviación estándar del FS para cada celda de cada uno de los 10 escenarios.

Este procedimiento se realizó en la herramienta Raster Calculator del software ArcGIS, en la que se ingresó la siguiente fórmula:

CellStatistics(["fs_esc_1", "FS_Esc_2", "FS_Esc_3", "FS_Esc_4", "FS_Esc_5", "FS_Esc_6", "FS_Esc_7", "FS_Esc_8", "FS_Esc_9", "FS_Esc_10"], "STD", "NODATA").

El raster resultante σ [desstd], se utiliza más adelante para calcular Z.

Paso 12. Normalización de los datos.

Conocidos los valores de FS, se obtuvo la desviación estándar de éstos (σ), y con este valor se procedió a calcular el valor Z, es decir, el valor de FS normalizado, o lo que es lo mismo, la distancia entre el FS y la ordenada en la curva normal; con lo anterior se busca que los datos tengan un comportamiento de curva normal con media cero (0) y desviación estándar uno (1).

El valor Z se obtuvo a partir de la herramienta **Raster Calculator**, y la sentencia ingresada es como sigue:

$$Z = \frac{1 - FS}{\sigma}$$

Ecuación 14. Factor de seguridad.

Esta ecuación se aplicó para los 10 raster con valores de FS, para obtener 10 raster de Z.

Paso 13. Cálculo de la probabilidad de falla.

Para cada una de las celdas del raster con valores de Z, se procedió a encontrar la función de probabilidad normal ($P(f)$), o lo que es lo mismo, el área acumulada bajo la curva normal. Este procedimiento se hizo generando un archivo en Excel, el cual contiene el valor Z y en una nueva columna se calculó el área bajo la curva normal. La fórmula en Excel es como se muestra a continuación:

$$P(f) = \text{DISTR.NORM.ESTAND.N}(C2;\text{VERDADERO})$$

Ecuación 15. Probabilidad de falla.

Donde:

C2 es la celda con valores de Z

Los valores obtenidos varían entre cero (0) y uno (1), así que para obtener la probabilidad de falla, estos valores se multiplican por cien (100). De esta manera, se obtienen valores que varían desde cero (0%) hasta cien por ciento (100%).

Desde el punto de vista operativo en el software, se eligió con base en el criterio de los expertos del componente Gestión del Riesgo, el FS del escenario 5 (período de retorno de 20 años y con sismo), como aquel que mejor representa la condición esperada. Esto debido a que 20 años es un periodo de retorno en el que se esperan consecuencias importantes, y además la consideración del sismo debe asumirse siempre, dado que la región no está exenta de sufrir las afectaciones derivadas de un sismo, aunque no se esperan magnitudes muy altas.

La información detallada sobre el cálculo de la probabilidad de falla en los 10 escenarios, se presenta en el Anexo 8.6.

Paso 14. Categorización de las amenazas.

De acuerdo a la metodología, las áreas (celdas) con probabilidad de falla menor al 30% entrarán en la categoría de Amenaza Baja, las áreas con probabilidad de falla mayor a 30% y menor a 75%, tendrán Amenaza Media y las áreas mayores del 75% tendrán Amenaza Alta. Con estos criterios se procedió a reclasificar el raster de Amenaza, para obtener un raster de números enteros, el cual se vectorizó para generar los shapes de Amenaza.

Es importante recordar que se excluyen del análisis las áreas con susceptibilidad baja ante movimientos en masa, es decir, las áreas planas y semiplanas, correspondientes en general a las vegas de inundación y zonas de terrazas en los principales ríos y quebradas de la cuenca.

En las Figura 468 a Figura 477 se presenta la espacialización de las amenazas para cada uno de los 10 escenarios.

A partir de estos mapas de amenaza, el equipo de expertos del componente Gestión del Riesgo analizó cada escenario resultante con el fin de escoger el escenario que finalmente se tomó como mapa de amenazas por movimientos en masa para la cuenca del Río Nare. El análisis es el siguiente:

- Los escenarios 1 y 2 presentan una condición seca, bien sea con sismo o sin sismo no debe ser escogido ninguno de estos dos escenarios debido a que en la cuenca se presentan

precipitaciones en ocasiones intensas, momento en el cual ambos escenarios perderán validez. Como se puede apreciar en las Figura 468 y Figura 469, mientras que la amenaza baja predomina en la cuenca para el escenario 1, resulta ser media para casi toda la cuenca en el escenario 2. Ambos escenarios resultan alejados de la realidad del territorio.

- El escenario 3, si bien otorga resultados coherentes con el territorio, no se recomienda su escogencia debido a que un periodo de retorno de la precipitación de 2 años significa un corto tiempo que no representaría una condición de humedad significativa para condiciones de saturación del suelo que puedan generar movimientos en masa. Además, no se ve reflejado este periodo de retorno en la información de eventos históricos.
- Con el escenario 4 sucede de igual manera, al tener el inconveniente explicado para el periodo de retorno de la precipitación para 2 años. Además, la amenaza resulta ser media en prácticamente toda la cuenca, lo cual se aleja de la realidad de la cuenca.
- El escenario 5 refleja coherentemente la situación del territorio. El periodo de retorno de 20 años corresponde de manera muy aproximada a lo observado en el registro de eventos históricos, donde se observan retornos entre 15 y 30 años en general.
- El escenario 6 presenta la amenaza media en prácticamente toda la cuenca, lo cual se aleja de la realidad de la cuenca.
- Los escenarios 7, 8, 9 y 10 corresponden a periodos de retorno de lluvias de 50 y 100 años respectivamente, los cuales si bien se han presentado esporádicamente en la región, no son el fenómeno usual, tal como se concluyó del análisis del registro de eventos históricos. Además el escenario 8 se descarta por igual motivo que los escenarios 4 y 6.

Por los motivos anteriormente expuestos, el escenario que mejor refleja la condición del territorio, y que otorga una combinación técnicamente adecuada entre el periodo de retorno de la lluvia y la sismicidad, es el escenario 5. Un periodo de retorno de 20 años en combinación con la presencia de sismo, es un escenario bajo el cual la planificación ambiental del territorio se puede realizar con la certeza de estar considerando unas condiciones complejas para ambas variables, y bajo las cuales se presentarán movimientos en masa que pueden ocasionar afectaciones importantes en el territorio, tal como ha sucedido según se aprecia en los registros históricos. Este resultado del escenario 5 se convierte así en el mapa de amenaza por movimientos en masa considerado para la cuenca.

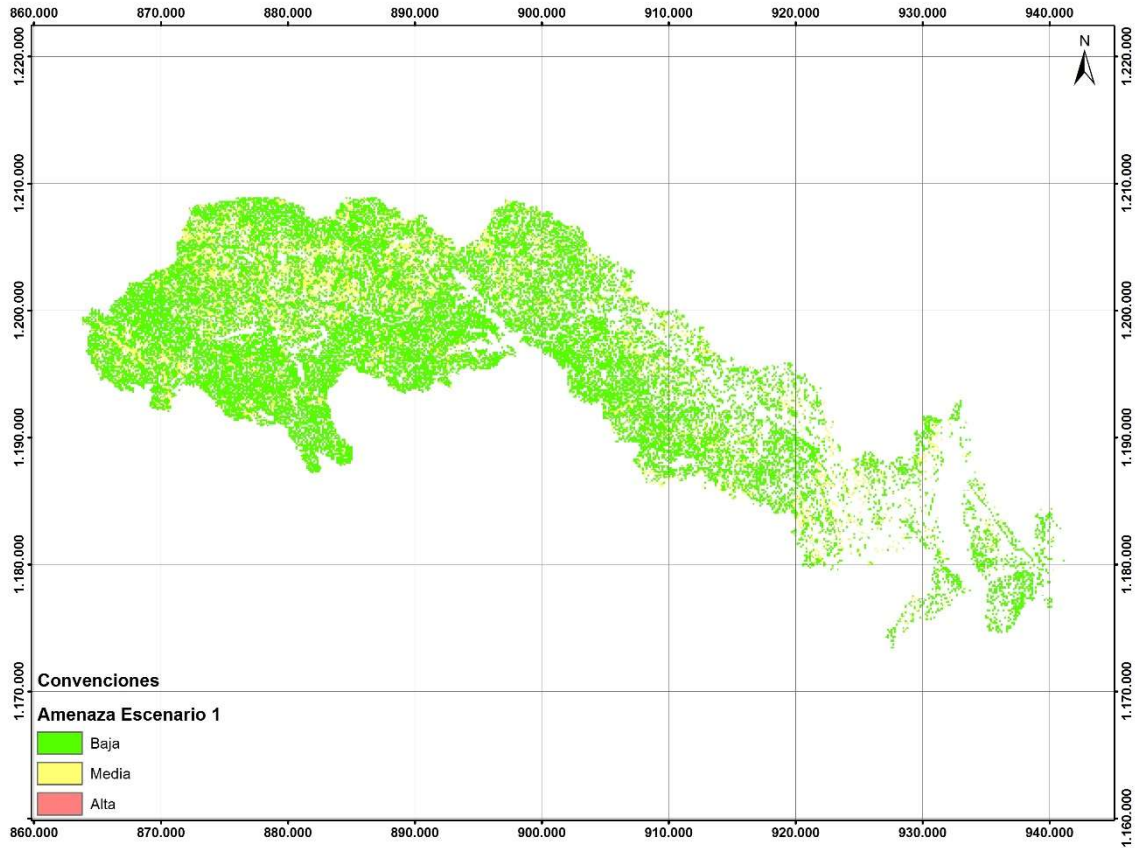


Figura 468. Amenaza para el Escenario 1 (condición seca con sismo).

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

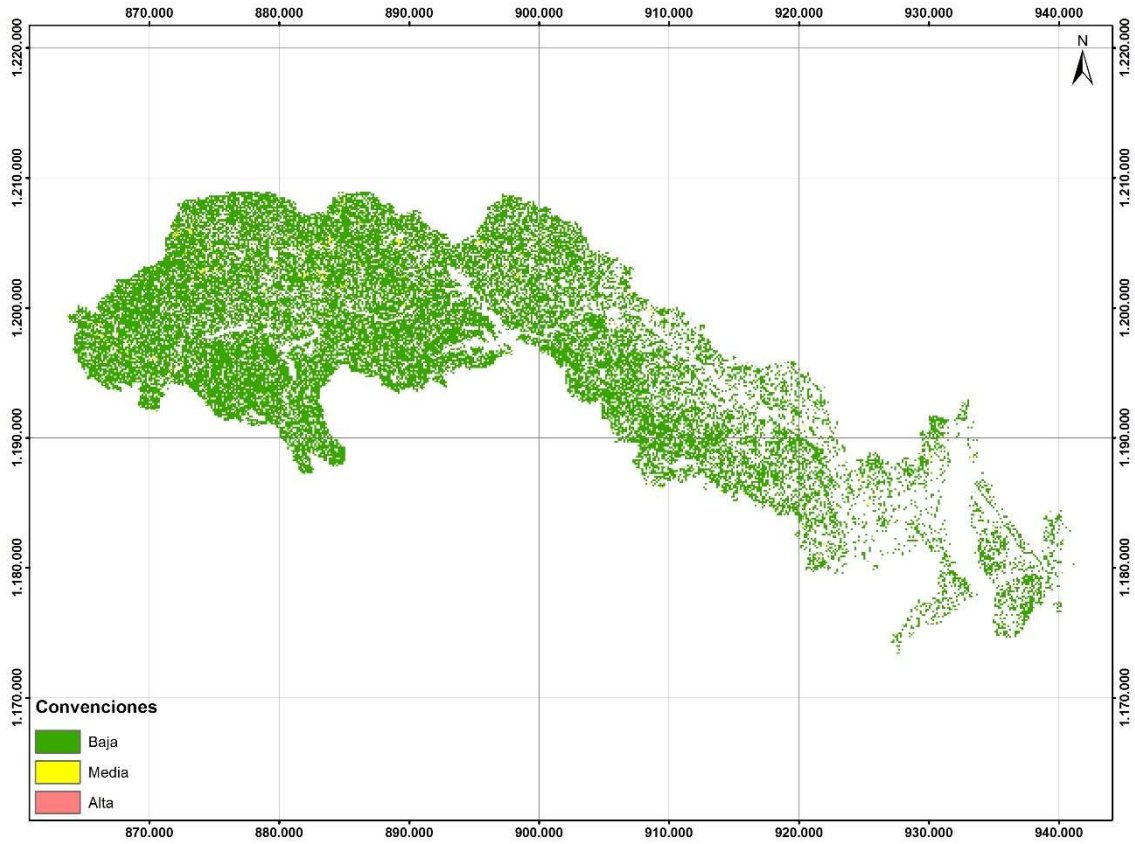


Figura 469. Amenaza para el Escenario 2 (condición seca sin sismo).

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

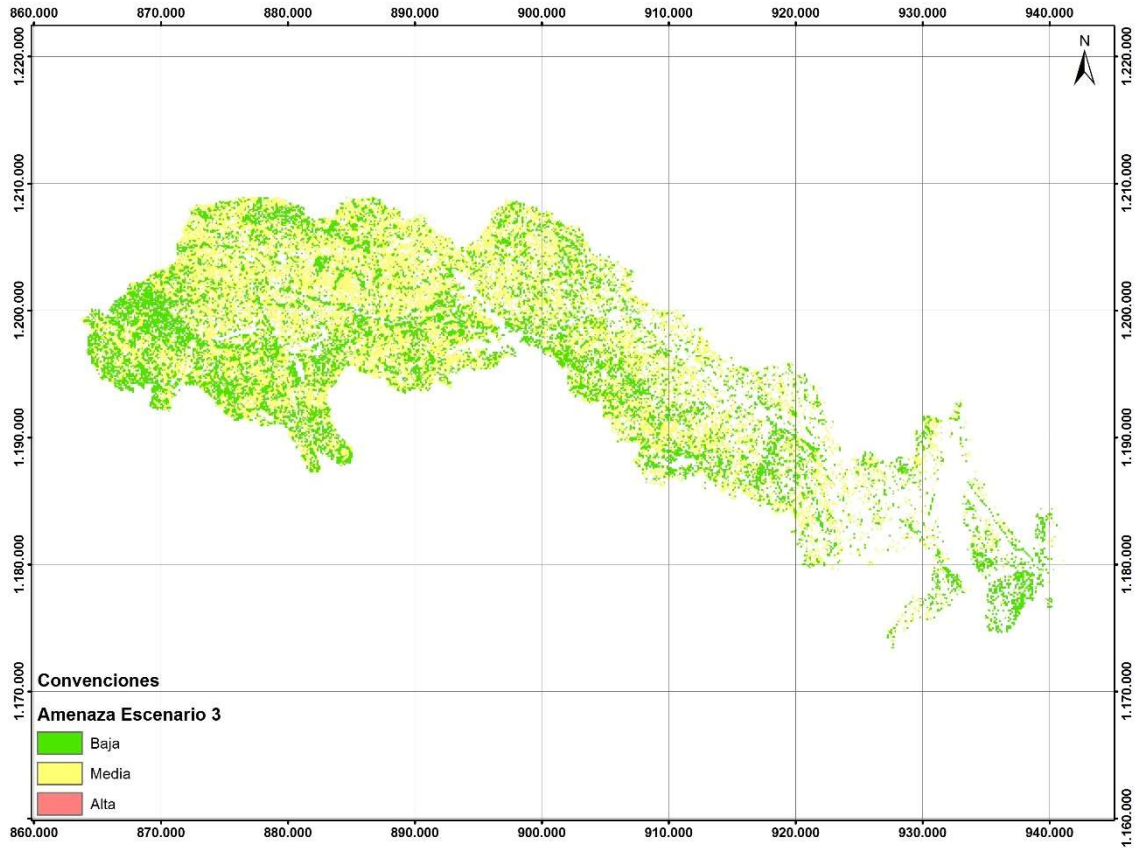


Figura 470. Amenaza para el Escenario 3 (Tr 2 con sismo).

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

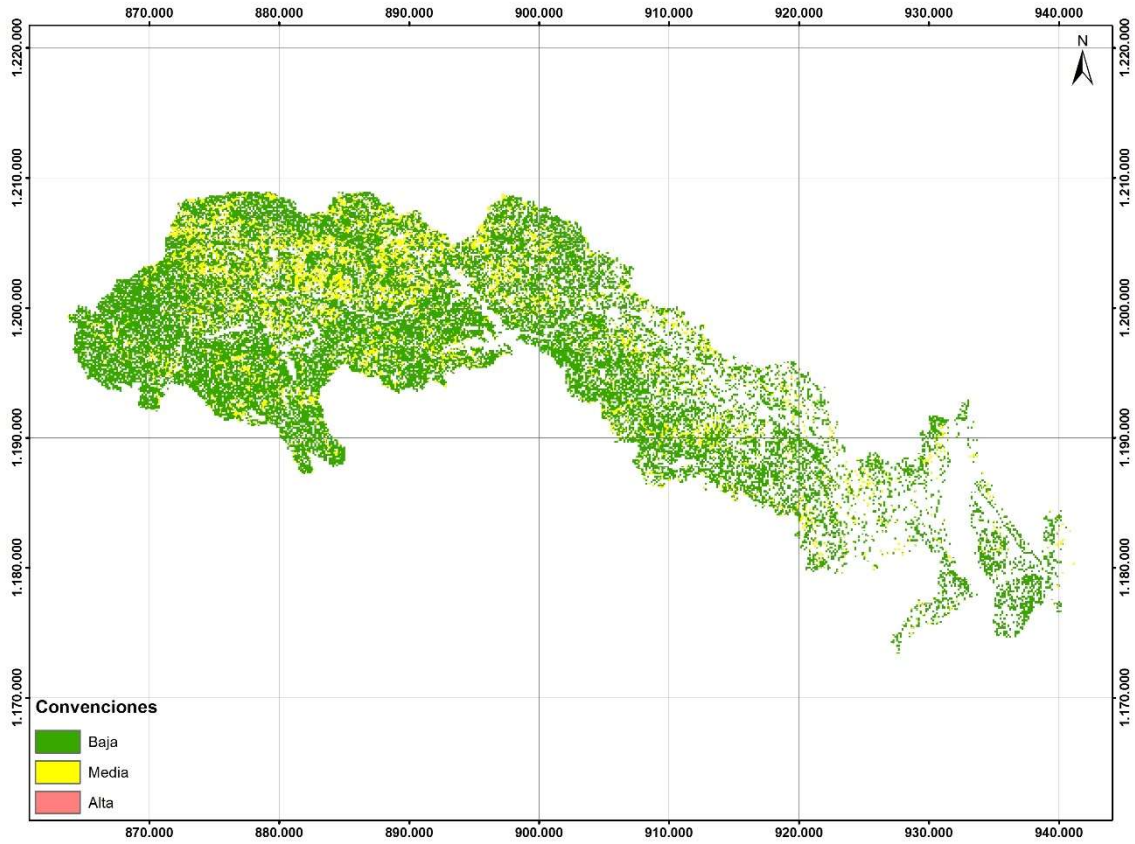


Figura 471. Amenaza para el Escenario 4 (Tr 2 sin sismo).

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

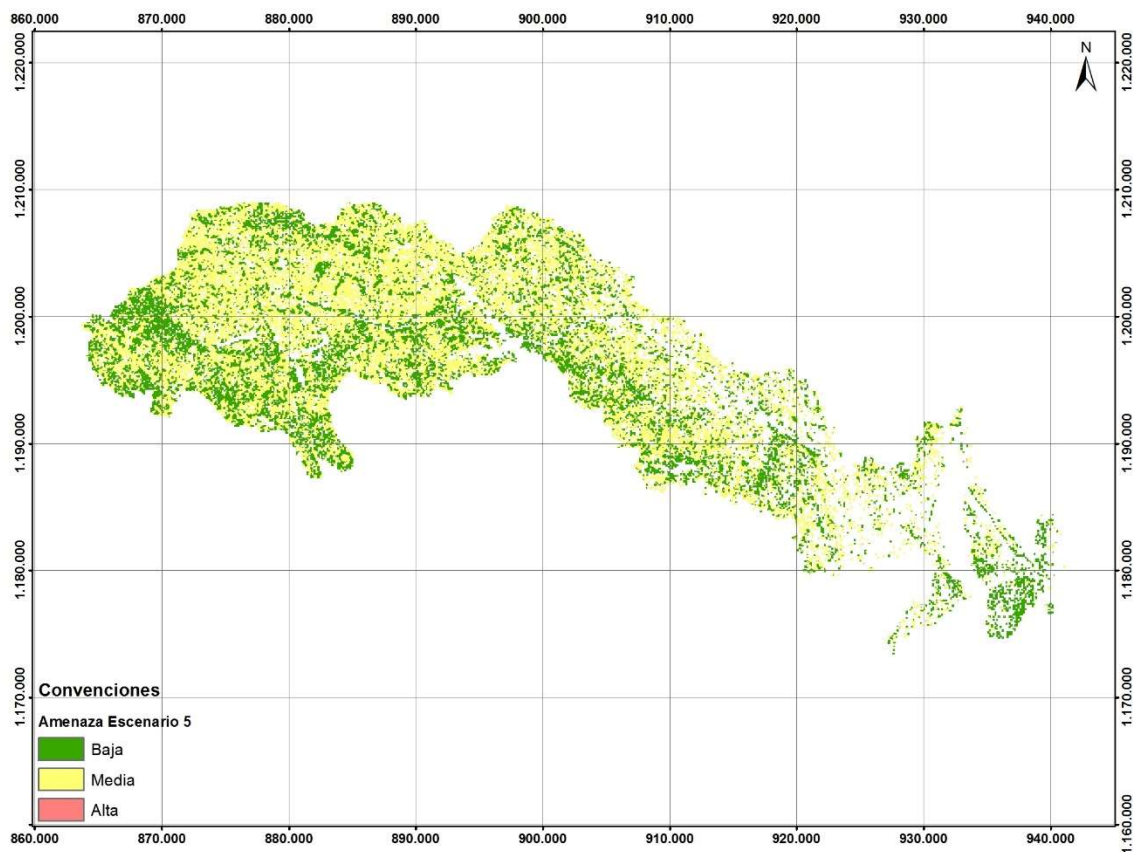


Figura 472. Amenaza para el Escenario 5 (Tr 20 con sismo).

