

**CONSULTORÍA PARA ELABORAR ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO  
POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN, AVENIDA TORRENCIAL E INCENDIOS  
FORESTALES EN LOS MUNICIPIOS PRIORIZADOS EN LA JURISDICCIÓN DE LA  
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA – CAR**

**CONTRATO 1185 DE 2013**

**AVENIDAS TORRENCIALES MUNICIPIO ZIPAQUIRÁ  
ESTUDIOS BÁSICOS 1:2.000**

**CONTRATANTE:**



**CONSULTOR:**



**BOGOTÁ, ABRIL DE 2015**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>GENERALIDADES .....</b>	<b>2</b>
2.1	Objetivo .....	2
2.1.1	Objetivos Específicos .....	2
2.2	Alcance.....	2
2.2.1	Especificaciones, escalas de trabajo y unidades de observación .....	2
2.3	Descripción de las actividades realizadas .....	3
2.4	Localización de los trabajos.....	4
<b>3</b>	<b>CARACTERÍSTICAS TORRENCIALES, DE VARIABILIDAD E IVET DE SUBCUENCAS.....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>EVALUACIÓN DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES.....</b>	<b>9</b>
4.1	Metodología.....	9
4.2	RESULTADOS EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES .....	11
<b>5</b>	<b>EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD.....</b>	<b>23</b>
5.1	Factores para determinar la vulnerabilidad.....	23
5.2	Análisis de la vulnerabilidad.....	23
5.2.1	Susceptibilidad de los elementos económicos.....	24
5.2.2	Susceptibilidad de las personas.....	27
5.2.3	Intensidad .....	27
5.3	Resultados de la vulnerabilidad .....	28
<b>6</b>	<b>EVALUACIÓN DE RIESGO .....</b>	<b>31</b>
6.1	Resultados de la evaluación del riesgo .....	31
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>35</b>
<b>8</b>	<b>RECOMENDACIONES. ....</b>	<b>37</b>
<b>9</b>	<b>FUENTES DE CONSULTA .....</b>	<b>38</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Resumen de las características básicas de los estudios.....	3
Tabla 4.1. Categorización de Amenaza por Torrencialidad en el Municipio Zipaquirá .....	20
Tabla 5.1. Valores propuestos para el factor de susceptibilidad asociada con el tipo de estructura. ....	24
Tabla 5.2. Valores propuestos para el factor de susceptibilidad por el estado de la edificación. ....	25
Tabla 5.3. Tipos de material para los muros.....	25
Tabla 5.4. Tipos de material para los techos. ....	25
Tabla 5.5. Cuadro de convenciones.....	26
Tabla 5.6. Agrupaciones de tipo de viviendas. ....	26
Tabla 5.7. Valores de susceptibilidad para cada clase de vivienda .....	26
Tabla 5.8. Valores de intensidad para cada nivel de amenaza por inundación. ....	28
Tabla 5.9. Calificación de la Vulnerabilidad. ....	28
Tabla 5.10 Descripción de los niveles de vulnerabilidad propuestos .....	29
Tabla 6.1. Matriz de riesgos. ....	31
Tabla 6.2 Categorías de índice de riesgos .....	34

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Localización Municipio Zipaquirá.....	4
Figura 2.2 Sector Urbano Municipio Zipaquirá.....	5
Figura 3.1. Índice de Vulnerabilidad frente a Eventos Torrenciales – IVET .....	8
Figura 4.1. Metodología general para evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales.....	10
Figura 4.2 Mapa de UGS del Municipio Zipaquirá .....	13
Figura 4.3 Mapa geomorfológico del área urbana y de expansión urbana de Zipaquirá .....	14
Figura 4.4 Mapa de cobertura y uso del suelo.....	15
Figura 4.5 Mapa de amenaza por fenómenos de remoción en masa. ....	16
Figura 4.6 Mapa de amenaza por inundación.....	17
Figura 4.7. Mapa de amenaza por Torrencialidad para el Municipio Zipaquirá.....	21
Figura 4.8 Distribución de amenaza por torrencialidad para el Municipio Zipaquirá .....	22
Figura 5.1 Porcentaje de área construida por categoría.....	27
Figura 5.2 Mapa de vulnerabilidad Municipio Zipaquirá .....	30
Figura 6.1 Mapa de riesgos por Torrencialidad Municipio Zipaquirá .....	33
Figura 6.2 Distribución riesgo por Torrencialidad Municipio Zipaquirá .....	34