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

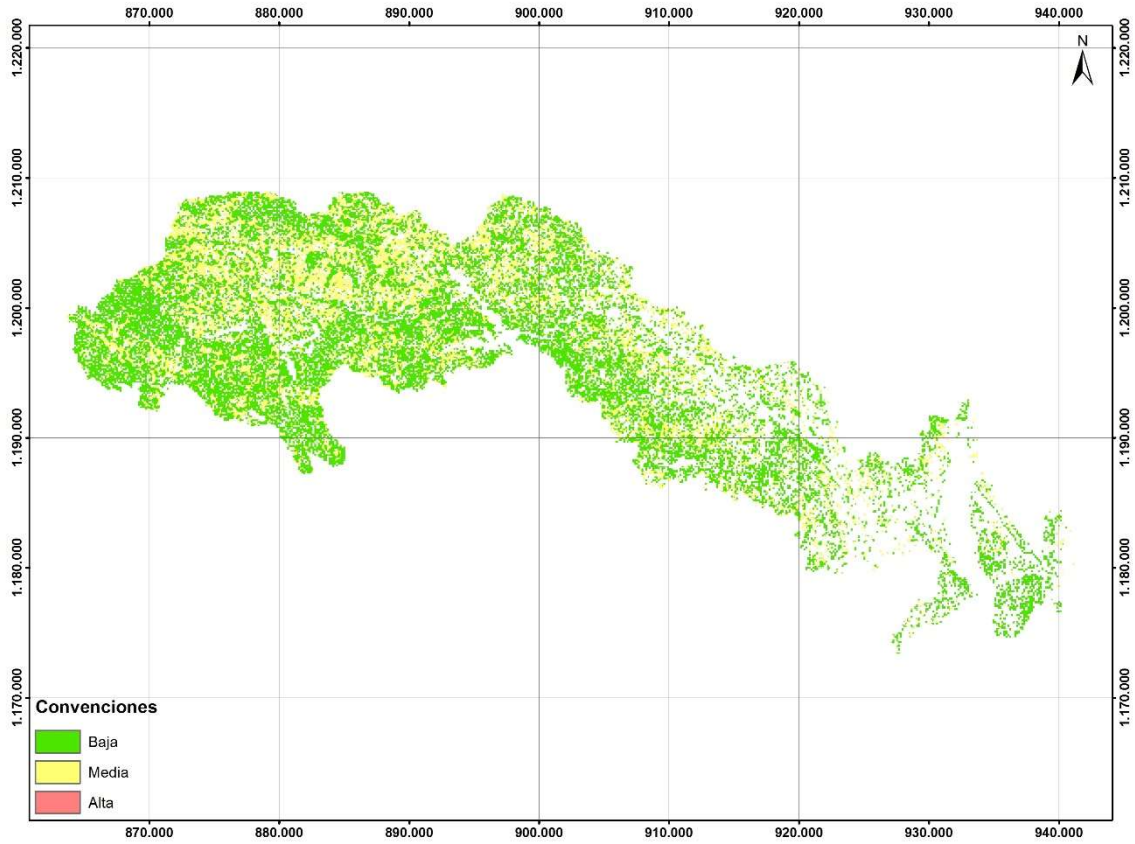


Figura 473. Amenaza para el Escenario 6 (Tr 20 sin sismo).

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

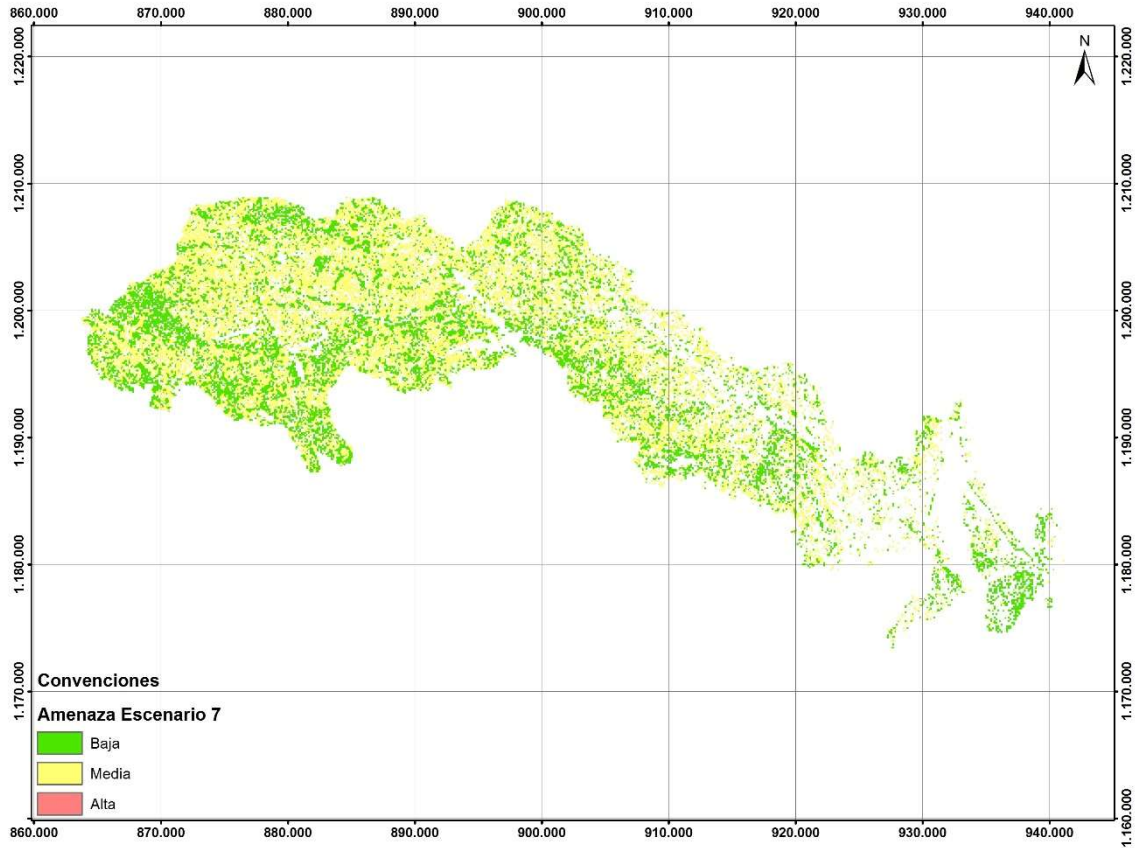


Figura 474. Amenaza para el Escenario 7 (Tr 50 con sismo).

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

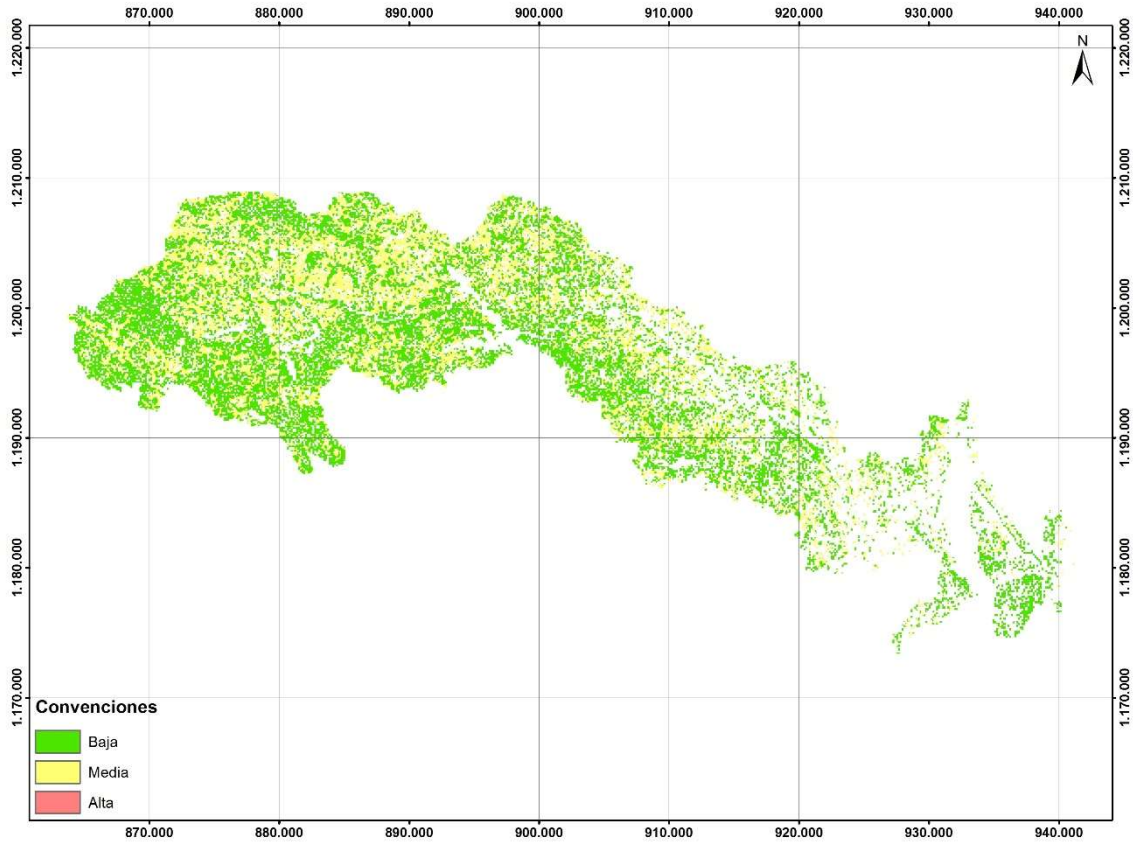


Figura 475. Amenaza para el Escenario 8 (Tr 50 sin sismo).

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

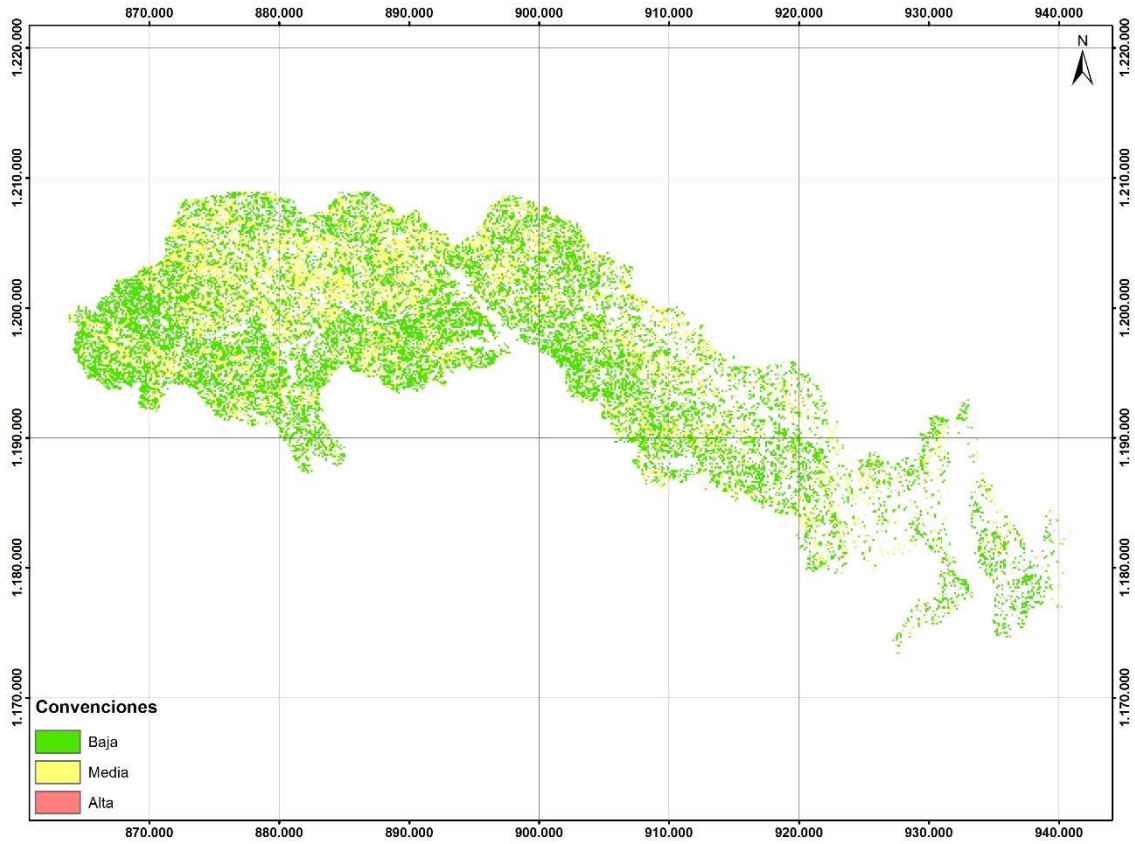


Figura 476. Amenaza para el Escenario 9 (Tr 100 sin sismo).

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

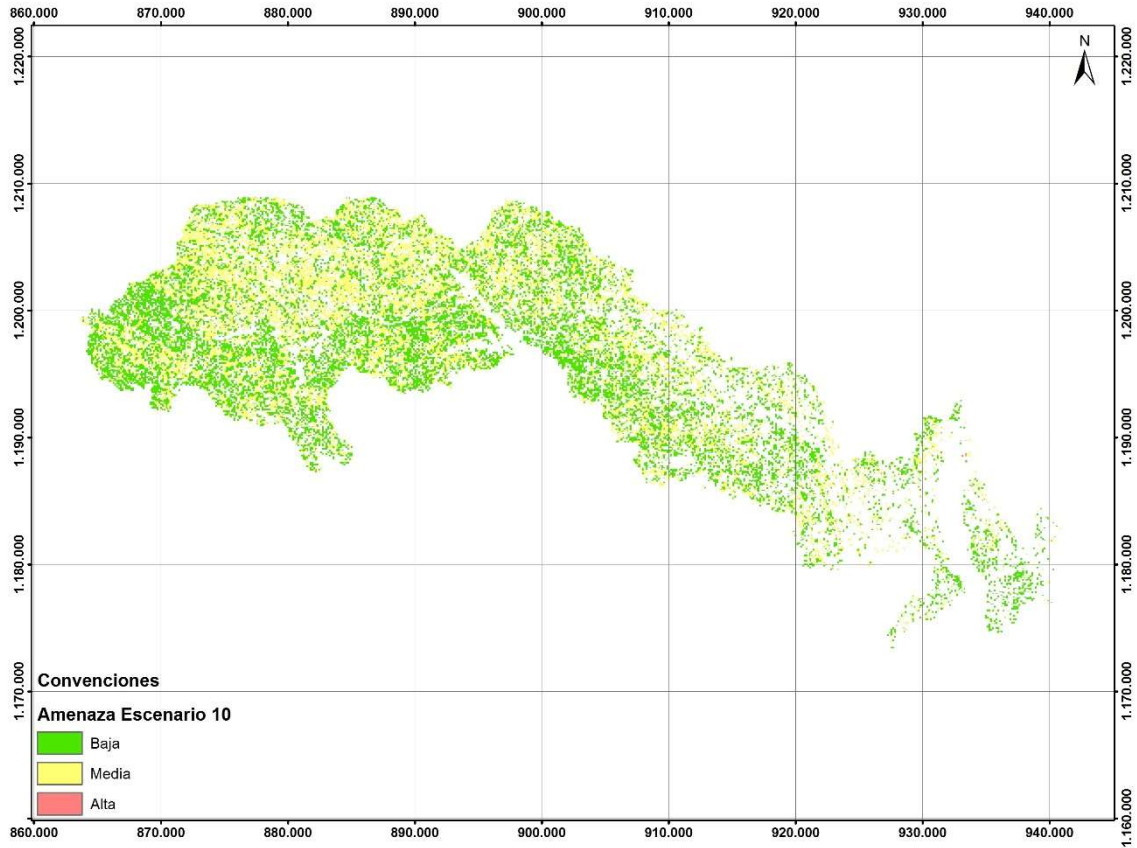


Figura 477. Amenaza para el Escenario 10 (Tr 100 con sismo).

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

En la Figura 478 se presenta el mapa de amenaza por movimientos en masa en la cuenca del Río Nare.

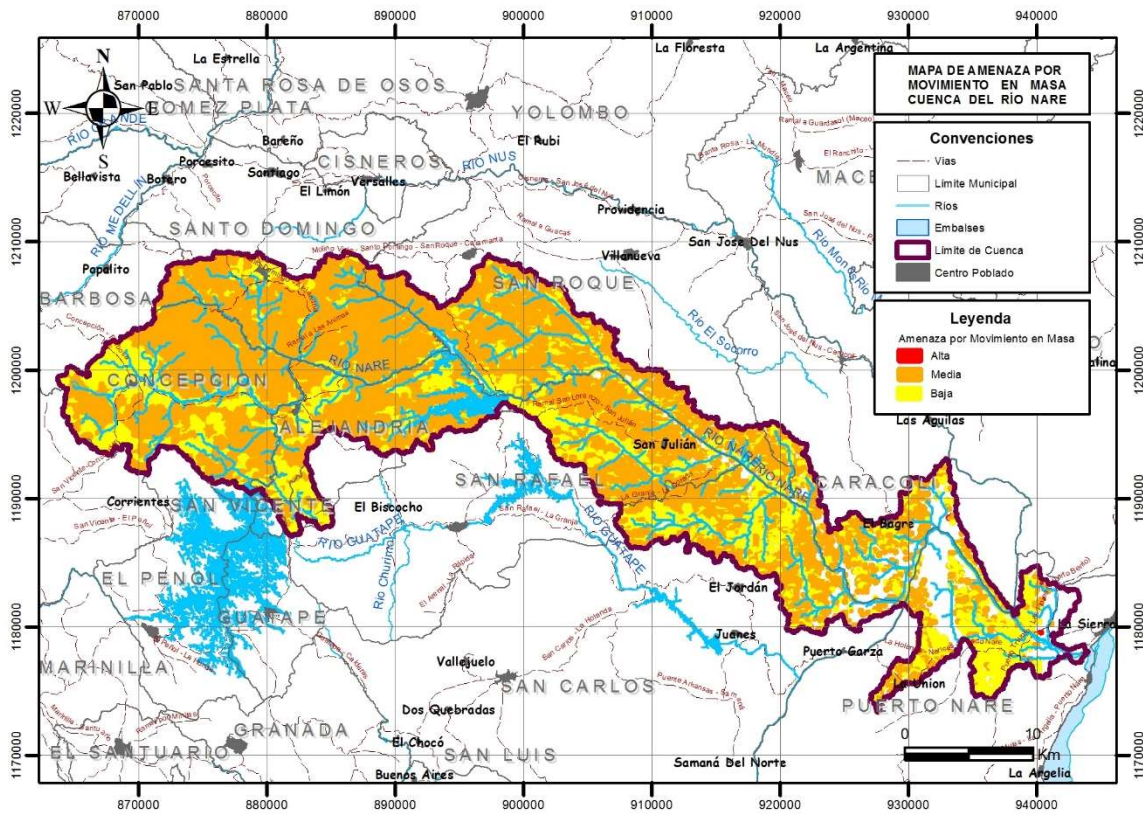


Figura 478. Amenaza por movimientos en masa en la cuenca del Río Nare.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

En la Tabla 451 se presenta la distribución areal de las categorías de amenaza; se puede apreciar que la categoría Media predomina en la cuenca con 32%, seguida de la Baja con 20% y por último la categoría Alta con solo 0,004%.

Estos resultados son consecuentes con la realidad del territorio de la cuenca, el cual presenta en general episodios de movimientos en masa de tipo superficial que no son tan frecuentes, la mayoría de ellos localizados en bordes urbanos y áreas rurales puntuales debido a una inadecuada intervención antrópica manifestada a partir de apertura de taludes para viviendas y vías, ocupación de laderas de alta o media pendiente, inapropiado manejo de aguas residuales y de escorrentía, entre otras razones.

Tabla 451. Distribución en área de las categorías de amenaza ante movimientos en masa.

CATEGORÍA DE AMENAZA	AREA EN m ²	ÁREA EN ha	AREA EN %
Alta	36.761	3,6761	0.00389
Media	298.384.040	29.838,404	31,59463
Baja	188.896.645,31	18.889,664531	20,00147

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Al comparar los mapas de Susceptibilidad y de Amenaza ante movimientos en masa, puede observarse lo siguiente:

- Se observa en la parte alta de la cuenca que la susceptibilidad es Alta, mientras que en esos mismos sectores la amenaza es media. Esto puede deberse a los valores del Factor de Seguridad.
- En general la parte baja de la cuenca guarda coherencia con las condiciones de pendiente, las cuales son bajas a muy bajas y en consecuencia la susceptibilidad y la amenaza adquieren esa misma categoría.

Validación de los resultados con los inventarios de procesos.

Obtenido el mapa de amenazas, se procedió a superponerle la información que se ha allegado sobre procesos:

- Los procesos morfodinámicos levantados por el Componente Geomorfología (numeral 3.9.1.2.1 en la Figura 163 del mencionado documento), tanto los procesos activos como los inactivos.
- Los datos que se compilaron en el catálogo.

El resultado de esta superposición se presenta en la Figura 479. En ella se aprecia una alta concentración de procesos en toda la cuenca con énfasis en su parte central, con algunos sitios muy cerca de cauces e incluso dentro de algunas llanuras aluviales. Esto debe ser consecuencia de la generalización que se realizó desde el Componente Geomorfología a ciertos rasgos del terreno, identificados desde la ortofoto de la cuenca. Debido a esta generalización, no es posible realizar un análisis de la relación entre los puntos inestables y las áreas de amenaza alta, pues el resultado de este análisis tendrá incongruencias al señalar puntos con procesos en zonas sanas.

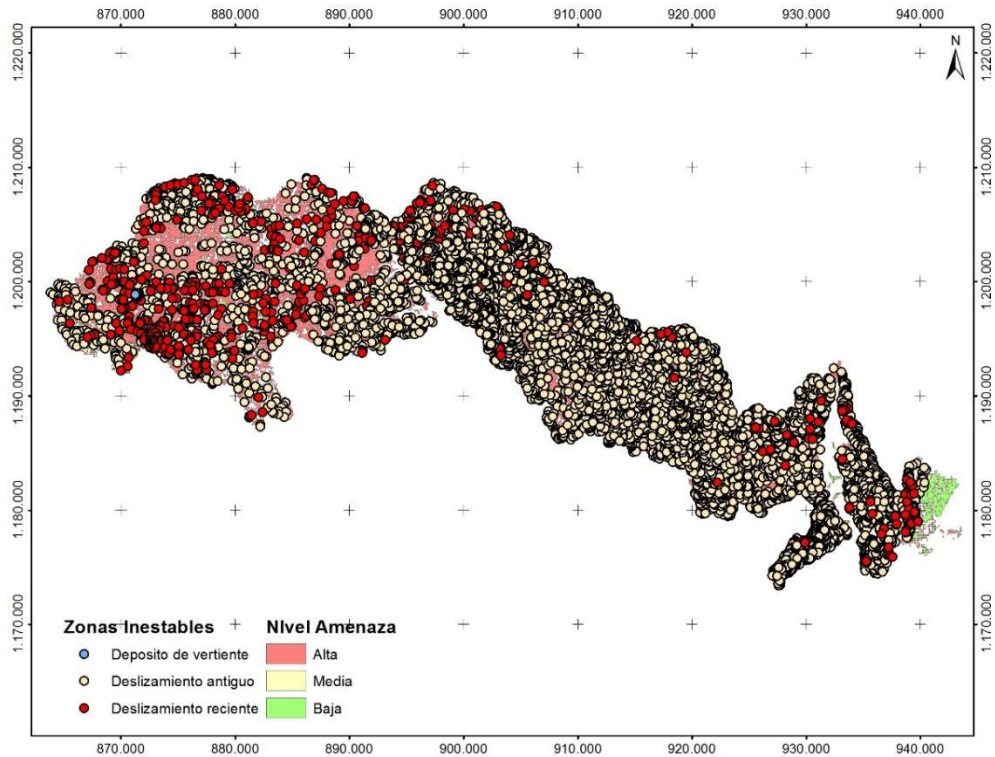


Figura 479. Superposición de procesos morfodinámicos e información del catálogo en el mapa de amenaza por movimientos en masa.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Verificación de los resultados con estudios anteriores.

Una vez se obtuvieron los resultados anteriores, se procedió a realizar una verificación con los estudios de riesgo realizados por CORNARE en los municipios de su jurisdicción, en el año 2012. A continuación se presenta el análisis para tres de los municipios que conforman la cuenca.

Alejandría:

El estudio realizado por CORNARE en Alejandría generó el siguiente resultado:

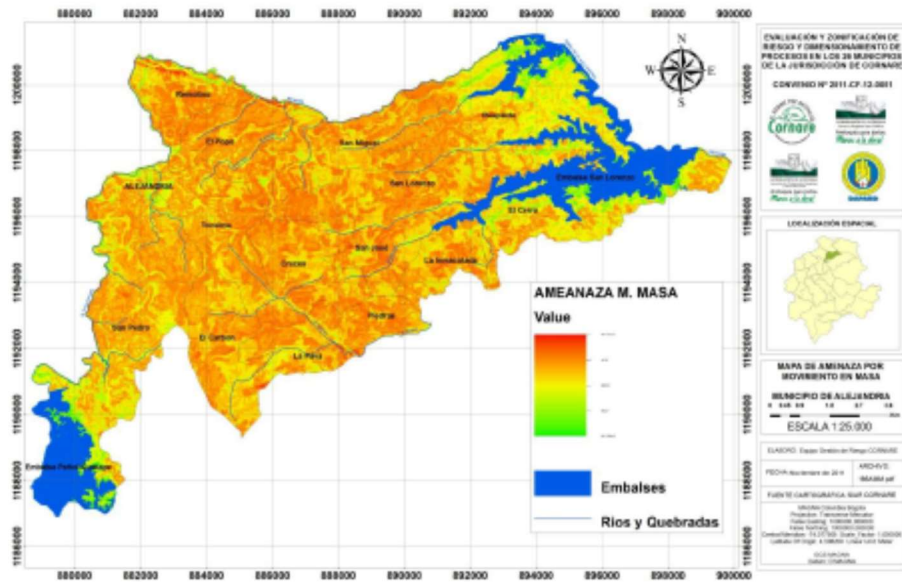


Figura 480. Mapa de amenaza por movimiento en masa del municipio de Alejandría según estudio de CORNARE.

Fuente: Evaluación y Zonificación de Riesgos y Dimensionamiento de Procesos Erosivos en los 26 Municipios de la Jurisdicción de CORNARE. Convenio CORNARE – Gobernación de Antioquia No. 2011-CF-12-0051 y 217-2011. Municipio de Alejandría.

Realizando un acercamiento al mapa generado por el presente POMCA, se observa que para este municipio fueron determinados unos niveles de amenaza un poco más bajos que los señalados en el estudio de CORNARE.

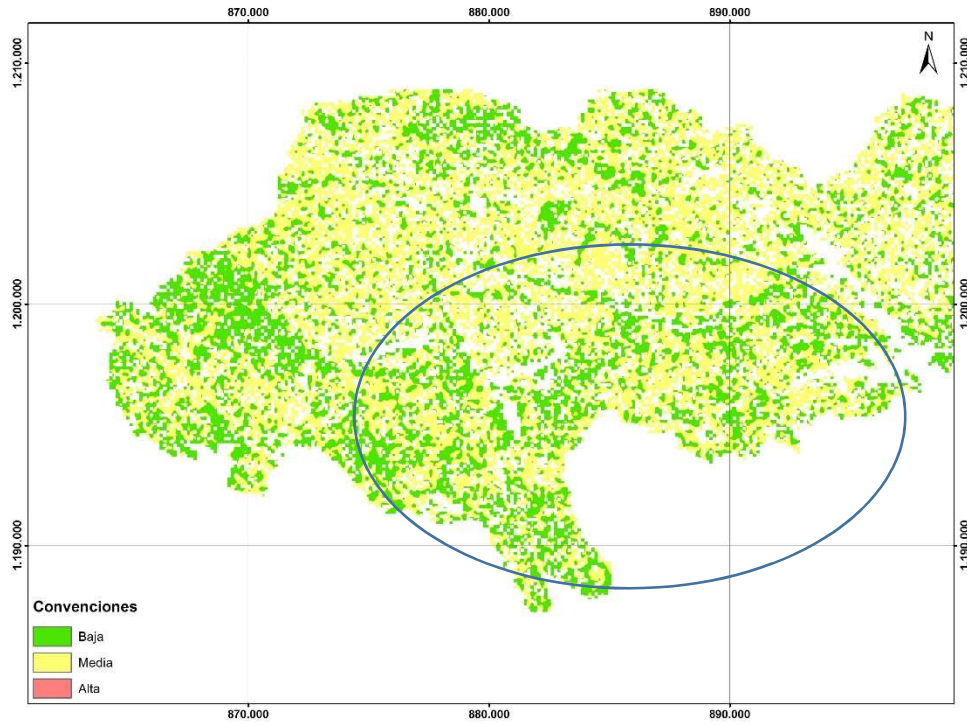


Figura 481. Amenaza por movimientos en masa para el municipio de Alejandría según POMCA.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Concepción:

El estudio realizado por CORNARE en Concepción generó el siguiente resultado:

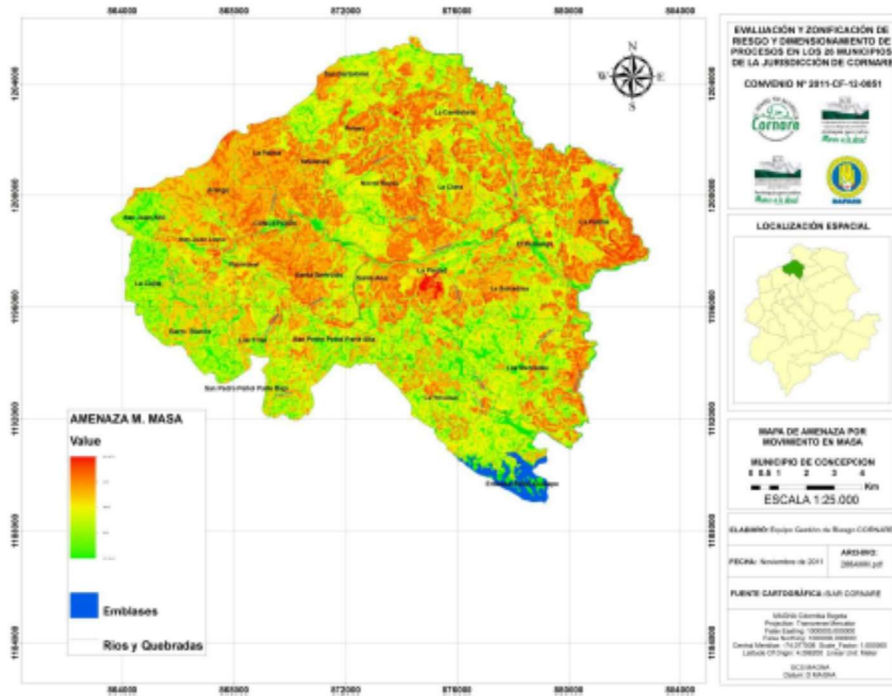


Figura 482. Mapa de amenaza por movimiento en masa del municipio de Concepción según estudio de CORNARE.

Fuente: Evaluación y Zonificación de Riesgos y Dimensionamiento de Procesos Erosivos en los 26 Municipios de la Jurisdicción de CORNARE. Convenio CORNARE – Gobernación de Antioquia No. 2011-CF-12-0051 y 217-2011. Municipio de Concepción.

Realizando un acercamiento al mapa generado por el presente POMCA, se observa que para este municipio también fueron determinados unos niveles de amenaza más bajos que los señalados en el estudio de CORNARE.

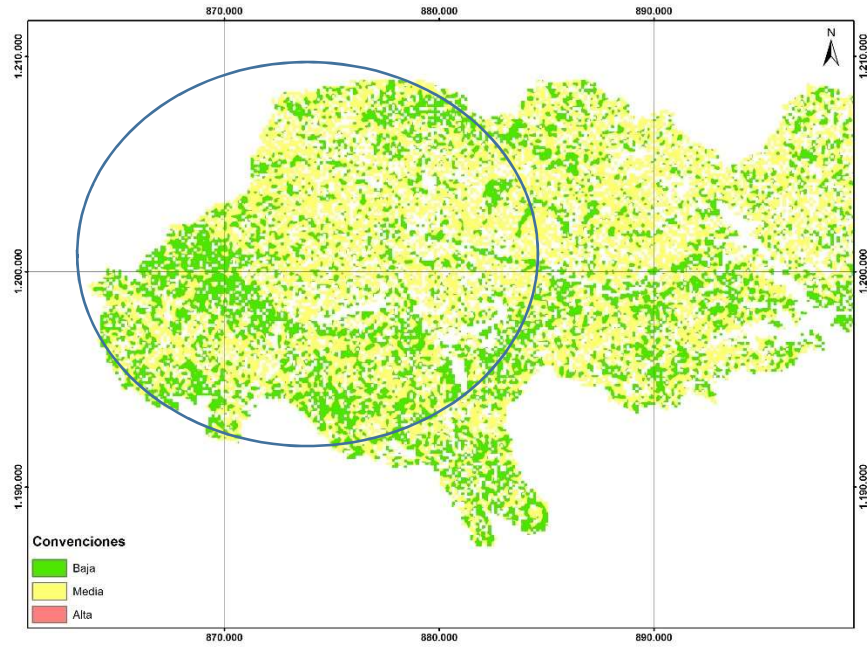


Figura 483. Amenaza por movimientos en masa para el municipio de Concepción según POMCA.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

Santo Domingo:

El estudio realizado por CORNARE en Santo Domingo generó el siguiente resultado:

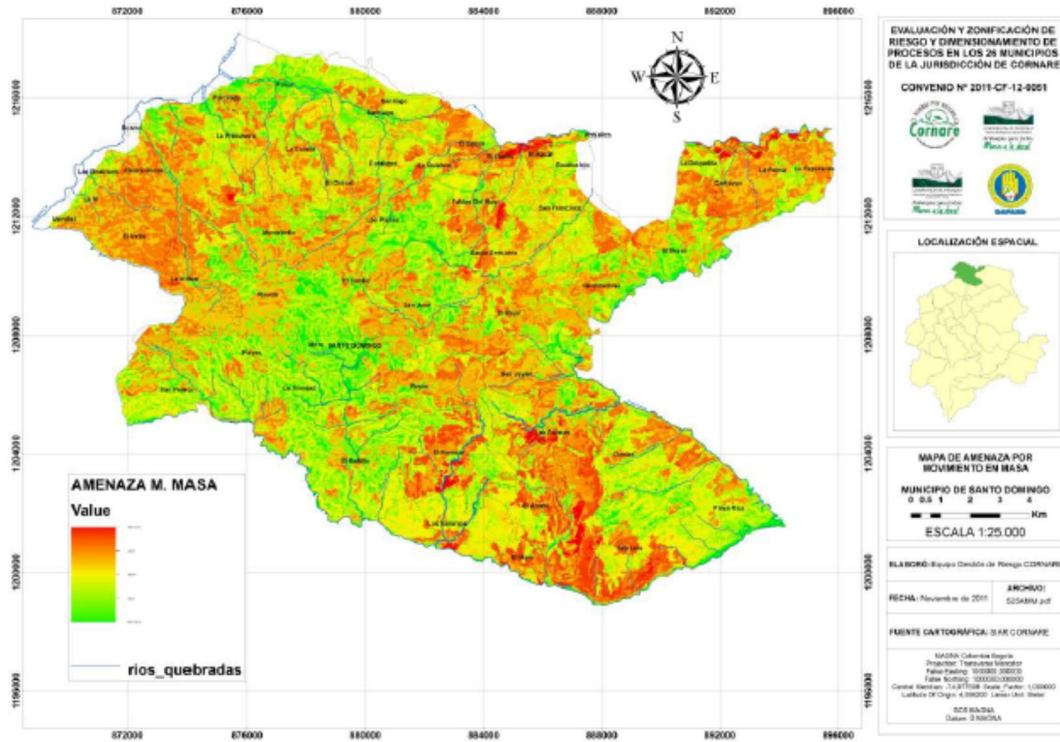


Figura 484. Mapa de amenaza por movimiento en masa del municipio de Santo Domingo según estudio de CORNARE.

Fuente: Evaluación y Zonificación de Riesgos y Dimensionamiento de Procesos Erosivos en los 26 Municipios de la Jurisdicción de CORNARE. Convenio CORNARE – Gobernación de Antioquia No. 2011-CF-12-0051 y 217-2011. Municipio de Santo Domingo.

Realizando un acercamiento al mapa generado por el presente POMCA, se observa que para este municipio también fueron determinados unos niveles de amenaza más bajos que los señalados en el estudio de CORNARE, aunque existe en este caso un poco más de coherencia entre ambos mapas, si se compara con los resultados para Alejandría y Concepción.

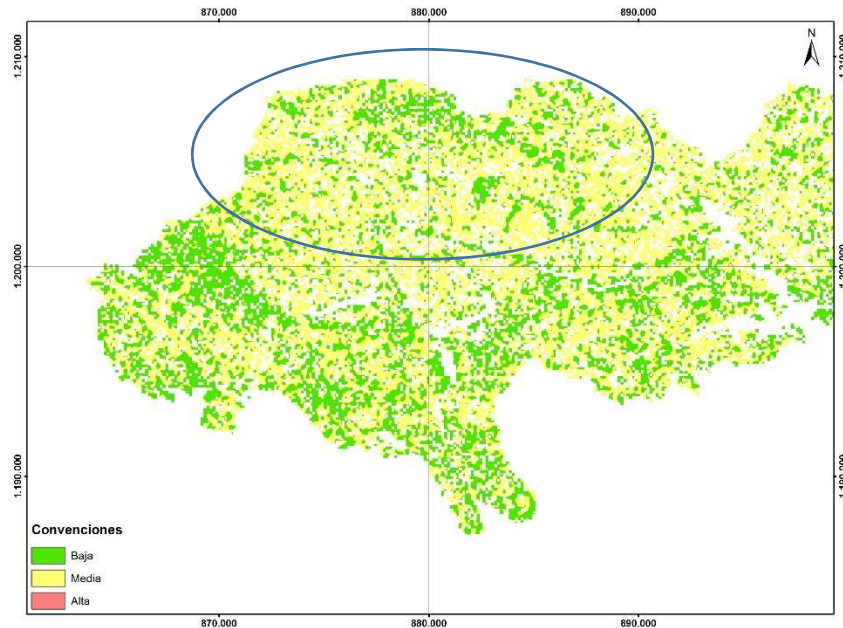


Figura 485. Amenaza por movimientos en masa para el municipio de Santo Domingo según POMCA.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

8.2.4.2.1 Verificación de los resultados en campo.

Una vez se obtuvieron los resultados anteriores, se procedió a realizar una verificación en campo de los límites encontrados. Esta validación se realizó en algunos sectores de la cuenca, los cuales se aprecian en la Figura 486. En todos los puntos se corroboró la existencia de área con susceptibilidad ante movimientos en masa según el mapa de amenaza correspondiente. En general el área correspondiente a los municipios de Concepción y Alejandría presenta una amenaza media, dadas las condiciones de pendiente y el tipo de suelo.

Estos puntos de control fueron seleccionados a la luz de los resultados del mapa de amenaza, dado que en esta área de los municipios de Alejandría y Concepción se concentra una importante área en amenaza media, y debido a que es una zona con unas dinámicas antrópicas importantes sumado a la importancia de estos dos centros urbanos, el equipo de expertos consideró fundamental la verificación de las condiciones de amenaza en esta zona.

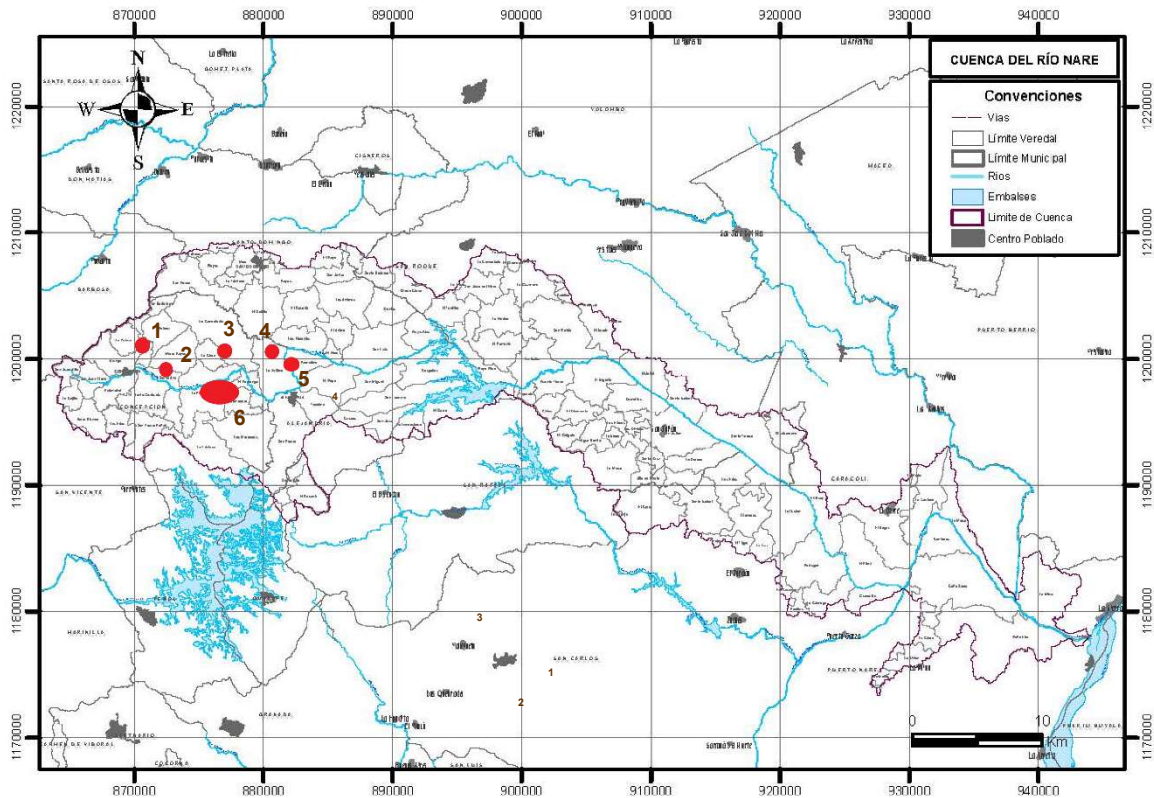


Figura 486. Localización de sitios de verificación en campo de algunas zonas con amenaza ante movimientos en masa en la cuenca.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

A continuación se presenta un registro fotográfico que sirvió de apoyo para corroborar la zonificación de la amenaza por movimientos en masa realizada. En estas fotos se observa la intensa intervención antrópica que ha generado la eliminación de coberturas naturales, creando extensas áreas para la ganadería y fincas de recreo, ocasionando así fenómenos erosivos como sobrepastoreo, desgarres y movimientos de tipo superficial. Si bien la magnitud y densidad de los procesos observados en campo no es alta, deben tomarse medidas en el corto plazo con el fin de ajustar los usos actuales del suelo a las condiciones naturales y prevenir así futuros procesos.

El control de campo realizado permitió ratificar la delimitación de las categorías de amenaza en el mapa respectivo; es importante señalar que la escala de trabajo no permite entrar en detalles observados puntualmente en campo, por lo cual se verificó que las delimitaciones generales correspondieran a la realidad del territorio. Para una delimitación más precisa se deberán efectuar estudios de detalle que permitan validar y precisar las categorías establecidas, para lo cual se propone considerar las áreas delimitadas en las categorías Alta y Media como áreas en condición de amenaza, mientras se realizan los estudios mencionados.



Foto 113. Vertientes de la quebrada San Pedro con presencia de procesos erosivos importantes. Punto 1.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.



Foto 114. Laderas con desgarres en la quebrada Santa Fé. Punto 2.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.



Foto 115. Zona con amenaza por movimientos en masa al E de la cabecera de Concepción. Punto 3.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.



Foto 116. Zona con amenaza por movimientos en masa en ladera de la quebrada La Magdalena. Punto 4.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.



Foto 117. Zona con amenaza por movimientos en masa en vertiente aguas abajo de la cabecera urbana de Alejandría. Punto 5.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.





Foto 118. Laderas con severos movimientos en masa en vertientes del río Nare entre Concepción y Alejandría. Punto 6.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016.