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 4.1 Socavación del Rio Negro sobre suelos y áreas cercanas a Postobón. ....	18
Fotografía 4.2 Procesos de socavación de Zipaquirá. ....	18
Fotografía 4.3 Quebrada El Tejar .....	19
Fotografía 4.4 Inicio de la canalización de la Quebrada El Tejar .....	19

## 1 INTRODUCCIÓN

Las zonas urbanas y suburbanas de cada territorio municipal constituyen no solamente el corazón operativo de las entidades civiles, eclesiásticas y militares delegadas para la administración local, sino también el núcleo de un conglomerado humano cuya función social es la de articular e interconectar los procesos culturales, educativos, comerciales y políticos, entre otros, con las entidades centrales de orden intermedio y superior.

Desde otra perspectiva, es un hecho que la selección de los sitios donde se han localizado estos asentamientos humanos fue hecha desde hace ya muchos años, cuando las condiciones ambientales eran muy diferentes a las actuales, por personas que muy seguramente no estaban en capacidad de predecir la variación, generalmente negativa de las condiciones naturales, ante la intervención antrópica, presionada no solamente por el fuerte incremento demográfico que cada día demanda la utilización de nuevos territorios, sino que también utiliza nuevos y variados adelantos tecnológicos, cuyo uso no siempre resulta amistoso con el medio ambiente.

Tomando en cuenta lo anterior y buscando garantizar las mejores condiciones ambientales para mejorar la calidad de vida de los usuarios de las zonas urbanas, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR, en convenio con veinticuatro municipios de su jurisdicción, contrató con la Unión Temporal AVR-CAR, los estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo generados por los fenómenos naturales de remoción en masa, inundaciones, avenidas torrenciales e incendios forestales.

Adicionalmente, los estudios realizados cumplen con el objetivo de ser incorporarlos en la toma de decisiones enfocadas hacia la planificación territorial de los municipios involucrados y coyunturalmente, sirven como elemento de apoyo en referencia a la actualización de los respectivos planes o esquemas de ordenamiento territorial que actualmente se encuentran en miras de actualización.

Debe aclararse que dadas las escalas de trabajo utilizadas para la elaboración de los estudios previamente enunciados (regionales a semidetalladas), los mismos no permiten por sí mismos su utilización en obras de prevención o mitigación del riesgo, ni en diseños específicos de ingeniería, los cuales, requieren de análisis detallados a nivel local.

El presente informe ha sido enfocado hacia el estudio particular de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo por avenidas torrenciales en el área urbana del Municipio de Zipaquirá, resaltando que para el logro de este objetivo se han seguido los lineamientos dados por los términos de referencia emitidos por la CAR en la respectiva licitación, los cuales fueron integrados con algunas alternativas metodológicas propuestas por el consultor, la Unión Temporal AVR-CAR.

En este informe se presenta de manera específica, la evaluación de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo por **Avenidas Torrenciales** en las zonas urbana y de expansión urbana del Municipio de Zipaquirá. El trabajo realizado tiene como base tanto información secundaria obtenida a partir de diferentes fuentes, como información primaria generada a partir de controles de campo sobre bases topográficas a escala 1:2.000, elaboradas por el contratista.

El informe está conformado por nueve (9) capítulos, de las cuales el **primero** corresponde a la introducción, el **segundo** registra aspectos básicos y generales del trabajo, el **tercero** contiene los aspectos teóricos relacionados con la torrencialidad y en particular, sobre el índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales (IVET), el **cuarto** hace alusión a la evaluación de amenazas por avenidas torrenciales, el **quinto** trata el tema del análisis de la vulnerabilidad, el **sexto** se relaciona con la evaluación del riesgo y sus resultados, el **séptimo** plantea las conclusiones, el **octavo** las recomendaciones, y el **noveno**, referencia las fuentes de información consultadas.

## 2 GENERALIDADES

El presente estudio hace parte de un proyecto de mayor alcance que define el contrato suscrito entre la CAR y la UT AVR-CAR, cuyo objeto incluye la ejecución de estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa, inundación, avenidas torrenciales e incendios forestales en 24 municipios.