8.2.4.3 Limitaciones en los resultados.

En relación con los eventos históricos:

Los datos provenientes de las bases de datos no son confiables dado que, como ya se expuso en el numeral correspondiente a los eventos históricos, tienen falencias importantes en relación con la georeferenciación y con la definición del tipo de evento en el caso de inundaciones y avenidas torrenciales. Tal como se mencionó en el numeral correspondiente a eventos históricos, una inundación fácilmente puede ser tomada como una avenida torrencial, y viceversa, por parte de quien lo reportó, si no se posee el criterio técnico suficiente, lo que al parecer sucedió en la mayoría de los casos.

En relación con la susceptibilidad:

Los procesos morfodinámicos que fueron suministrados como insumo por parte del componente Geomorfología, poseen un grado de incertidumbre importante, dado que su definición se dio a partir de imágenes de satélite y la ortofoto, lo cual involucra la posibilidad de determinar como proceso una expresión del terreno que probablemente no lo sea. En verificación de campo realizada por el componente Gestión del Riesgo, se pudo observar que existen puntos en la cartografía, definidos como procesos morfodinámicos, que en el territorio corresponden en realidad a vaguadas o sectores de nacimiento de aguas.

Dentro de las variables de análisis se toman las variables INSOLACIÓN y ORIENTACIÓN DE LAS LADERAS, cuyo análisis no es relevante para zonas tropicales como la correspondiente a las cuencas en estudio, y son más útiles en latitudes diferentes donde dichas variables si son fundamentales por ejemplo para planificación agrícola. Sin embargo dichas variables fueron aplicadas en la modelación estadística aunque la insolación en la cuenca es constante y homogénea, no es muy variable durante el día.

De igual manera sucedió con la variable DISTANCIA A VÍAS, ya que esta variable es importante cuando se realizan análisis que tienen relación con el efecto de la apertura de vías o con su operación, lo cual se encuentra por fuera del alcance del presente trabajo. Sin embargo fue asumida e incorporada al modelo.

Con la variable ESPESOR se tiene un planteamiento confuso desde el Protocolo. Se define el espesor como “la capa de depósitos superficiales y regolitos de alteración”, y esta definición por supuesto es asumida en todas las fases del análisis de susceptibilidad; sin embargo, la superficie potencialmente deslizable no necesariamente corresponde por ejemplo al espesor del saprolito del Batolito Antioqueño, pues este puede llegar en algunas zonas a valores de varias decenas de metros, y en la realidad del territorio no se ha presentado nunca un movimiento en masa que involucre decenas de metros, esta es una situación prácticamente imposible en términos físicos. Debe existir una capa de este espesor de regolito que sea la que potencialmente puede deslizar, pero la metodología no plantea su definición.

Los resultados del modelo estadístico permitieron una clasificación relativamente adecuada de las variables, pues al estar alrededor del 78% de clasificación, genera un margen de incertidumbre relativamente bajo, que hace que los resultados de la susceptibilidad pueden ser utilizados de manera confiable en el análisis de amenazas.

En relación con la amenaza:

Para el análisis del detonante NIVEL FREÁTICO, con miras a calcular el factor de seguridad, el Protocolo presenta una correlación semi empírica para determinar la tabla de agua (Z_w) en condiciones normales del área, el cual corresponde a la variable mh en la fórmula del factor de seguridad.

Se presentan unas referencias para abordar el tema, las cuales no se encuentran en ninguna búsqueda. Para esta aplicación se requiere calcular el parámetro R correspondiente a la “capacidad de carga y descarga de las rocas”; esta definición no es clara dado que el concepto que normalmente se utiliza para estos análisis es la Recarga; la porosidad y permeabilidad, si bien son variables

asociadas al tema, no definen completamente la recarga. Por otra parte no se encontró información secundaria que presentara estudios realizados al respecto en la zona, y tampoco se encontró una correlación que defina dicha recarga de manera aplicable al territorio en estudio.

Dice el Protocolo que “deben correlacionarse las fechas de los deslizamientos con las de los eventos activadores, especialmente lluvia, con el fin de definir los periodos de retorno que se usarán en los diferentes escenarios de análisis”. Sin embargo estos escenarios ya vienen dados por el mismo Protocolo como se presentan en la Tabla 3-2 del Protocolo, por lo tanto estos son los que se asumen.

Para el análisis del detonante **AMPLIFICACIÓN SÍSMICA**, se tiene también una confusión, dado que la amplificación por relieve o topografía plantea que la forma de las vertientes genera efectos que amplifican la onda de un sismo y por ende sus efectos y a este respecto la NSR 10 en su numeral A 2.4.5.7, plantea que estos efectos serán definidos a partir de estudios de zonificación a nivel municipal, como por ejemplo Estudio de Microzonificación Sísmica del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (GSM, 2002), entre otros, y si no existen dichos estudios, se deberán realizar estudios particulares de sitio, dando a entender así que es algo de carácter detallado. Por lo tanto el concepto de amplificación sísmica no es aplicable a un estudio de una cuenca en escala 1:25.000 como el que se está ejecutando. Sin embargo esta Consultoría aplicó los valores de amplificación sísmica para una aceleración de 0,1 que es la que se asume para la región del Oriente Antioqueño según el Mapa de amenaza sísmica y Aceleración (NSR 10), y que aparecen en las Tabla 448 y Tabla 449 del presente documento.

A pesar de que en el Protocolo es claro según los pasos 11, 12 y 13, que se debe generar un mapa de amenaza ante movimiento en masa obtenido con “las condiciones actuales del terreno”, a partir del cálculo de los factores de seguridad correspondientes a cada uno de los 10 escenarios, en la reunión virtual sostenida con personal del Ministerio de Ambiente y la Interventoría el día jueves 27 de octubre de 2016 vía Skype, desde el Ministerio se dio la instrucción de generar 10 mapas de amenaza, uno para cada escenario. Esto generó una situación compleja desde lo metodológico, dado que esos 10 mapas de amenaza deberían llevarse al análisis de vulnerabilidad, el cual por sí mismo es bastante complejo, y por supuesto al análisis de riesgo, lo que llevaría a obtener 10 mapas de riesgo. Por otra parte, esos 10 mapas de amenaza entran a alimentar la zonificación ambiental, para lo cual no existe en el Protocolo un procedimiento definido claramente.

Por otra parte, en el Protocolo no se entregan los criterios para definir “las condiciones actuales”. Este paso debe suceder posterior a la definición de los 10 escenarios planteados para el FS, por lo tanto el camino seguido por esta Consultoría fue escoger uno de los 10 escenarios de acuerdo con las condiciones normales en la cuenca. Se definió entonces el escenario 5 como el más adecuado,

y se retomó como el mapa de amenaza ante movimientos en masa para la cuenca, y con este escenario trabajar la vulnerabilidad y el riesgo ante movimientos en masa.

Recomendaciones finales que definan las propuestas de intervenciones.

Si bien la zonificación ambiental producto del presente POMCA, define los usos y actividades que a nivel general deberán desarrollarse en las áreas ocupadas por las diversas categorías que este producto determina, es importante realizar algunas anotaciones relacionadas con el tema, haciendo claridad en que la fase de formulación del presente POMCA trae incluida dentro de su desarrollo, una serie de recomendaciones e ideas de proyecto que permitirán abordar de manera efectiva las problemáticas relacionadas con la amenaza ante movimientos en masa.

En relación con la amenaza alta, la restricción total a su ocupación deberá ser la premisa para las autoridades e instancias que tienen relación con el otorgamiento de permisos y licencias en los municipios que conforman la cuenca.

La amenaza media, la cual predomina de manera general en la cuenca, deberá ser objeto de intervención con el fin de controlar los usos del suelo. Esto es especialmente importante en el territorio de los municipios de Santo Domingo, Concepción y Alejandría, los cuales ocupan la parte alta de la cuenca y es donde recae la importancia del cuidado de los recursos que sustentan el mantenimiento de la oferta hídrica.

Por otra parte, la escala del presente POMCA no permite determinar el nivel de amenaza de manera detallada en las diferentes áreas del territorio, por lo tanto se requiere la realización de estudios detallados a la escala de cada proyecto de intervención, que incluya exploración geotécnica precisa y ensayos de laboratorio que lleven a determinar de manera puntual lo que sucede en cada sitio, definiendo así la real susceptibilidad y amenaza ante la presencia del proyecto de intervención respectivo. La realización y presentación de estos estudios detallados deberá hacer parte de una política corporativa de la autoridad ambiental, en la que los alcances de los análisis y estudios se adecúen a los objetivos y alcances de las intervenciones. En los casos puntuales, estudios de detalle deberán hacer parte de los requisitos exigidos para otorgar un permiso o una licencia. Esto es particularmente importante en las áreas urbanas, donde la presencia de actividades antrópicas con mayores densidades expone de manera más amplia y directa a la población y la infraestructura.

8.2.4.4 Necesidades de información e investigación.

El reporte de eventos debe ser homologado entre las diferentes entidades que gestionan esta información; las CAR, las alcaldías municipales, los organismos para la gestión del riesgo, deben

realizar un trabajo coordinado en este sentido, de modo que se maneje la misma información en dichos reportes, y que contenga como mínimo los datos que se trabajan en el catálogo de eventos que se presenta en el Anexo 8.1 del presente POMCA.

Deben realizarse estudios que permitan, a través de exploración geotécnica detallada, la determinación de parámetros geotécnicos precisos por cada tipo de unidad geológica o superficial. De igual manera debe realizarse una determinación de la posición y condiciones del nivel freático en diferentes áreas de la cuenca. Un monitoreo de las variaciones del nivel freático en las diferentes condiciones de lluvias que se presentan en el año, se hace necesario con el fin de definir estas variaciones de acuerdo con el periodo de retorno de lluvias.

8.2.5 Eventos Volcánicos; Tsunamis, Desertización; Erosión Costera

Las características del territorio en estudio, no ofrecen la posibilidad de ocurrencia de ninguno de estos eventos. Por una parte, la cuenca no posee ni tiene cerca ningún volcán, por lo tanto no se esperan efectos producidos por erupciones volcánicas, a excepción de la recepción de cenizas provenientes principalmente del complejo Ruiz – Tolima.

Tampoco se encontrará la cuenca bajo el efecto de la ocurrencia de tsunamis. Su ubicación geográfica, en la parte media de la cordillera central, garantiza que no será alcanzado por oleajes de ningún tipo.

La misma explicación anterior es válida cuando se habla de erosión costera; al no poseer costas, esta región del oriente Antioqueño no podrá verse afectada por este tipo de evento.

La desertización es un evento que se presenta bajo ciertas condiciones geográficas y climáticas que esta cuenca no posee.

Por lo anterior, estos tipos de eventos no son analizados en el presente trabajo.

8.3 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGOS

Según el Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (MINAMBIENTE-MINHACIENDA-FONDO ADAPTACIÓN, 2014), “la vulnerabilidad es el factor del riesgo interno al sujeto, objeto o sistema expuesto a una amenaza, que corresponde a su disposición intrínseca a ser dañado. El análisis del riesgo tiene como objetivo fundamental determinar las pérdidas que pueden sufrir en lapsos dados los activos expuestos, como consecuencia de la ocurrencia de amenazas naturales, integrando de manera racional las incertidumbres que existen en las diferentes partes del proceso”.

En el contexto del análisis de riesgo, la vulnerabilidad se presenta de la siguiente manera, de acuerdo con lo estipulado en el Protocolo mencionado:

$$\text{RIESGO} = \text{AMENAZA} \times \text{VULNERABILIDAD}$$

A continuación se presenta el desarrollo de ambos análisis dentro del proyecto. Es importante señalar que estos análisis se llevan a cabo para los siguientes tipos de eventos: Inundaciones, Movimientos en Masa y Avenidas Torrenciales.

8.3.1 Análisis de vulnerabilidad

8.3.1.1 Metodología

Se retoma la relación anterior:

$$\text{RIESGO} = \text{AMENAZA} \times \text{VULNERABILIDAD}$$

Ecuación 16. Evaluación del Riesgo.

Donde la VULNERABILIDAD se define como:

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

Lo anterior expresado en índices es:

$$\text{VULNERABILIDAD} = (\text{Índice de pérdidas o de exposición IP} \times \text{Índice de fragilidad}) / \text{Índice de resiliencia}$$

Ecuación 17. Cálculo de la Vulnerabilidad por medio de Índices.



Los conceptos EXPOSICIÓN, FRAGILIDAD Y FALTA DE RESILIENCIA se explican a continuación, de acuerdo con la definición adoptada por el Protocolo referenciado.

EXPOSICIÓN: Inventario de bienes naturales o no (elementos expuestos) que pueden ser afectados por los diferentes eventos amenazantes y se expresa en términos de activos y de población. La exposición se mide 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.

SUSCEPTIBILIDAD O FRAGILIDAD: Es el grado de fragilidad de los diferentes elementos y sectores (económico, social, ambiental) para soportar el embate de los eventos amenazantes involucrados dentro del estudio de cuencas hidrográficas, establecido a través del análisis de índices e indicadores particulares que los caracteriza; se mide como un Índice de Fragilidad y varía de acuerdo a esta propuesta entre 0 y 3. La fragilidad socioeconómica puede representarse mediante indicadores de pobreza, analfabetismo, desempleo, inflación, inseguridad, degradación ambiental, etc.

RESILIENCIA: Se refiere a la falta de (SIC) capacidad para enfrentar el impacto de los fenómenos amenazantes y se relaciona con el nivel de desarrollo y la existencia explícita de una gestión del riesgo; esta se puede representar mediante indicadores de gobernabilidad, protección financiera, capital humano, desarrollo tecnológico, etc. Se mide como un Índice de Falta de Resiliencia y varía entre 0 y 1.

El análisis de vulnerabilidad se realiza entonces retomando los tres factores descritos: EXPOSICIÓN, FRAGILIDAD Y FALTA DE RESILIENCIA, de acuerdo con la metodología descrita por el Protocolo del Fondo Adaptación. A continuación se describe la metodología utilizada para el análisis de estos tres factores, según la mencionada metodología.

8.3.1.1.1 Análisis De La Exposición.

Para este análisis se tomaron como elementos expuestos aquellos que se encuentren dentro de la descripción de las coberturas en la metodología Corine Land Cover. Por este motivo, con base en el mapa de coberturas generado en el presente proyecto se realizan las siguientes actividades:

1. Efectuar una zonificación para obtener zonas homogéneas para centros poblados (ZHCP) y zonas homogéneas rurales (ZHR).

2. Asignar a las zonas homogéneas obtenidas previamente una serie de índices e indicadores que permitan establecer el modelo de exposición de la zona en estudio.

A continuación se detallan los requerimientos para cada uno de los dos temas anteriores.

1. Zonas homogéneas.

Para las Zonas Homogéneas Centros Poblados (ZHCP):

A partir del mapa de coberturas se extraen los polígonos que definan centros poblados, a los cuales se les asignará los siguientes atributos:

- Área de la zona en km².
- Uso de la zona: tipo residencial, comercial, educación, salud, etc, según el mapa de coberturas.
- Densidad de población: número de habitantes / km² de construcción para el periodo del día en el cual se prevé la mayor ocupación, ya sea el día o la noche. Se definen tres rangos: Densidad baja (DB), Densidad media (DM) y Densidad alta (DA) de la siguiente manera:

Tabla 452. Categorías para la densidad poblacional.

DENSIDAD POBLACIONAL	CATEGORÍA
Menor de 25 hab/km ²	Baja
Entre 25 y 75 hab/km ²	Media
Mayor de 75 hab/km ²	Alta

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

- Densidad promedio de construcciones: número de construcciones / km² de terreno, obtenido a partir del SIG.

Para las Zonas Homogéneas Rurales (ZHR):

Se realiza la zonificación con base en tipos de cultivos, bosques, densidad de vegetación mediante una reclasificación del mapa de cobertura y uso. Se extraen de estas zonas todos los centros poblados, los cuales entran en la categoría ZHCP. Esta zonificación tendrá los siguientes atributos:

- Área de la zona en hectáreas.
- Cobertura y uso principal de la zona: tipo de cultivos, bosques, etc, según el mapa de coberturas.
- Relieve: plana, ondulada, montañosa. De acuerdo con el mapa de pendientes se reclasifica de la siguiente manera:

Tabla 453. Categorías para el relieve según la pendiente.

CATEGORÍA DE RELIEVE	PENDIENTE
Plano	0 – 7
Ondulado	7,1 – 25
Montañoso	Más de 25

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

- Categoría socioeconómica: alta, media, baja. Se asimila con el producto del análisis de vulnerabilidad social elaborado en el presente proyecto, en el cual se tomaron en cuenta variables sociales básicas que permiten determinar una alta vulnerabilidad a la categoría socioeconómica correspondiente al nivel bajo, y de manera similar, una baja vulnerabilidad social para el nivel más alto.

2. Índice de pérdida o daño.

El objetivo es obtener los valores de reposición estimados del bien en los casos que ello aplique. Para ello inicialmente se definen indicadores económicos y posteriormente se determina el índice de pérdida o daño.

INDICADORES:

Para las Zonas Homogéneas Centros Poblados (ZHCP):

Se indica el tipo de infraestructura y su valor de reposición, el cual se calcula con base en los índices de precios por m² o km² o ml para la zona de estudio. La infraestructura que se considerará es: Red vial primaria y secundaria, puentes en dicha red vial, infraestructura de servicios. Para cada zona homogénea de análisis y con base en la densidad de habitantes por km² se obtiene el IVE o índice de precios por km². Mediante el SIG se realiza el cálculo de la longitud de vías primarias y secundarias en el polígono, así como los puentes existentes o cruces importantes de vías con corrientes de agua. Estos datos se combinan con valores estimados de la infraestructura considerada.

Los indicadores de exposición para centros poblados son:

- Área total construida en la zona: (área ocupada promedio/ km²) x área del polígono.
- Valor total de reposición: (área total construida de la zona) x índice de precios unitarios por m² promedio de la zona. Este valor se convierte a km².

$$\text{Vuso (US\$)} = \text{CM (km}^2\text{)} \times \text{IVE (US\$/km}^2\text{)}$$

Ecuación 18. Valor de reposición en zonas homogéneas centros poblados.

Donde:

Vuso = valor expuesto de cada uso o valor total de reposición

CM = cantidad de área construida para cada uso

IVE = índice de precios unitarios por km² promedio de la zona

- Ocupación: (índice promedio de ocupación) x área total construida en la zona. Se define así:

$$\text{Ouso (hab)} = \text{CM (km}^2\text{)} \times \text{IH (hab/km}^2\text{)} \times \text{PO (\%)}$$

Ecuación 19. Índice de ocupación.

Donde:

Ouso = cantidad de personas ocupando un uso, Ocupación

CM = cantidad de área construida para cada uso

IH = índice de ocupación para cada uso

PO = porcentaje de ocupación de cada uso y para cada escenario (día o noche). Si no se tiene ese dato se define este valor como 1 pensando en una ocupación total ya sea en el día o en la noche.

Para las Zonas Homogéneas Rurales (ZHR):

El indicador se obtiene a partir del precio estimado por hectárea en cada zona, los cuales se extrajeron de información proveniente de las entidades departamentales que trabajan en el tema agrícola. Las áreas de ecosistemas estratégicos, zonas de reserva o áreas protegidas se excluyen del análisis.

- Valor de reposición para las zonas productivas (agrícolas, ganaderas, etc) o áreas estratégicas generadoras de servicios ambientales.
- Área total zonas productivas (agrícolas, ganaderas, etc) o áreas estratégicas generadoras de servicios ambientales = (área ocupada promedio por tipo de uso/ha) x área del polígono

- Valor total de reposición = área total zonas productivas (agrícolas, ganaderas, etc) o áreas estratégicas generadoras de servicios ambientales de la zona x índice de precios unitarios por ha promedio de la zona.

$$\text{Vuso (US\$)} = \text{CM (ha)} \times \text{IVE (US\$/ha)}$$

Ecuación 20. Valor de reposición en zonas homogéneas rurales.

Donde:

Vuso = valor expuesto de cada uso o valor total de reposición

CM = cantidad de área dedicada a cada uso (ha)

IVE = índice de precios unitarios por ha promedio de la zona

ÍNDICE DE PÉRDIDA O DAÑO:

El porcentaje de daño o índice de pérdida (IP) se define para cada una de las zonas homogéneas analizadas, y se define como:

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

Ecuación 21. Índice de pérdida o daño.

Donde:

Vi = valor inicial del bien (antes del evento)

Vf = valor final del bien (después del evento o valor de reposición Vuso)

8.3.1.1.2 Análisis De La Fragilidad.

Se trabajan los siguientes análisis:

- Fragilidad física (Ff): condición de susceptibilidad de los asentamientos humanos de ser afectados por estar en el área de influencia de los fenómenos peligrosos y por su falta de resistencia física ante los mismos. Se expresa según las siguientes categorías:

Tabla 454. Índice de fragilidad física según nivel de amenaza.

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

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

- Fragilidad sociocultural (Fsc): predisposición que surge como resultado de nivel de marginalidad y segregación social del asentamiento humano y sus condiciones de desventaja y debilidad relativa por factores socio económicos. Es la suma del Índice de Calidad de Vida (ICV) y el Índice de Fragilidad Cultural. Para efectos de este trabajo, y dado que no se cuenta con el ICV, se asume el Índice de Pobreza Multifuncional calculado en el presente proyecto, el cual para su determinación asumió factores similares al ICV. Las categorías y valores que se asumen son las siguientes:

Tabla 455. ICV y Fragilidad Sociocultural.

VALOR	ICV	CATEGORÍA
0,1	Mayor de 80	Baja
0,25	Mayor de 67 y menor que 80	Media
0,5	Menor de 67	Alta

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

Tabla 456. Categorías para la evaluación de la fragilidad cultural.

VALOR	ÁREAS DE PATRIMONIO NATURAL O DIMENSIÓN CULTURAL	CATEGORÍA
0,0	-----	Baja
0,25	-----	Media
0,5	-----	Alta

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

La fragilidad sociocultural será entonces la suma de:

$$\text{Fragilidad sociocultural} = \text{Condiciones de vida (ICV)} + \text{Dimensión cultural (Fc)}$$

Ecuación 22. Fragilidad sociocultural.

- Fragilidad ecosistémica (Fe): índice que varía entre 0 y 1. Si la cobertura se encuentra en un área protegida, el valor de la fragilidad siempre será 1 o categoría alta. Si no se encuentra en área protegida, a juicio de expertos o de acuerdo a categorizaciones existentes en ecosistemas similares, se debe determinar si es un ecosistema estratégico y se evaluará de la siguiente manera:

Tabla 457. Indicador de la fragilidad de ecosistemas estratégicos.

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

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

La fragilidad total se establece de la siguiente manera:

$$\text{Fragilidad} = \frac{\text{Fragilidad física} + \text{Fragilidad sociocultural} + \text{Fragilidad ecosistémica}}{3}$$

Ecuación 23. Fragilidad total.

El índice varía entre 0 y 1 de la siguiente manera:

Tabla 458. Categorías de fragilidad total.

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

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

8.3.1.1.3 Análisis De La Resiliencia.

La falta de resiliencia expresa las limitaciones de acceso y movilización de recursos del asentamiento humano, su incapacidad de respuesta y sus deficiencias para absorber el impacto. Aborda la afectación de las actividades productivas y de la infraestructura estratégica de transporte, servicios públicos, etc. La evaluación se realiza de la siguiente forma:

Tabla 459. Indicador de Falta de Resiliencia Económica.

VALOR	ÁREAS Y ECOSISTEMAS ESTRATÉGICOS	CATEGORÍA
1,00	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. Recuperables en el largo plazo.	Muy Alta
0,75	Se desarrollan algunas actividades económicas y se localiza infraestructura estratégica. Daños ambientales muy grandes difíciles de reparar. Recuperables en el mediano plazo.	Alta

VALOR	ÁREAS Y ECOSISTEMAS ESTRATÉGICOS	CATEGORÍA
0,50	Hay pocas actividades productivas o de servicios. Pérdidas ambientales serias pero reparables. La recuperación se puede dar en el corto plazo.	Media
0,25	Hay pocas actividades productivas o de servicios locales. Pérdidas ambientales locales. La recuperación se puede dar en el corto plazo.	Baja
0,0	No se desarrollan actividades productivas y no hay infraestructura. Elementos ambientales intactos.	Cero

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

8.3.1.1.4 Valor Final De La Vulnerabilidad.

Luego de evaluados cada uno de los elementos que hacen parte del modelo de vulnerabilidad, esta se establece de la siguiente forma:

Índice de vulnerabilidad (IV) = (Índice de pérdida x Índice de fragilidad x Índice de falta de resiliencia)

Ecuación 24. Índice de vulnerabilidad.

La clasificación de los niveles de vulnerabilidad se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 460. Niveles de vulnerabilidad.

VALOR	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD	SÍMBOLOS
0,75 - 1	Alta	
0,30 - 0,75	Media	
0 - 0,30	Baja	

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

8.3.1.2 Resultados

A continuación se presenta el análisis de vulnerabilidad para la cuenca del Río Nare. Es importante recordar que los incendios forestales no son objeto de este análisis, tal como lo reseñan los Alcances Técnicos. Por otra parte, en el caso de las Avenidas Torrenciales el análisis se sintetiza dado que no se generaron polígonos de amenaza, sino que la amenaza corresponde a tramos de líneas de los cauces afectados.

La información de entrada, todos los insumos y bases de datos que soportaron este análisis, se presentan en el Anexo 8.7.

Resumen.

La cuenca del Río Nare presenta unos altos índices de pérdida por la ocurrencia de inundaciones en Puerto Nare, así como en su parte alta y media por los movimientos en masa. En Puerto Nare se presenta las mayores fragilidades físicas y sociales ante inundación. La fragilidad cultural es igual

en toda la cuenca (Baja), al igual que la sociocultural. La fragilidad ecosistémica se asocia con las coberturas protectoras que se encuentran por toda la cuenca. Los índices de fragilidad se concentran entonces en Puerto Nare y las partes altas y medias de la cuenca, principalmente los sectores de Concepción y Alejandría. La resiliencia es baja en gran parte de la cuenca. Finalmente la vulnerabilidad ante inundación varía entre baja y media en Puerto Nare, y ante movimientos en masa varía entre media y baja en las partes altas y medias. El comportamiento del riesgo es similar al de la vulnerabilidad.

ANÁLISIS DE LA EXPOSICIÓN

El análisis de exposición se determina a través de dos insumos: las Zonas Homogéneas y el Índice de Pérdida o Daño. A continuación se presentan estos insumos.

Zonas Homogéneas.

Zonas Homogéneas Centros Poblados (ZHCP):

En la cuenca del Río Nare se identificaron como Zonas Homogéneas Centros Poblados los siguientes:

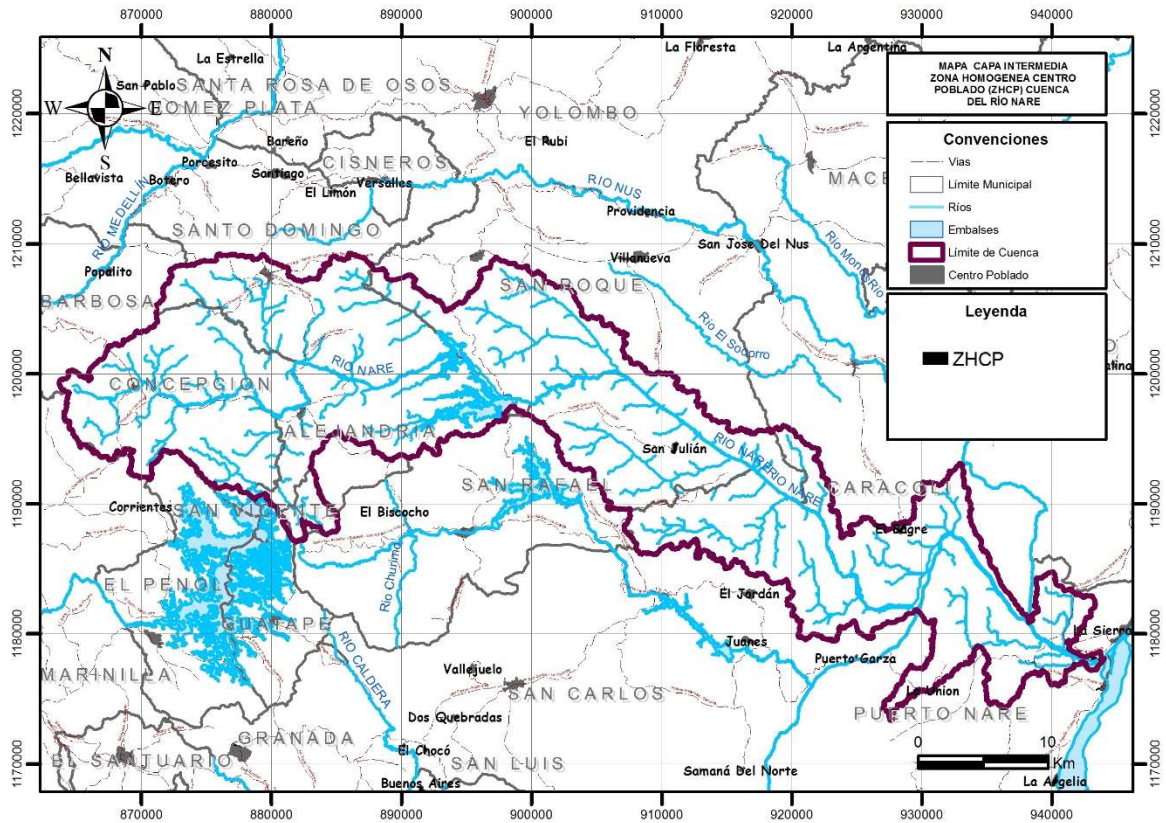


Figura 487. Zonas Homogéneas Centros Poblados en la cuenca.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

Se observa que los Centros Poblados en la cuenca, corresponden a las cabeceras municipales que se encuentran dentro del territorio de la cuenca.

Zonas Homogéneas Rurales (ZHR):

Para la cuenca del Río Nare se identificaron las siguientes:

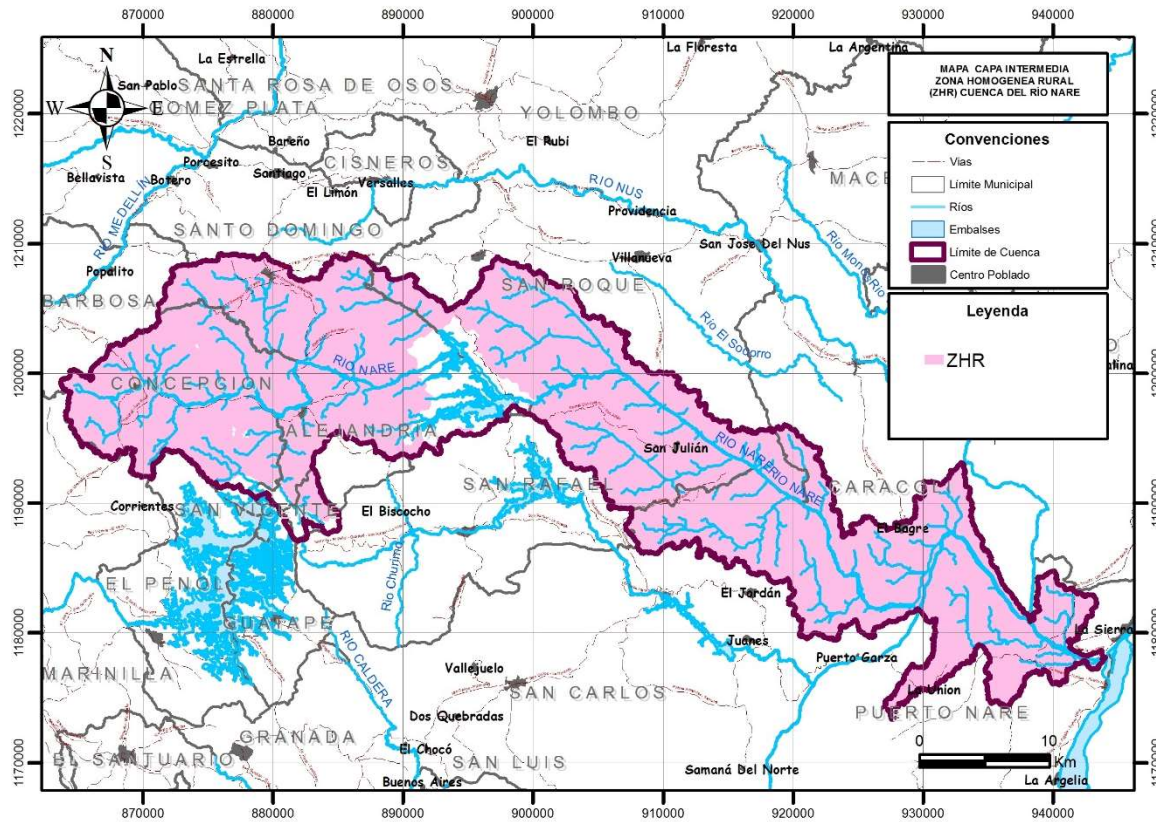


Figura 488. Zonas Homogéneas Rurales en la cuenca.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

Las anteriores zonas homogéneas aplican para todos los tipos de eventos. Por esta razón se presentan en este apartado pero en los otros tipos de eventos solo se mencionan, no se presentan nuevamente ambas figuras.

Con ambas zonas homogéneas, la de los centros poblados y las rurales, se genera un producto unificado de Zonas Homogéneas, el cual es el siguiente:

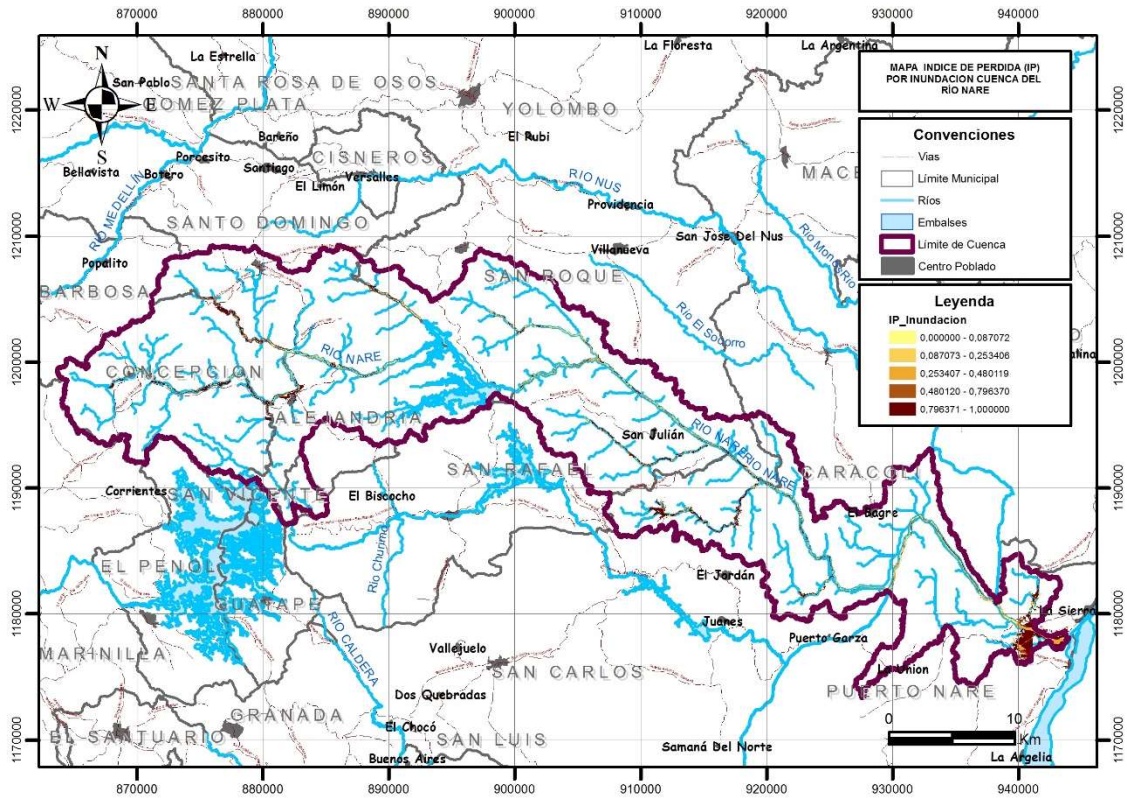


Figura 490. Índice de Pérdida por Inundación.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

Puede apreciarse en la Figura anterior, que las mayores pérdidas por la ocurrencia de inundaciones se esperan en las áreas aledañas al centro urbano de Alejandría, y en Puerto Nare.

Movimiento en masa.

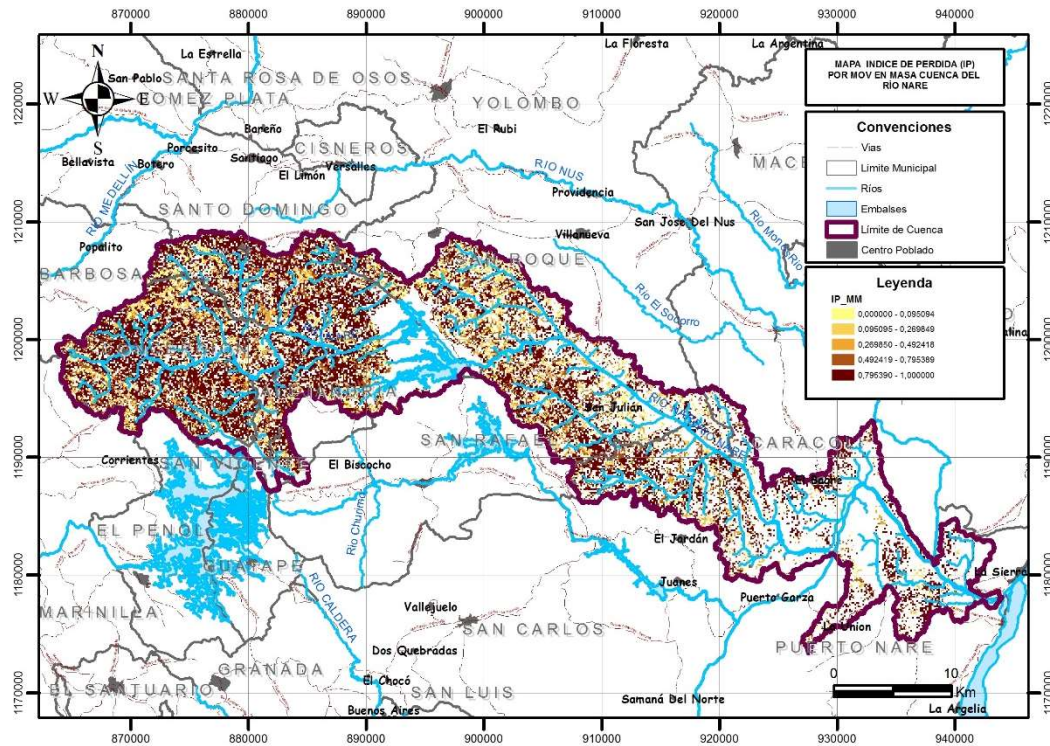


Figura 491. Índice de Pérdida por Movimiento en Masa.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

La mayor parte del territorio en la parte alta de la cuenca está sometida a pérdidas importantes; esto se debe primordialmente al alto valor del suelo y de las construcciones, y al uso y ocupación del suelo en esta zona.

La información de base para calcular la pérdida en relación con las coberturas, se observa en el Anexo 8.7.

ANÁLISIS DE LA FRAGILIDAD

La Fragilidad se analiza desde los siguientes factores, ya explicados en la metodología:

Fragilidad Física

Fragilidad Sociocultural

Fragilidad Ecosistémica

A continuación se presenta el análisis y la espacialización de cada uno de ellos en la cuenca, por tipo de evento.

Inundación.

Fragilidad Física:

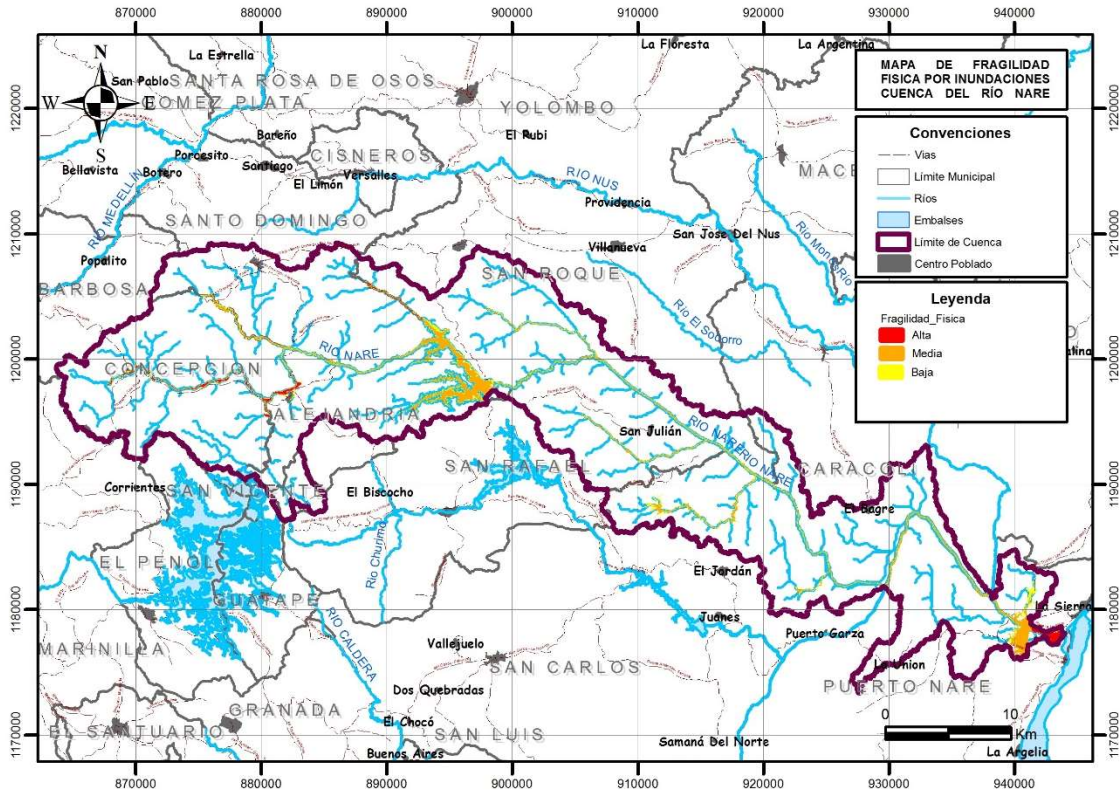


Figura 492. Fragilidad Física ante inundación.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

En general la Fragilidad Física Alta por inundación se presenta en áreas muy cerca del centro urbano de Alejandría y en Puerto Nare, aledañas a las corrientes que presentan áreas inundables. Se observa Media Fragilidad Física ante este tipo de evento en las demás corrientes que surcan la cuenca.

Movimiento en masa.

Fragilidad Física:

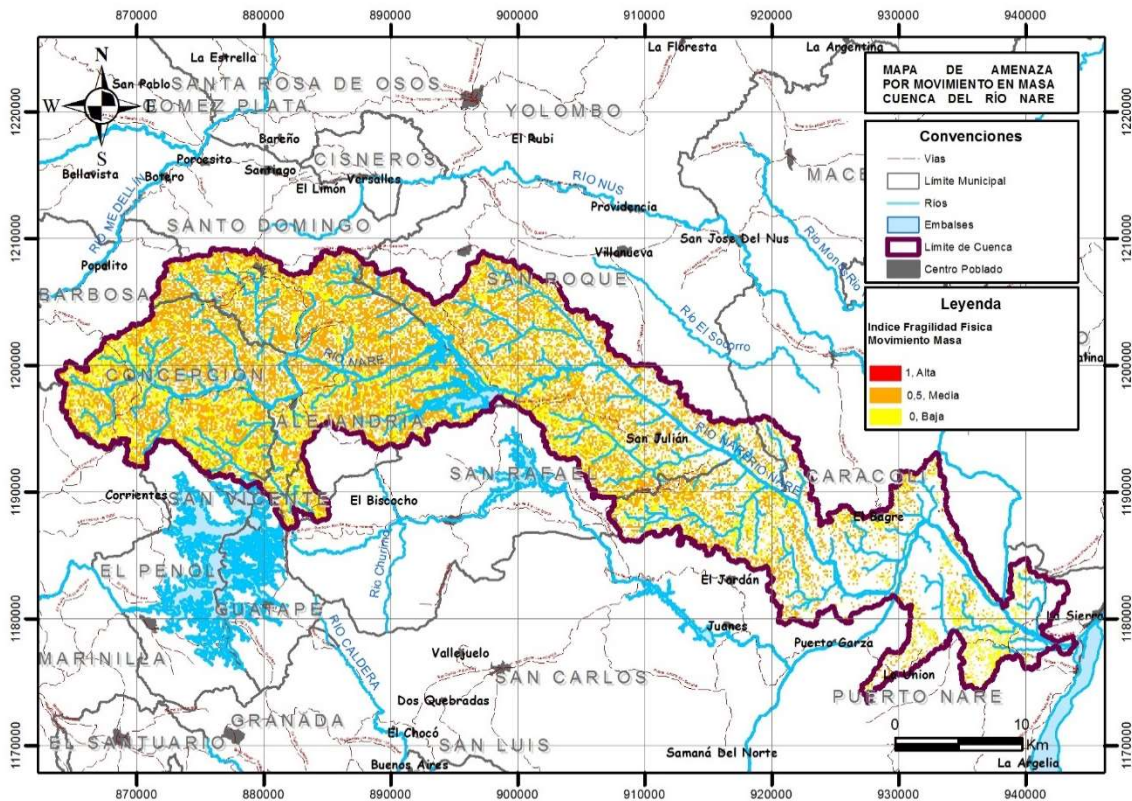


Figura 493. Fragilidad Física ante movimiento en masa.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

La Fragilidad Física Alta ante movimiento en masa se presenta en sectores pequeños y aislados en la parte alta de la cuenca. En general la Fragilidad Física es Media en gran parte de la cuenca.