Con el fin de enmarcar la información contenida en el presente informe, se incluye a continuación una breve reseña de algunos aspectos generales que definen la ejecución del estudio.

### 2.1 OBJETIVO

Realizar el estudio básico de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por Avenidas Torrenciales en la zona urbana del Municipio Zipaquirá a escala 1:2.000 con el objeto de incorporarlo en los procesos de ordenamiento territorial.

#### 2.1.1 Objetivos Específicos

- a) Interpretación, pre-procesamiento y análisis de información secundaria suministrada por la CAR y otras entidades.
- b) Procesamiento y post-procesamiento hidrológico de la información cartográfica a escala 1:2.000 y delimitación parcial de Microcuencas.
- c) Asignación del Índice de Variabilidad frente a Eventos Torrenciales a cada una de las Microcuencas generadas.
- d) Elaborar los mapas que se requieren como insumo para determinar la amenaza por Avenidas Torrenciales para la zona urbana y de expansión del municipio.
- e) Determinación de la amenaza por Avenidas Torrenciales.
- f) Obtener el riesgo al que se encuentra expuesta el área en estudio ante un evento, por medio de la multiplicación de la amenaza y vulnerabilidad frente a sucesos por Avenidas Torrenciales.

### 2.2 ALCANCE

El presente estudio contempla todas las actividades necesarias para la evaluación y zonificación de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo por avenidas torrenciales, para la zona urbana y de expansión urbana del Municipio Zipaquirá, Departamento de Cundinamarca.

#### 2.2.1 Especificaciones, escalas de trabajo y unidades de observación

Las especificaciones de trabajo están contenidas en el Anexo Técnico de la CAR, que define, entre otros aspectos, los estudios a realizar y las escalas de trabajo, denominándolos “Básicos” y “Detallados”. En particular, el Numeral 5.1.8 de dicho documento define los requisitos a los que debe darse cumplimiento en los estudios.

El Anexo Técnico establece que los estudios **básicos** para soportar la revisión de los planes de ordenamiento se efectuarán “para los suelos urbanos, de expansión urbana y rural y tendrán por objeto la identificación de las áreas de amenaza y la determinación de las áreas con condiciones de riesgo en las que se exigirá, para su intervención o desarrollo posterior, la realización de estudios de detalle, ya sea porque dada su ocupación es necesario determinar el nivel de riesgo de los elementos expuestos o porque el municipio o distrito, en función del modelo de ocupación territorial las destine para el desarrollo de actuaciones de parcelación, urbanización o construcción en las diferentes zonas comprendidas dentro del perímetro urbano, de expansión urbana, rural suburbano, centros poblados rurales o áreas de vivienda campestre.” De igual forma registra que estos estudios permitirán adelantar:

- a) La delimitación y zonificación de las áreas de amenaza por fenómenos de inundación y movimientos en masa.
- b) La identificación y priorización de las áreas con condición de riesgo por fenómenos de inundación y movimientos en masa, en las que se requiere adelantar los estudios de detalle.
- c) La determinación de las medidas de mitigación no estructurales, orientadas a establecer restricciones y condicionamientos mediante la reglamentación de usos del suelo.”

En la **Tabla 2.1**, se resumen las características básicas del presente estudio.

**Tabla 2.1 Resumen de las características básicas de los estudios.**

Tipo de estudio	Fenómeno que da origen a la amenaza	Clase de suelo (ley 388/97)	Escala	Unidad de análisis	Referencia del anexo técnico
Básico	Avenidas Torrenciales	Urbano y de expansión urbana	1:2.000	Barrio o equivalente – Microcuenca o Subcuenca	5.1.8.3

Fuente: Elaboración propia con base en el Anexo Técnico de la CAR.

### 2.3 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

Para la elaboración del estudio se dividió en dos actividades principales las cuales se describen a continuación:

#### 1. Recopilación de información disponible

Esta actividad hace referencia a consultar la información disponible tal como cartografía, mapas geológicos del Servicio Geológico Nacional, mapas de usos del suelo de los Planes de Ordenamiento Territorial, localización de infraestructura existente, fotografías aéreas, bases de datos de registros históricos de eventos y emergencias (Desinventar y UNGRD) y registros climáticos del IDEAM.