Fragilidad Sociocultural:

Para construir esta fragilidad se definieron dos insumos: la Fragilidad Social y la Fragilidad Cultural, los cuales aplican para todos los tipos de eventos analizados en el presente POMCA.

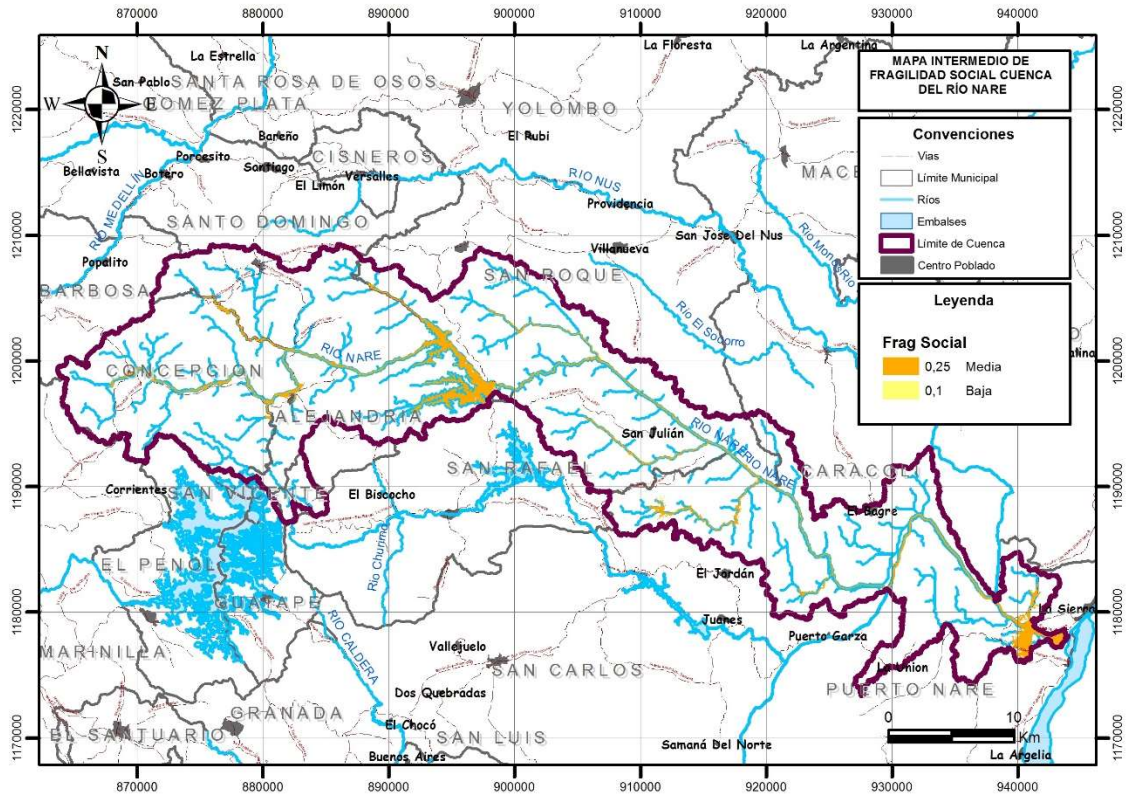


Figura 494. Fragilidad Social en la cuenca.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

En la cuenca no se presenta Fragilidad Social Alta. En general es Baja en las franjas que ocupan las principales quebradas de la cuenca. Es Alta en la zona de Puerto Nare.

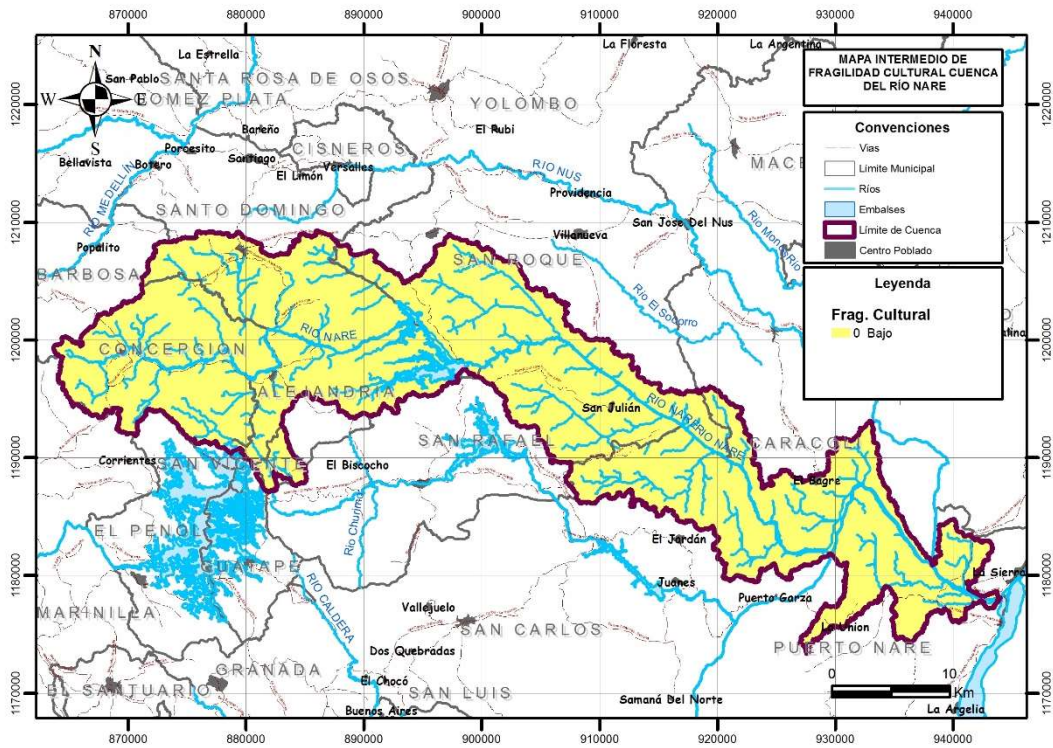


Figura 495. Fragilidad Cultural en la cuenca.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

En la cuenca solo se presenta Fragilidad Cultural Baja.

El cruce de las anteriores fragilidades, la social y la cultural, genera la fragilidad Sociocultural, la cual se presenta a continuación.

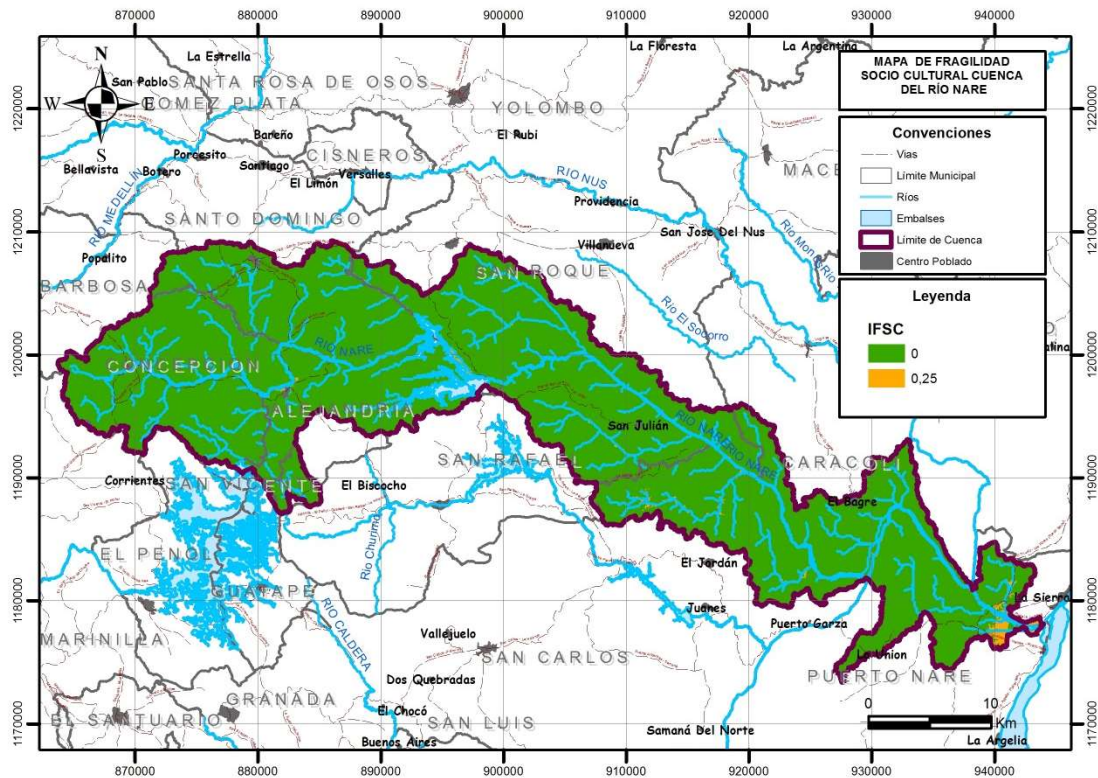


Figura 496. Fragilidad Sociocultural en la cuenca.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

En términos generales, la Fragilidad Sociocultural es Baja en prácticamente toda la cuenca, con una importante excepción en Puerto Nare.

Fragilidad ecosistémica:

Esta Fragilidad también aplica para el análisis de todos los tipos de eventos.

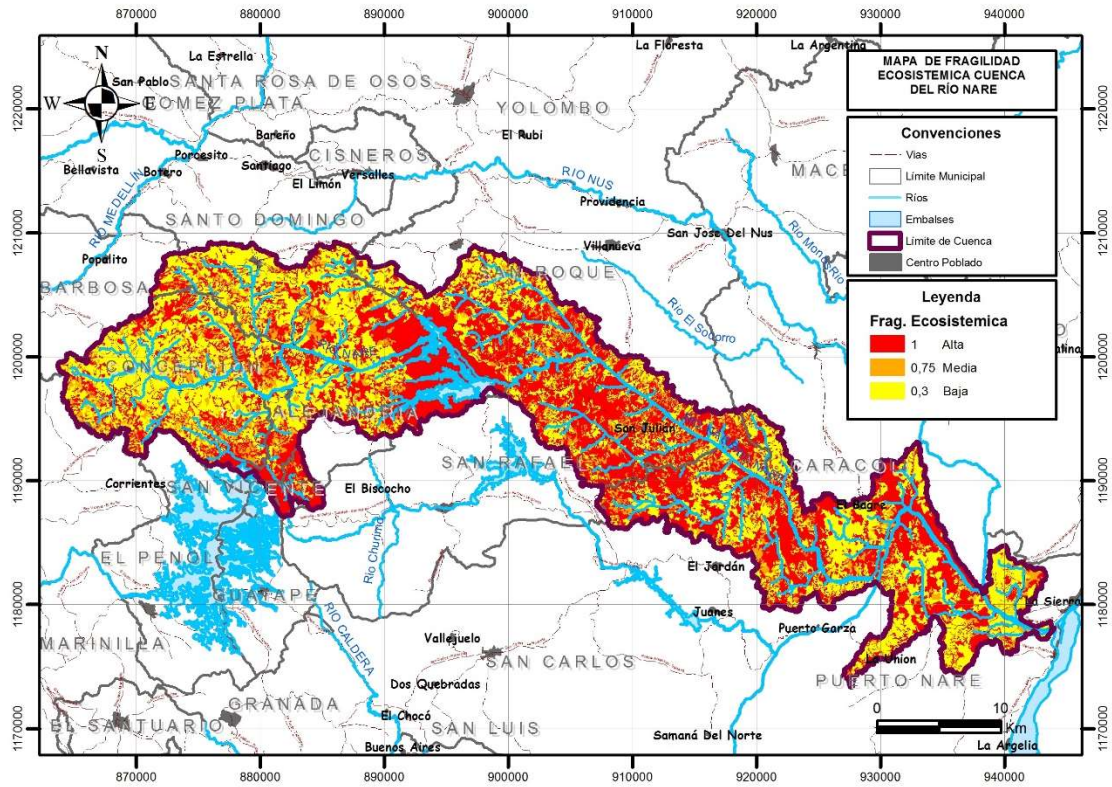


Figura 497. Fragilidad Ecosistémica en la cuenca.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

La Fragilidad Ecosistémica se asocia principalmente al área de embalse y a coberturas de bosque que se encuentran en la parte media de la cuenca.

Combinando las anteriores fragilidades de la manera que indica la metodología, el resultado es el Índice de Fragilidad Total, cuya espacialización para cada tipo de evento es la siguiente:

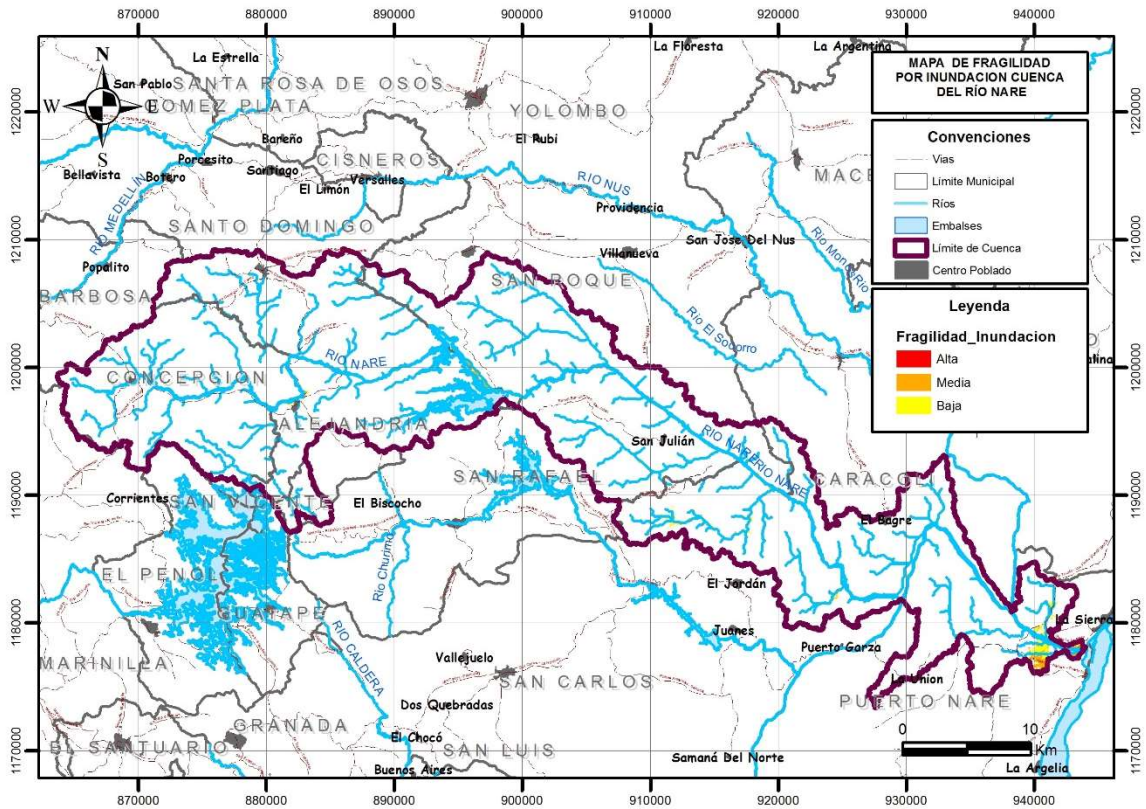


Figura 498. Índice de Fragilidad Total por Inundación.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

La Fragilidad Total ante la inundación en la cuenca es en general Baja, con algunas excepciones puntuales en Puerto Nare.

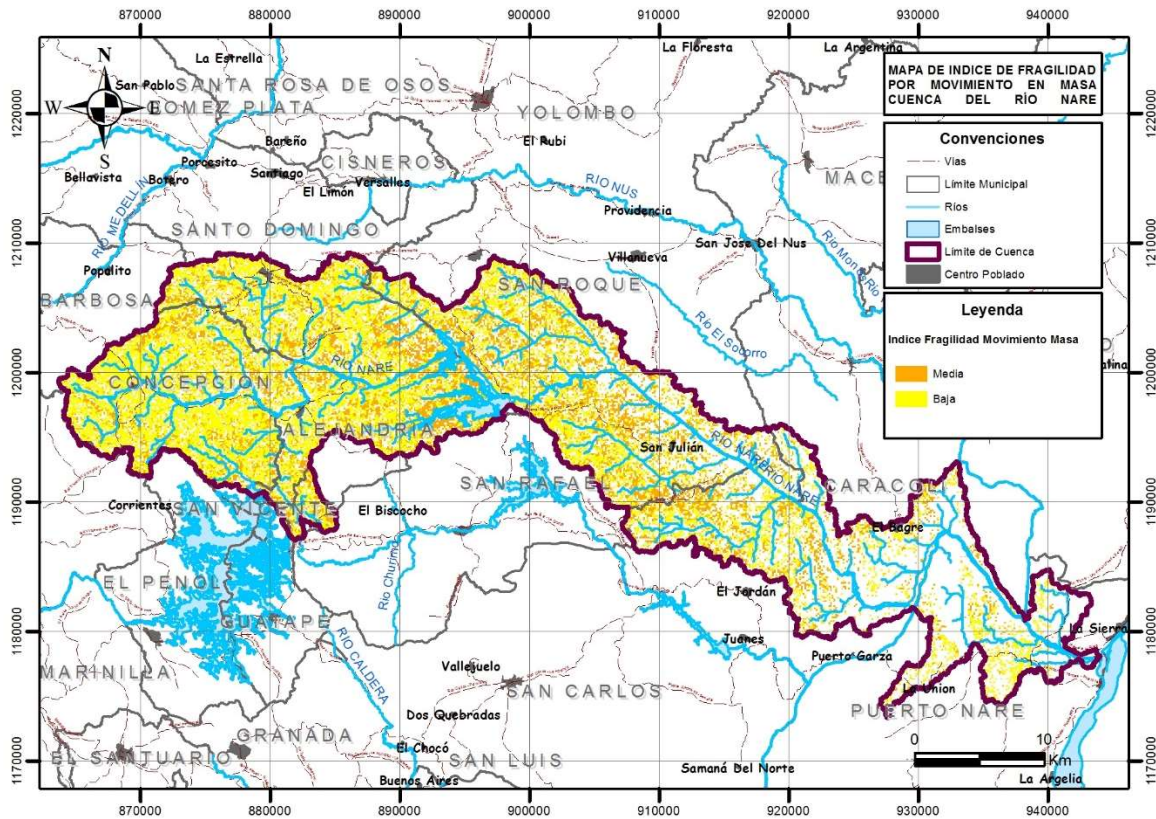


Figura 499. Índice de Fragilidad Total por Movimiento en Masa.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

La Fragilidad Total ante movimiento en masa en la cuenca es Baja en general, con algunas excepciones en pequeños polígonos diseminados en la parte media y alta. Hacia la parte baja disminuye notablemente este índice.

ANÁLISIS DE LA RESILIENCIA

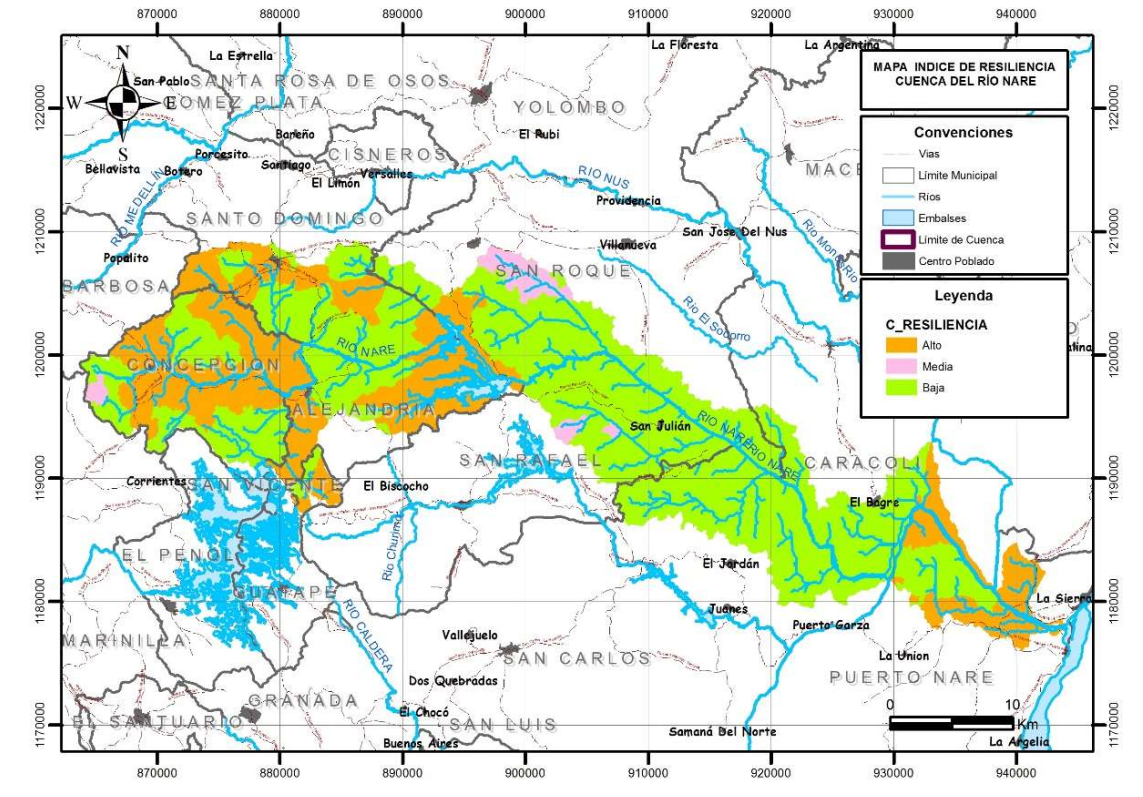


Figura 500. Índice de Resiliencia.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

Este índice, que aplica para todos los tipos de eventos analizados, es Alto en algunos sectores de la parte alta de la cuenca. En general el Índice es Bajo en gran parte del territorio.

VALOR FINAL DE LA VULNERABILIDAD

De acuerdo con la Ecuación 24, la vulnerabilidad se construye a partir de los anteriores tres índices: índice de Pérdida, Índice de Fragilidad y el Índice de Falta de Resiliencia. El resultado para la cuenca es el siguiente:

Inundaciones.

La vulnerabilidad ante inundaciones es Baja en gran parte de las áreas de la cuenca afectadas por este fenómeno, dados los factores de fragilidad y resiliencia que son favorables, mientras que existen unas áreas dispersas correspondientes a la categoría Media, las cuales se asocian con algunas condiciones particulares de fragilidad tanto con alto índice de pérdida, en Puerto Nare.

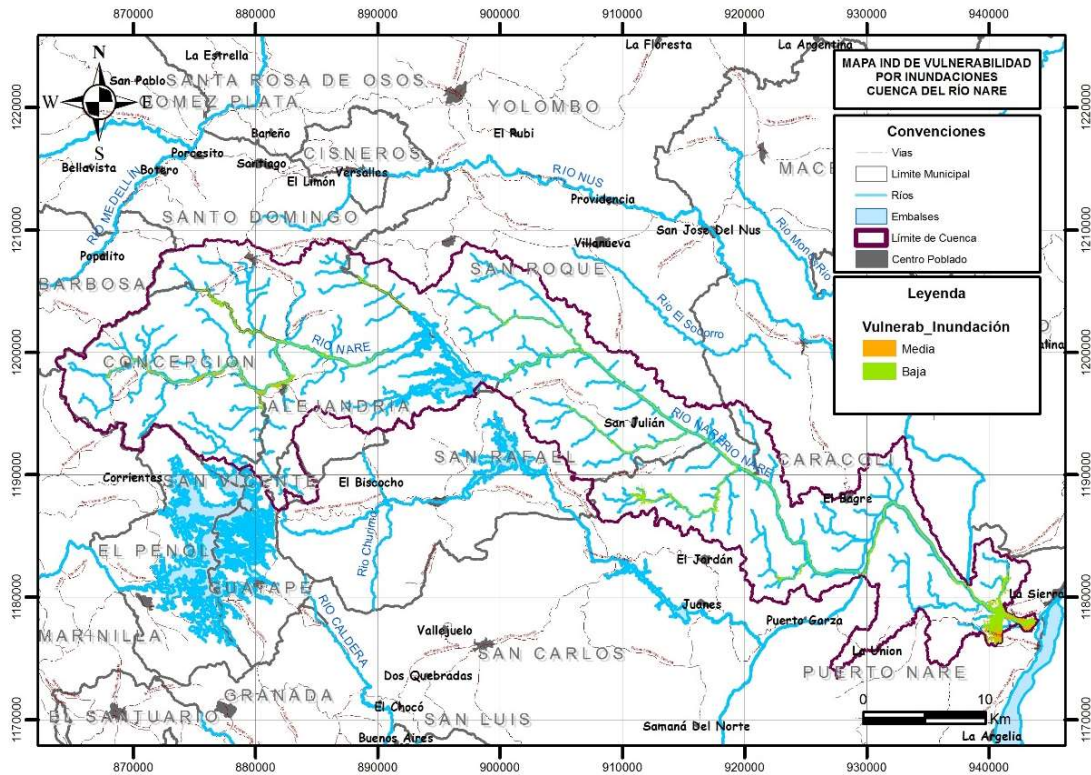


Figura 501. Vulnerabilidad ante inundaciones.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

Tabla 461. Distribución en área de la vulnerabilidad ante Inundaciones.

CATEGORÍA DE VULNERABILIDAD	ÁREA (ha)
BAJA	2.394,3
MEDIA	227,8
ALTA	0

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

Movimientos en masa.

Se observa en la siguiente figura, que predomina la Vulnerabilidad Baja ante movimientos en masa; la categoría Media se presenta fundamentalmente en pequeñas áreas en San Roque y entre Concepción y Alejandría.

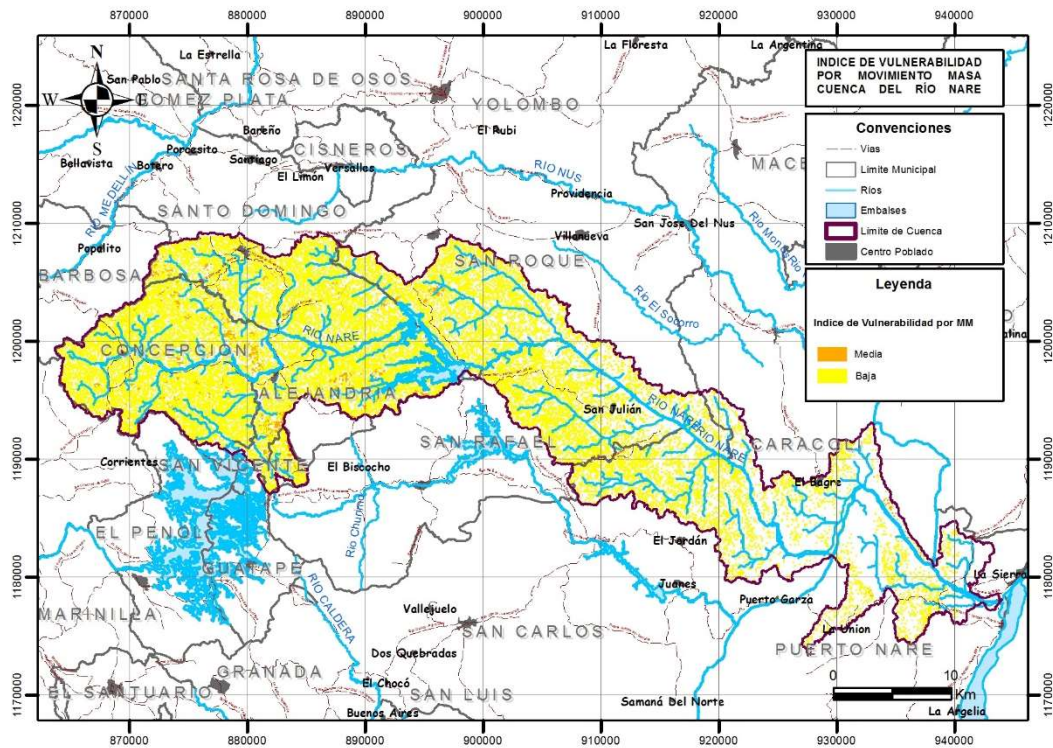


Figura 502. Vulnerabilidad ante movimiento en masa.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

Tabla 462. Distribución en área de la vulnerabilidad ante movimiento en masa.

CATEGORÍA DE VULNERABILIDAD	ÁREA (ha)
BAJA	47.521,8641
MEDIA	1.060,358
ALTA	0

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

Avenidas torrenciales.

De acuerdo con la aplicación de la metodología, y dado que no se presentan áreas cuyo tamaño sea cartografiable a la escala del presente POMCA, no fueron determinados los polígonos con vulnerabilidad ante la ocurrencia de este tipo de evento.

Compilando todos los tipos de eventos, se tiene para la cuenca del Río Nare la siguiente situación en relación con la Vulnerabilidad:

Tabla 463. Área en hectáreas de cada categoría de Vulnerabilidad según cada tipo de evento.

TIPO DE EVENTO	CATEGORÍA DE VULNERABILIDAD		
	BAJA	MEDIA	ALTA
Inundación	2.394,3	227,8	0
Movimiento en masa	47.521,8641	1.060,358	0

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

Como se observa en la tabla anterior, predomina la vulnerabilidad Baja ante movimiento en masa, por encima de los demás tipos de eventos. La categoría alta no se presenta en la cuenca.

8.3.2 Análisis de riesgo

8.3.2.1 Metodología

El método de análisis de riesgo depende del método de evaluación de amenaza aplicado, de la siguiente manera:

Amenaza probabilística:

El riesgo por amenazas naturales es comúnmente descrito mediante la llamada curva de excedencia de pérdidas que especifica las frecuencias, usualmente anuales, con que ocurrirán eventos en que se exceda un valor especificado de pérdidas. Se conoce también como tasa de excedencia y puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$v(p) = \sum_{i=1}^{N_{eventos}} \text{Pr}(P > p | \text{Evento}_i) F_a(\text{Evento}_i)$$

Ecuación 25. Tasa de excedencia.

Donde:

$v(p)$ = tasa de excedencia de la pérdida p

$F_a(\text{Evento}_i)$ es la frecuencia anual de ocurrencia del evento i

$\text{Pr}(P > p | \text{Evento}_i)$ es la probabilidad de que la pérdida sea superior a p , dado que ocurrió el i -ésimo evento

La suma en la ecuación anterior se hace para todos los eventos potencialmente dañinos. El inverso de $v(p)$ es el periodo de retorno de la pérdida p , identificado como T_r .

A partir de la ecuación presentada, la secuencia de cálculo probabilista de riesgo es la siguiente:

- Para un escenario, determinar la distribución de probabilidades de la pérdida en cada uno de los bienes expuestos.
- A partir de las distribuciones de probabilidad de las pérdidas en cada bien, determinar la distribución de probabilidad de la suma de estas pérdidas, tomando en cuenta la correlación que existe entre ellas.
- Una vez determinada la distribución de probabilidad de la suma de las pérdidas en este evento, calcular la probabilidad de que esta exceda un valor determinado, p .
- La probabilidad determinada en el inciso anterior, multiplicada por la frecuencia anual de ocurrencia del evento, es la contribución de este evento a la tasa de excedencia de la pérdida p .

Para estos POMCAS el Protocolo plantea que el riesgo se calcule como la multiplicación de la probabilidad de ocurrencia del evento amenazante por el índice de vulnerabilidad (IV) ya descrito, es decir:

$$IR = P_f \text{ (de cada evento amenazante)} \times IV$$

Ecuación 26. Índice de Riesgo.

Donde:

P_f = amenaza en términos de la probabilidad de ocurrencia del evento amenazante

IV = índice de vulnerabilidad

El riesgo se cataloga dependiendo de las pérdidas esperadas a nivel anual, tal como se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 464. Criterio de categorización del riesgo para los diferentes eventos con base en amenaza probabilística.

CATEGORÍA DEL RIESGO	CRITERIO
Alta	Las pérdidas esperadas anuales superan el 50% (IR promedio $\geq 0,5$)

CATEGORÍA DEL RIESGO	CRITERIO
Media	Las pérdidas esperadas anuales se encuentran entre el 25% y 50% (IR promedio entre 0,25 y 0,5)
Baja	Las pérdidas esperadas anuales son inferiores al 25% (IR promedio < 0,25)

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

Con los datos presentados para los niveles de amenaza para el escenario seleccionado y los niveles de vulnerabilidad calculados a partir de los índices propuestos, se calculan los niveles de riesgo para el escenario seleccionado. Este análisis se debe efectuar para los diferentes tipos de amenazas.

Tabla 465. Matriz propuesta para la categorización de niveles de riesgo del IR con amenaza probabilística.

NIVELES DE AMENAZA (Pf)	NIVELES DE VULNERABILIDAD (IV)			NIVEL DE RIESGO (IR)
	Nivel 1 ALTA (75% a 100%)	Nivel 1 MEDIA (30% a 75%)	Nivel 1 BAJA (< 30%)	
ALTA (75% a 95%)				
MEDIA (30% a 75%)				
BAJA (< 30%)				

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

Las pérdidas físicas y humanas asociadas a cada uno de los niveles de riesgo se calculan a partir de los índices descritos previamente para el escenario seleccionado.

Se usa un factor denominado Coeficiente de Agravamiento, el cual considera los efectos o impactos directos pueden ser iguales o del mismo orden que los impactos indirectos. El Protocolo de los POMCAS sugiere el uso de un factor de 1,7 para el caso de inundaciones y avenidas torrenciales, y 1,5 para movimientos en masa. Por lo tanto, el riesgo total es el que se presenta a continuación:

$$IR_t = IR \times F$$

Ecuación 27. Índice de Riesgo Total.

Donde:

IR_t = índice de riesgo total

IR = índice de riesgo

F = coeficiente de agravamiento: 1,5 para MM y 1,7 para inundaciones y avenidas torrenciales

Tabla 466. Matriz propuesta para la categorización de niveles de riesgo del IRt.

NIVELES DE AMENAZA (Pf)	NIVELES DE VULNERABILIDAD (IV)			NIVEL DE RIESGO (IR)	NIVEL DE RIESGO (IRt) MM IRx1,5	NIVEL DE RIESGO (IRt) Inundaciones Avenidas torrenciales IRx1,7
	Nivel 1 ALTA (75% a 100%)	Nivel 1 MEDIA (30% a 75%)	Nivel 1 BAJA (< 30%)			
ALTA (75% a 95%)						
MEDIA (30% a 75%)						
BAJA (< 30%)						

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

La leyenda asociada a cada uno de los niveles de riesgo deberá describir los aspectos referidos al evento amenazante y las condiciones de vulnerabilidad asociadas a las características de la zona homogénea, pérdida en vidas y bienes, etc.

Amenaza determinística:

Con los datos presentados para los niveles de amenaza para el escenario seleccionado y los niveles de vulnerabilidad calculados a partir de los índices propuestos, se calculan los niveles de riesgo 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.

Tabla 467. Matriz propuesta para la categorización de niveles de riesgo del IRt con amenaza determinística

NIVELES DE AMENAZA (Pf)	NIVELES DE VULNERABILIDAD (IV)		
	Nivel 1 ALTA (75% a 100%)	Nivel 1 MEDIA (30% a 75%)	Nivel 1 BAJA (< 30%)
ALTA	ALTO	ALTO	MEDIO
MEDIA	ALTO	MEDIO	BAJO
BAJA	MEDIO	MEDIO	BAJO

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

Al igual que en el caso de la amenaza probabilística, la leyenda asociada a cada uno de los niveles de riesgo deberá describir los aspectos referidos al evento amenazante y las condiciones de vulnerabilidad asociadas a las características de la zona homogénea, pérdidas en vidas y bienes, etc.

8.3.2.2 Resultados

Inundación.

El riesgo ante inundaciones es Bajo en gran parte de la cuenca, dados los factores de vulnerabilidad ante este tipo de evento, que son favorables, y la amenaza baja en áreas importantes; mientras que existen unas áreas correspondientes a la categoría Media, las cuales se asocian con algunas condiciones particulares de baja a media vulnerabilidad, en Puerto Nare y cercanías al centro urbano de Alejandría. El riesgo Alto se encuentra circunscrito a sectores asociados a la amenaza alta, correspondientes al sector de Puerto Nare y en las márgenes del Río entre Concepción y Alejandría.

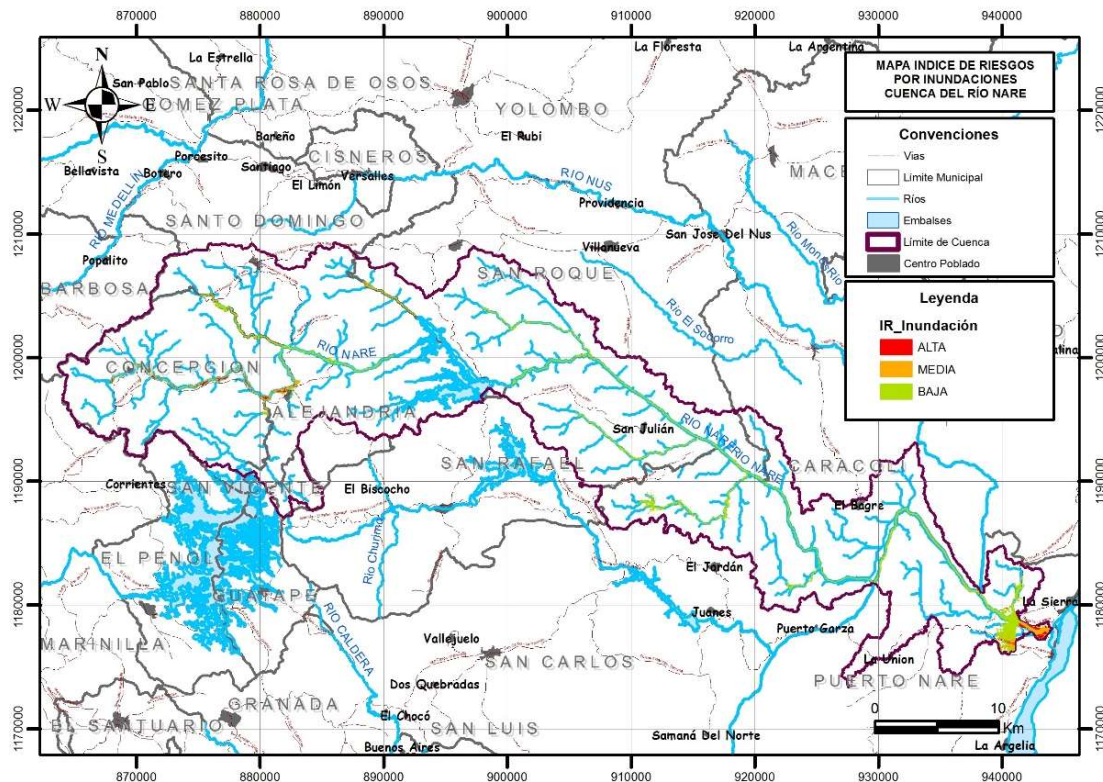


Figura 503. Riesgo ante Inundaciones.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

Tabla 468. Distribución en área del Riesgo ante Inundaciones.

CATEGORÍA DE RIESGO	ÁREA (has)
BAJO	2.203,9
MEDIO	292,9
ALTO	125,2

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

Movimiento en Masa.

Se tiene en general un riesgo Bajo ante movimiento en masa en la cuenca. La categoría Alta se presenta en pequeñas áreas en San Roque, Concepción y Alejandría. Estos resultados guardan coherencia con los obtenidos para el análisis de vulnerabilidad, en el cual estas mismas áreas se señalaron con vulnerabilidad Media, y corresponden con la realidad de estos territorios.

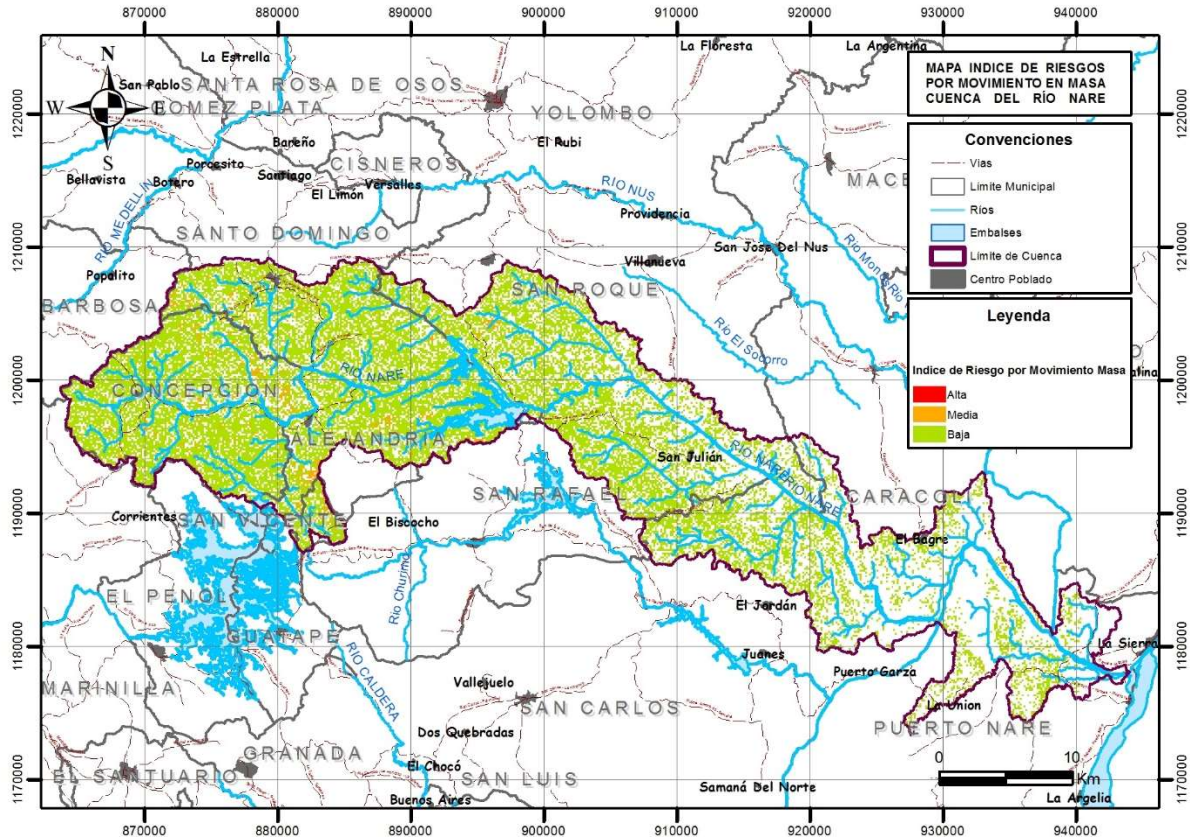


Figura 504. Riesgo ante movimiento en masa.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

Tabla 469. Distribución en área del Riesgo ante Movimiento en Masa.