La información consultada más relevante es la siguiente:

- Planchas geológicas, Plancha 209, “Zipaquirá” de Ingeominas.
- Plan de Ordenamiento Territorial Municipio Zipaquirá

Se realizó el análisis con el grupo de asesores de la información disponible, con el objeto de tener claridad completa sobre las características geológicas, geotécnicas e hidrológicas del área de estudio.

#### 2. Trabajo de oficina

En esta actividad se realiza la recopilación y verificación de la información secundaria y se procede a la elaboración de los mapas temáticos los cuales se realizan por medio de la herramienta SIG, con base en el modelo de datos de la CAR; la cartografía se maneja en el sistema de coordenadas Magnas Sirgas con origen Bogotá., una vez definidos estos, se realiza la evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales, atendiendo los criterios descritos en las bases metodológicas presentadas, con base en información secundaria y empleando la herramienta SIG.

De conformidad con el Anexo Técnico de la CAR, el análisis de amenaza, y por tanto de riesgo, se aplica a aquellas subcuencas con un IVET de clasificación Media a Muy Alta. No obstante, se considera pertinente, y por tanto se ejecuta tal actividad, la evaluación de la amenaza por Avenidas Torrenciales y cálculo del respectivo riesgo a cada una de las subcuencas en estudio del municipio, con la finalidad de otorgar, a las respectivas autoridades municipales, una descripción e



identificación de aquellas zonas propensas a detonar, transitar y depositar un probable evento torrencial.

## 2.4 LOCALIZACIÓN DE LOS TRABAJOS

El Municipio Zipaquirá está situado en el centro de la República de Colombia, en el Departamento de Cundinamarca; limita por el norte con el Municipio Cogua, por el sur con los municipios de Tabio, Cajicá y Tocancipá, por el occidente con los municipios de Subachoque y Pacho y por el oriente con los municipios de Tocancipá, Nemocón y Cogua.

**Figura 2.1 Localización Municipio Zipaquirá.**



Fuente: UT AVR – CAR.

Zipaquirá posee una extensión aproximada de 197 kilómetros cuadrados así: 8 kilómetros cuadrados de la zona urbana y 189 kilómetros cuadrados de la zona rural. La altitud del casco urbano del Municipio Zipaquirá sobre el nivel del mar es de 2.650 metros. Topográficamente esta sección territorial está dividida en dos regiones bien definidas: Región plana situada al oriente, rica en pastos aprovechados para la ganadería y Región montañosa situada al occidente, (rica en minerales) entre la que se destacan entre otras las siguientes alturas: a.- El cerro del Zipa bajo el cual se encuentra la mina y su monumental templo subterráneo de sal, el Páramo de Guerrero rico en yacimientos de carbón, la serranía de Ventalaruga con Pantano Redondo y b.- El cerro del Calzón.

El Río Bogotá bordea al Municipio Zipaquirá en su costado suroriental, en longitud cercana a los 15 km. De esta manera, el Municipio Zipaquirá queda inscrito como parte la cuenca del río, el cual constituye el eje ambiental fundamental y espina dorsal del sistema hídrico de la sabana. A lo largo de su recorrido por la sabana, el Río Bogotá recibe el caudal de una multiplicidad de ríos y quebradas que conforman un complejo sistema de sub-cuencas y microcuencas. El río alimenta a su vez una serie de embalses y represas que surten los acueductos de la sabana (Chingaza, Neusa, Sisga y Tominé). Zipaquirá posee un importante recurso en este aspecto, representado en el Páramo de Guerrero, el cual comparte con municipios vecinos (Pacho, Cogua, Tausa) y da origen al río Frío y a una serie de microcuencas que constituyen parte esencial del recurso hídrico territorial de estos municipios y de la sabana.