CATEGORÍA DE RIESGO	ÁREA (has)
BAJO	47.518,9024
MEDIO	1.061,4692
ALTO	1,8505

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

Avenidas Torrenciales.

Según el argumento presentado en el aparte de Vulnerabilidad, al no ser generados polígonos cartografiados a la escala del presente POMCA, no se determinan áreas en Riesgo ante este tipo de evento. Estas áreas deben ser definidas a partir de estudios detallados a realizarse en las corrientes identificadas en el presente trabajo.

Compilando todos los tipos de eventos, se tiene para la cuenca del Río Nare la siguiente situación en relación con el Riesgo:

Tabla 470. Área en hectáreas de cada categoría de Riesgo según cada tipo de evento.

TIPO DE EVENTO	CATEGORÍA DE RIESGO		
	BAJO	MEDIO	ALTO
Inundación	2.203,9	292,9	125,2
Movimiento en masa	47.518,9024	1.061,4692	1,8505

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

Como se observa en la tabla anterior, predomina el riesgo Bajo ante movimiento en masa por encima de los demás tipos de eventos.

8.3.3 Elementos expuestos.

Movimientos en masa.

En la Figura 505 se observan los elementos expuestos ante la amenaza por movimiento en masa; en este mapa pueden observarse en color rojo las áreas con actividad agropecuaria y cobertura boscosa que podrían verse afectadas ante la ocurrencia de movimientos en masa.

En relación con las coberturas vegetales, los bosques en sus diferentes categorías se encuentran expuestos ante la ocurrencia de movimientos en masa. Esta situación es particularmente importante en zonas aledañas a los embalses, en los cuales existen extensas áreas en bosque denso, fragmentado y plantaciones.

La cobertura que se encuentra expuesta mayoritariamente es la correspondiente a Pastos, pues muchas de las áreas en amenaza Media por movimientos en masa se encuentran en esta cobertura.

En general son pocas las construcciones que se verían afectadas por este tipo de evento. Sin embargo, las vías son las que generalmente han presentado afectaciones por movimientos en masa, asociados a taludes con alta pendiente e inadecuado manejo de aguas de escorrentía en la parte

superior. La vía Guatapé – San Rafael – San Carlos presenta frecuentemente esta situación, al igual que la vía Concepción – Alejandría y Santo Domingo – San Roque..

En las cabeceras municipales no se presenta afectación por la ocurrencia de movimientos en masa.

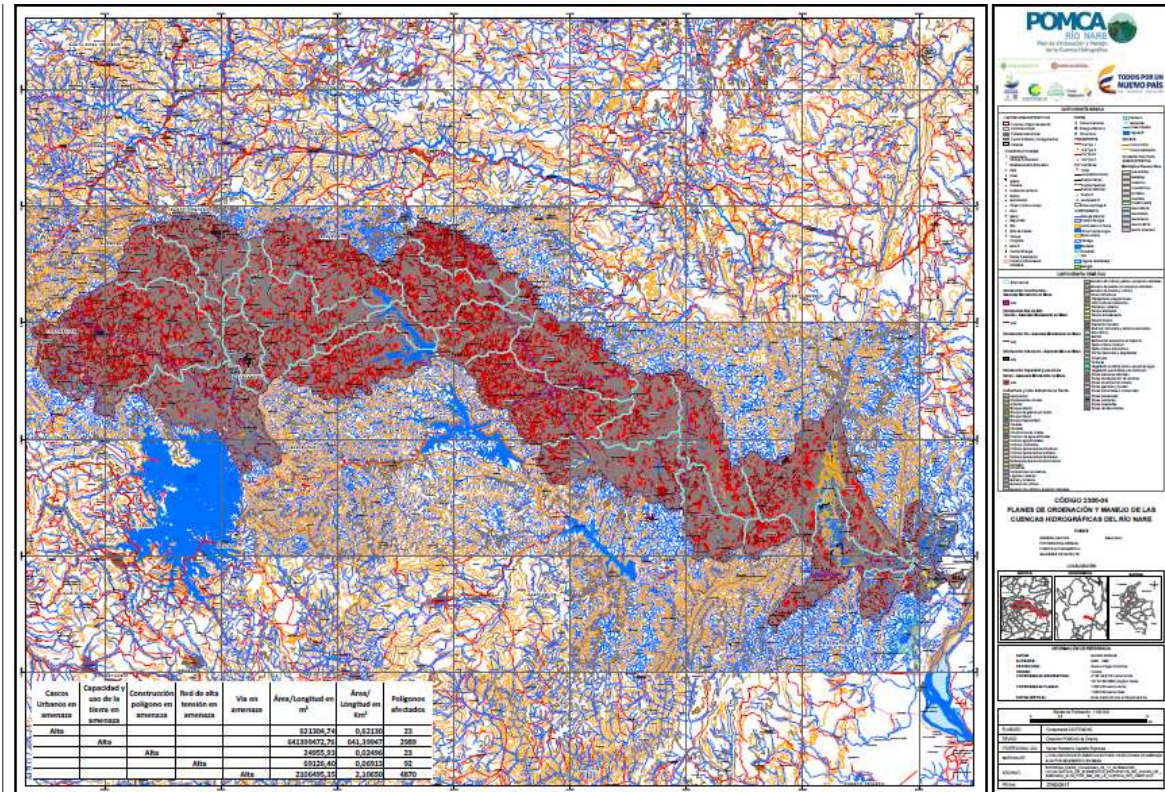


Figura 505. Elementos expuestos ante la amenaza por movimiento en masa.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

Inundación.

La mayoría de las cabeceras urbanas se encuentra expuesta a las inundaciones, como es el caso de San Rafael, San Roque, Puerto Nare, Alejandría y Concepción, las cuales en épocas de intensas lluvias presentan afectaciones en viviendas aledañas a las quebradas y ríos que las surcan. En el resto del territorio, las quebradas y ríos afectan áreas que en su mayoría presentan coberturas en pastos.

Avenidas torrenciales.

Se han presentado algunas afectaciones por la ocurrencia de avenidas torrenciales en la cuenca, la cual es Alta en las quebradas El Rosario, Quebradoncito, Chorrohondo y Santa Fé, sectores en los que se encuentran fincas y actividades agropecuarias de pequeña escala.

8.3.4 Escenarios de riesgo.

La definición de los escenarios de riesgo para la cuenca se realiza a partir de dos aspectos fundamentales, considerando lo planteado por la Guía Municipal para la Gestión del Riesgo (República de Colombia - Dirección de Gestión del Riesgo, 2010):

- El tipo de evento amenazante: Se refiere a las condiciones de riesgo generadas por la ocurrencia de un evento. Para este análisis se toman los dos tipos de eventos esperados en la cuenca: Movimiento en masa e Inundación.
- El tipo de elemento expuesto: Se refiere a los elementos que se verían afectados por la ocurrencia de un evento. Para este análisis se consideran las coberturas, vías, equipamientos y viviendas.

Para desarrollar este análisis, se consideran los dos periodos de lluvias que se presentan normalmente al año, es decir, los meses de abril – mayo y octubre - noviembre. Se escogen esos dos periodos de tiempo porque es en ellos donde se presenta la mayor probabilidad de generación de crecientes e inundaciones, y además se desarrollan los mayores niveles de saturación del suelo que detonan movimientos en masa. La presencia de lluvias intensas sería entonces el Escenario 1.

De manera contraria, los periodos de escasas lluvias son favorables a la ocurrencia de incendios forestales, por lo cual se considera de igual manera como un escenario particular, Escenario 2.

Con esta información se definen los escenarios de riesgo de acuerdo con la matriz que se presenta en las Tabla 471 y Tabla 472. Este análisis aplica fundamentalmente para las áreas definidas en los mapas de riesgo que se presentan en las Figura 503 a Figura 504. Es importante anotar que de acuerdo con el Protocolo (Fondo Adaptación, 2014), las cabeceras urbanas no se incluyen en el análisis de riesgo para el presente POMCA.

Tabla 471. Análisis de Escenarios de Riesgo para la cuenca del Río Nare. Escenario 1.

ELEMENTO EXPUESTO	TIPO DE EVENTO	Inundación	Movimiento en masa	DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO DE RIESGO	PRIORIDAD DE INTERVENCIÓN	ÁREA DE INTERVENCIÓN
Coberturas		2	3	1-A. Intensas lluvias con movimientos en masa que afectan bosques y plantaciones de las zonas de ladera en veredas ubicadas en o cerca de la divisoria de la cuenca y de las subcuencas, en los municipios de Santo Domingo, San Roque, Concepción, Alejandría y San Carlos.	1	
					2	Santo Domingo, San Roque, Concepción, Alejandría y San Carlos
					3	
Viviendas y equipamientos		2	3	1-B. Intensas lluvias con movimientos en masa que afectan viviendas y equipamientos de las zonas de ladera en veredas ubicadas en o cerca de la divisoria de la cuenca y de las subcuencas, en los municipios de Santo Domingo, San Roque, Concepción, Alejandría, San Carlos, San Rafael y Caracolí. Con inundaciones que afectan a las cabeceras de San Carlos, San Rafael, San Roque, Concepción, Puerto Nare.	1	Puerto Nare
					2	San Carlos, San Rafael y Caracolí
					3	Santo Domingo, San Roque, Concepción, Alejandría
Vías y líneas eléctricas		2	3	1-C. Las intensas lluvias afectan taludes y banca de vías.	1	
					2	Vía San Rafael - San Carlos, vía Santo Domingo – San Roque
					3	Vías rurales

ELEMENTO EXPUESTO	TIPO DE EVENTO	Inundación	Movimiento en masa	DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO DE RIESGO	PRIORIDAD DE INTERVENCIÓN	ÁREA DE INTERVENCIÓN
-------------------	----------------	------------	--------------------	-------------------------------------	---------------------------	----------------------

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

1	Baja afectación	Prioridad 1	Atención urgente
2	Media afectación	Prioridad 2	Atención mediano plazo
3	Alta afectación	Prioridad 3	Mitigación

Tabla 472. Análisis de Escenarios de Riesgo para la cuenca del Río Nare. Escenario 2.

ELEMENTO EXPUESTO	TIPO DE EVENTO	Incendios forestales	DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO DE RIESGO	PRIORIDAD DE INTERVENCIÓN	ÁREA DE INTERVENCIÓN
Coberturas		3	2-A. Incendios forestales que afectan las coberturas vegetales principalmente los bosques en sus diferentes categorías, ubicados en los municipios de Caracolí, San Carlos y partes altas cerca a divisorias de subcuencas.	1	
				2	Caracolí
				3	Todas las coberturas boscosas de la cuenca ubicadas en alguna categoría de amenaza

ELEMENTO EXPUESTO	TIPO DE EVENTO	Incendios forestales	DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO DE RIESGO	PRIORIDAD DE INTERVENCIÓN	ÁREA DE INTERVENCIÓN
Viviendas y equipamientos		1	2-B. Incendios forestales que afectan viviendas y equipamientos en áreas rurales.	1	
				2	
				3	Todas las viviendas y equipamientos ubicadas en alguna categoría de amenaza
Vías y líneas eléctricas		1	2-C. Incendios forestales que afectan vías y líneas eléctricas.	1	
				2	
				3	Todas las vías en general y líneas de alta tensión

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

- | | | | |
|---|------------------|-------------|------------------------|
| 1 | Baja afectación | Prioridad 1 | Atención urgente |
| 2 | Media afectación | Prioridad 2 | Atención mediano plazo |
| 3 | Alta afectación | Prioridad 3 | Mitigación |

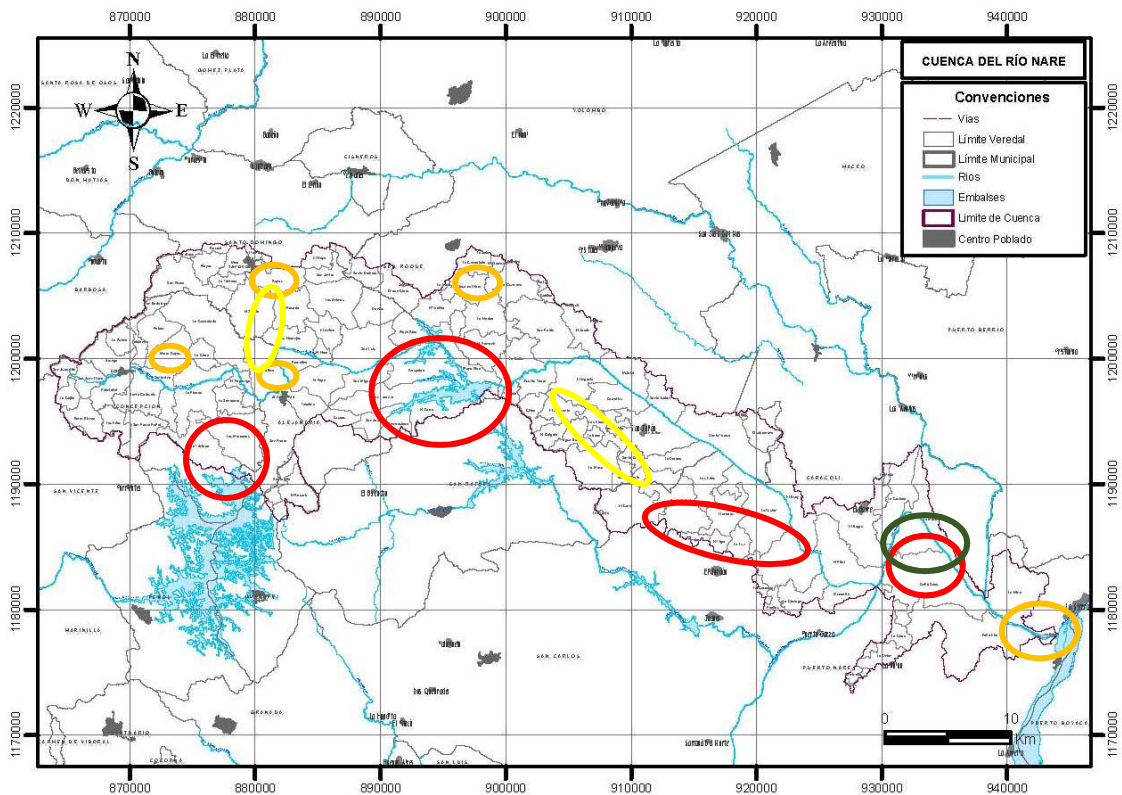


Figura 506. Escenarios de riesgo en la cuenca.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

- | | | | |
|--------------|--|--------------|--|
| Escenario 1A | | Escenario 2A | |
| Escenario 1B | | Escenario 2B | |
| Escenario 1C | | Escenario 2C | |

8.3.5 Análisis de los escenarios priorizados y su relación con la vulnerabilidad.

El comportamiento de los elementos expuestos ante la ocurrencia de un tipo de evento amenazante, depende sin duda del tipo de evento, además del grado de exposición al mismo, de la fragilidad del elemento expuesto y de su resiliencia, tal como fue analizado en el numeral donde fue definida la vulnerabilidad.

A partir de los escenarios de riesgo priorizados y definidos en el numeral 7.3.4, y espacializados en la Figura 506, se analizó la relación entre ellos y la vulnerabilidad definida anteriormente, teniendo en cuenta que la vulnerabilidad de los elementos expuestos en los escenarios de riesgo priorizados, deberá ser objeto de atención urgente desde las instancias pertinentes.

En la Tabla 473 se definen los diferentes elementos expuestos en los escenarios priorizados en las Tabla 471 y Tabla 472.

Tabla 473. Elementos expuestos en los escenarios de riesgo priorizados.

ESCENARIO	ELEMENTOS EXPUESTOS
1A	Bosques densos, abiertos y fragmentados. Coberturas aledañas al embalse.
1B	Barrios y sectores situados aledaños a quebradas y ríos cerca o en las cabeceras urbanas de Santo Domingo, San Roque, Concepción, Alejandría, Puerto Nare.
1C	Las vías Santo Domingo – San Roque y en general las vías terciarias.
2A	Coberturas vegetales expuestas a amenaza Alta ante incendios forestales según el mapa de amenaza respectivo.
2B	Viviendas y equipamientos en áreas de la cuenca aledañas a coberturas en amenaza ante incendios forestales.
2C	Vías y líneas eléctricas en áreas de la cuenca aledañas a coberturas en amenaza ante incendios forestales.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

En la Tabla 474 se presenta el análisis de cada escenario en términos de la importancia económica, social y ambiental de los elementos expuestos en cada uno de ellos.

Tabla 474. Importancia económica, social y ambiental de los elementos expuestos.

ESCENARIO	ELEMENTOS EXPUESTOS	IMPORTANCIA
1A	Bosques densos, abiertos y fragmentados, bosques abiertos, coberturas aledañas al embalse.	Escasas coberturas boscosas en la cuenca, por lo tanto deben protegerse. La importancia del embalse y sus coberturas asociadas, en el contexto regional. Las plantaciones también importantes a nivel económico y ambiental.
1B	Barrios y sectores situados aledaños a quebradas y ríos cerca o en las cabeceras urbanas de Santo Domingo, San Roque, Concepción, Alejandría, Puerto Nare.	Muchas viviendas cercanas a las quebradas y ríos que surcan las concentraciones de población y viviendas, las afectaciones en ellas generan problemáticas sociales y económicas teniendo en cuenta además los niveles socioeconómicos de estas viviendas, los cuales comúnmente son bajos. Muchas viviendas rurales poseen cultivos de subsistencia, los cuales se verían también afectados por movimientos en masa, con la consecuente afectación económica y social.
1C	La vía Concepción – Alejandría y en general las vías terciarias.	Vía de importancia estratégica para la Región: transporte de alimentos e insumos. Oferta de servicios en sus bordes.
2A	Coberturas vegetales expuestas a amenaza Alta ante incendios forestales según el mapa de amenaza respectivo.	Afectación ambiental importante por las implicaciones del fuego en las coberturas y en el suelo. Afectaciones en cultivos, muchos de ellos de subsistencia.
2B	Viviendas y equipamientos en áreas de la cuenca aledañas a coberturas en amenaza ante incendios forestales.	No se han reportado afectaciones importantes por incendios forestales en viviendas y equipamientos. Tampoco se espera que se presenten.
2C	Vías y líneas eléctricas en áreas de la cuenca aledañas a coberturas en amenaza ante incendios forestales.	No se han reportado afectaciones importantes por incendios forestales en vías y líneas eléctricas. Tampoco se espera que se presenten.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

8.3.6 Propuesta de criterios para la mitigabilidad de los escenarios de riesgo.

En la Tabla 475 se presentan las propuestas que se consideran fundamentales para reducir el riesgo en los escenarios identificados.

Tabla 475. Propuesta de criterios para mitigación en escenarios de riesgo.

ESCENARIO	ELEMENTOS EXPUESTOS	IMPORTANCIA
1A	Bosques densos, abiertos y fragmentados, coberturas aledañas al embalse.	Protección a las escasas coberturas boscosas en la cuenca, a través de normatividad local y regional, y el control de la autoridad ambiental.
1B	Barrios y sectores situados aledaños a quebradas y ríos cerca o en las cabeceras urbanas de Santo Domingo, San Roque, Concepción, Alejandría, Puerto Nare.	Control efectivo desde la normatividad a los asentamientos en áreas cercanas a las quebradas y ríos que surcan los centros urbanos y centros poblados rurales. Para esto debe fortalecerse la institucionalidad con el fin de abordar esta tarea de manera adecuada y oportuna. Establecimiento de espacios públicos y verdes en esas áreas para evitar su ocupación por viviendas. Medidas de mitigación ante la inundación y el movimiento en masa: obras de protección, obras de contención, revegetalización, zanjas, drenajes de escorrentía, reconfiguración de taludes.
1C	La vía Concepción – Alejandría y en general las vías terciarias.	Control a las aguas de escorrentía y subterráneas. Reconfiguración de taludes. Revegetalización.
2A	Coberturas vegetales expuestas a amenaza Alta ante incendios forestales según el mapa de amenaza respectivo.	Protección a las escasas coberturas boscosas en la cuenca, a través de normatividad local y regional, y el control de la autoridad ambiental. Aplicación de sanciones a quienes los provoquen. Educación ambiental fortalecida y aplicada.
2B	Viviendas y equipamientos en áreas de la cuenca aledañas a	Educación ambiental fortalecida y aplicada.

ESCENARIO	ELEMENTOS EXPUESTOS	IMPORTANCIA
	coberturas en amenaza ante incendios forestales.	
2C	Vías y líneas eléctricas en áreas de la cuenca aledañas a coberturas en amenaza ante incendios forestales.	Educación ambiental fortalecida y aplicada.

Fuente: Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2016

8.3.7 Recomendaciones finales que definen propuestas de intervenciones.

La escala de trabajo en el presente POMCA no permite determinar el nivel de riesgo de manera detallada en las diferentes áreas del territorio, por lo tanto se requiere la realización de estudios detallados a la escala de cada proyecto de intervención, que incluya la evaluación de vulnerabilidad que lleve a determinar de manera puntual lo que sucede en cada sitio de manera precisa y considerando todos los aspectos físicos, sociales, económicos, ecosistémicos e institucionales, definiendo así la real situación del riesgo implícito o el producido ante la presencia del proyecto de intervención respectivo. La realización y presentación de estos estudios detallados deberá hacer parte de una política corporativa de la autoridad ambiental, en la que los alcances de los análisis y estudios se adecúen a los objetivos y alcances de las intervenciones. En casos puntuales, estudios de detalle deberán hacer parte de los requisitos exigidos para otorgar un permiso o una licencia. Esto es particularmente importante en las áreas urbanas, donde la presencia de actividades antrópicas con mayores densidades expone de manera más amplia y directa a la población y la infraestructura. En consecuencia, el riesgo debería ser señalado específicamente para los elementos realmente expuestos.

8.3.8 Necesidades de información e investigación.

Debe realizarse a nivel institucional, una investigación y definición de metodologías para el análisis de la vulnerabilidad y el riesgo a escalas detalladas, que incluyan variables cuyos valores y comportamiento puedan ser adecuados a las condiciones de cada territorio, y que la información de base sea de fácil acceso. Esto es particularmente importante para el grado de exposición, en el cual la relación de los elementos expuestos con la amenaza debe ser más clara en la metodología, señalando de manera directa las afectaciones que pueden darse por la ocurrencia de un evento.