Con excepción de muy pocos riachuelos que nacen al suroeste, provienen principalmente de las hoyas de las montañas situadas al norte, asiento del Páramo de Guerrero, Páramo Alto y Pantano Redondo. La ramificación de la cordillera occidental, da nacimiento a importantes quebradas de apacible caudal. Al este, es poco rica la hidrografía por ser esta la parte plana del municipio y la más seca. Principales Ríos de Zipaquirá: Al norte: El Río Neusa, el cual nace en el Páramo de

Guerrero y atraviesa la Vereda de Riofrío con dirección nordeste. Al sur: El Río Frío Al oriente: El río Tibitó Al occidente: El Juratena La parte plana del municipio la riegan los ríos Neusa y Tibitó (que después se llama Funza o Bogotá). Entre las quebradas, merecen especial mención: Al norte: Alizal, Versalles, Quiroga, Pescadero, La Calera, Los Cocliés y el Tejar. Al oriente: Quebrada Honda, Del Mortiño, Los Laureles, (La Fuente), Chitagá, La Amarilla, La Toma y Susagua. Al Occidente: Pantano largo, El Carrizal, Rodamontal, la Arteza, El Rionegro o Tosagua, llamado en su nacimiento La Tibia y El Tejar o Uricia. Al sur: El Hornillo, El Gavilán o Chitagua, Aguaclara, Guabal, la Colorada y el Salitre.

Zipaquirá está unida a los municipios vecinos por medio de carreteras y ferrocarril. Por carretera se comunica con Bogotá, Chía, Cajicá, Nemocón, Pacho, Tabio, Tenjo, Gachancipá, Tocancipá, Sopó, Cogua, Tausa y Subachoque. Por ferrocarril se comunica con Nemocón, Cajicá, Chía y Bogotá. Las Veredas poseen carreteras pavimentadas en su gran mayoría y vías destapadas. (POT Zipaquirá).

**Figura 2.2 Sector Urbano Municipio Zipaquirá.**



Fuente: Elaboración propia basada en Cartografía Base.

### 3 CARACTERÍSTICAS TORRENCIALES, DE VARIABILIDAD E IVET DE SUBCUENCAS

Una avenida torrencial, de acuerdo con DesInventar, se define de la siguiente manera: “*Avenida torrencial. Flujo violento de agua en una cuenca, a veces reportado como creciente (súbita, rápida), o como torrente. Se aplica cuando en los reportes aparece como “avalancha”, cuando la avenida transporta troncos de árboles y/o abundantes sedimentos desde finos hasta bloques de roca. Pueden ser generados por lluvias, por ruptura de represamientos o por abundantes deslizamientos sobre una cuenca*”. No obstante, la descripción asociada a este tipo de eventos naturales por la entidad arriba mencionada, es imprecisa con base en la publicación titulada “Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenaza” del Grupo de Estándares para Movimientos en Masa, pues de acuerdo con las descripciones establecidas en la mencionada guía, existe una considerable diversidad de tipos de flujo que cuya categorización está estrechamente ligada al material sólido transportado al momento del evento extremo natural, siendo un flujo de lodos compuesto por suelos limosos, una avenida torrencial compuesta por suelos arenosos y las avalanchas son movimientos de masa en seco, originados en las laderas de alta montaña, que tienen como agente motor el aire en lugar de un fluido.

En todo caso, de momento no es posible establecer relaciones directas entre causa y efecto que permitan delimitar o conocer las áreas altamente propensas a presentar movimientos en masa que, de existir las condiciones hidrometeorológicas requeridas por una avenida torrencial, se conviertan en estos últimos. En términos generales, las avenidas torrenciales son producto de una interacción entre propiedades físicas de una hoya hidrográfica asociadas a condiciones de suelos y tipo de cobertura de este, humedad antecedente, pendiente, entre otras y las condiciones climáticas presentes en ellas. De acuerdo con diferentes textos bibliográficos, no existe manera cuantitativa alguna que permita definir con claridad la torrencialidad presente en una hoya de drenaje, por lo que se considera como una evaluación de carácter subjetivo, es decir, una valoración proporcional al conocimiento y experiencia del profesional que se encuentra a cargo del desarrollo del estudio. Basado en diversos recursos bibliográficos de énfasis morfométrico, existe una importante diversidad de parámetros lineales, es decir, de cauce, y de área o relieve aferente a las hoyas de drenaje, que pueden otorgar indicio del potencial de torrencialidad o Índice Morfométrico de Torrencialidad presente en una cuenca determinada. Con base en el Anexo Técnico de la CAR del estudio a desarrollar, los parámetros morfométricos tenidos en cuenta son:

- Coeficiente de Compacidad
- Densidad de Drenaje
- Pendiente Media de la Cuenca

Una vez conocido el índice Morfométrico de Torrencialidad mediante el cruce de los resultados por las variables arriba presentadas, para conocer la vulnerabilidad que posee una cuenca a sufrir o verse seriamente afectada por un suceso natural de la tipología evaluada en el presente estudio, se combina este índice morfométrico de torrencialidad con el de variabilidad. Este parámetro de variabilidad permite conocer el grado de variación del caudal líquido presente en una fuente hídrica y por tanto inferir la posible capacidad hidráulica de la corriente ante un evento torrencial, sin embargo no contempla los efectos antrópicos que infieren los diferentes tipos de obras hidráulicas, de viviendas o de control de inundación en el cauce. Esta variable es obtenida mediante el cálculo de la pendiente de una curva de caudales construida a partir de información o registros de caudales medios diarios en una estación de aforo cualquiera.

Una curva de caudal puede ser construida a diferentes niveles de información, es decir, se puede obtener una curva de duración de caudal partiendo de información anual, media mensual o media diaria. El comportamiento de dicha gráfica a nivel anual muestra una variación poco significativa en la mayor parte del tiempo con respecto al nivel diario, indicando la necesidad de poseer información diaria para poder representar de manera más detallada el comportamiento hídrico de

una corriente determinada. De igual manera, ríos de llanura poseen, aun a nivel diario, una curva atenuada en el mayor porcentaje de su tiempo, caso contrario a los cauces de alta montaña, concluyendo que los primeros presentan, de acuerdo a su área de aporte, un flujo mucho más constante e invariante a lo largo del tiempo que cauces de alta montaña, mostrando que los últimos resultan ser zonas de tránsito y los primeros drenajes de llanuras de inundación.

De acuerdo con la construcción y tipología de información usada para generar una curva de duración de caudales, se presume que los registros están descritos por una distribución normal, por lo que su procedimiento metodológico consiste básicamente en la generación de un histograma de frecuencias que sufre ciertas modificaciones ligeras para poder construir el gráfico solicitado.

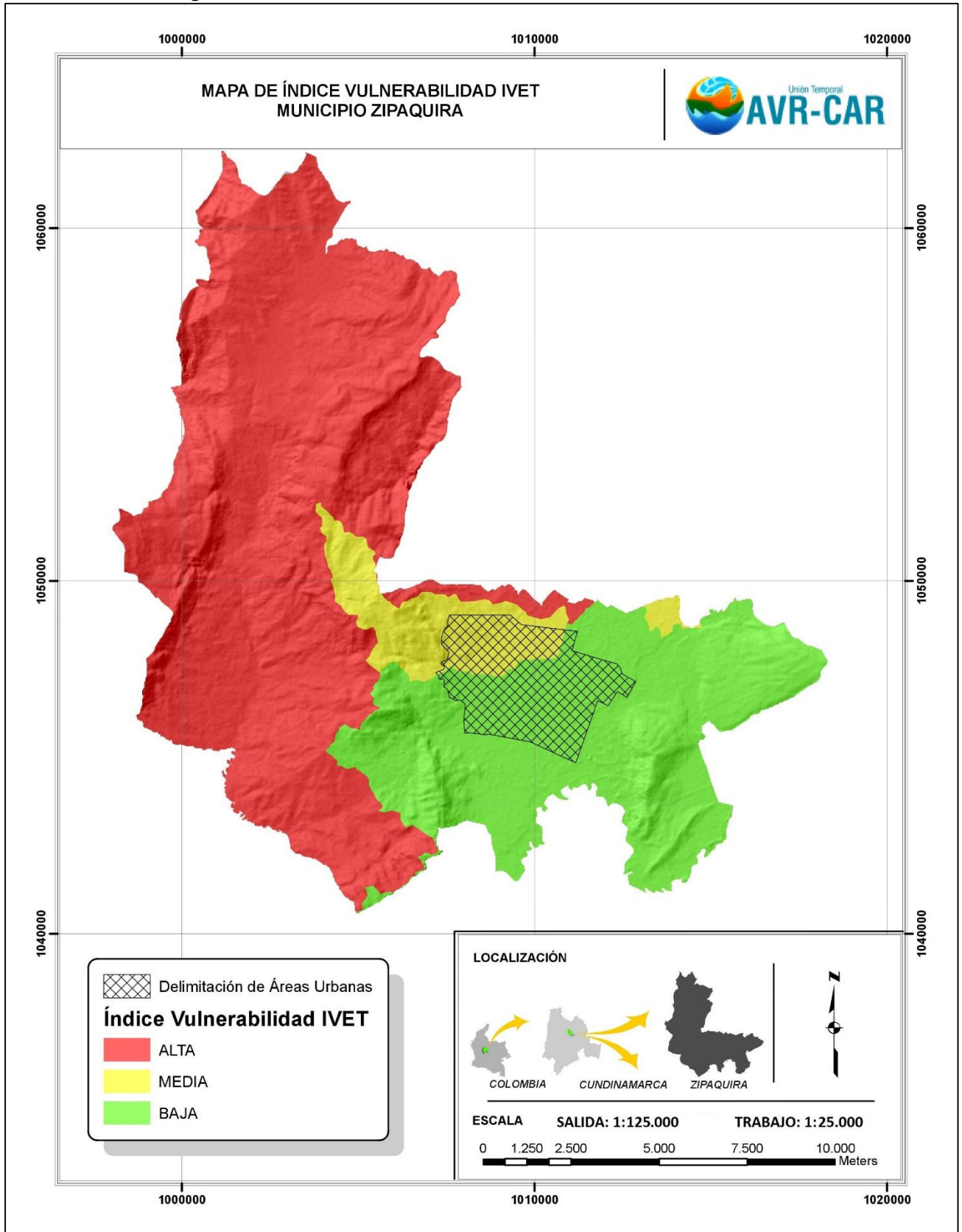
Cuando no se poseen registros de caudales en todos los puntos de interés, resulta útil la modelación hidrológica de la cuenca a largo plazo o generar un balance hidrológico para la cuenca estudiada. Esto implica la necesidad de poseer la siguiente tipología de información:

- a) Registros diarios pluviométricos de precipitación
- b) Registros diarios de evaporación
- c) Distribución espacial del suelo
- d) Distribución espacial del uso del suelo

Es, por lo mencionado en los párrafos anteriores, que son insumos de importancia, para obtener resultados confiables y de calidad, una cartografía de muy buena resolución y extensión espacial considerablemente generosa para poder delimitar las cuencas que han de ser objeto de estudio, mapas confiables del uso de suelo y geología. Para el desarrollo del presente estudio, a escala 1:2000, solo se posee como insumo cartográfico curvas de nivel cada dos metros sobre la zona urbana y de expansión, como consecuencia lógica de los alcances del estudio, pero que es demasiado corta para poder conocer, en un determinado punto de una corriente cualquiera que drena al municipio Zipaquirá, su área de aporte de escorrentía directa y conocer su vulnerabilidad frente a sucesos torrenciales. Dada la anterior limitante, y evaluando los resultados obtenidos en el IVET para escala 1:25000 de la presente municipalidad, se encuentra, debido a resoluciones cartográficas, una aproximación confiable tal que las cuencas evaluadas a la escala 1:25000 encajan con las de 1:2000, asumiendo, por tanto, la categorización de IVET – Índice de Vulnerabilidad frente a Eventos Torrenciales – obtenida a escala 1:25000 como las de 1:2000. En la **Figura 3.1** se puede apreciar el delineamiento de Subcuencas finalmente obtenido y su Índice de Vulnerabilidad frente a Eventos Torrenciales.



**Figura 3.1. Índice de Vulnerabilidad frente a Eventos Torrenciales – IVET**



Fuente: UT AVR CAR, 2014

## 4 EVALUACIÓN DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES

Uno de los problemas que ocasionan grandes pérdidas tanto económicas como de vidas humanas, son sin duda las frecuentes inundaciones generadas por los fenómenos climatológicos extremos. Lo anterior es como consecuencia del crecimiento urbano desordenado, que conlleva a la modificación de condiciones naturales dentro de las cuencas hidrográficas, cuyos cauces en no más de una ocasión, han dejado de serlo para pasar a ser vías de comunicación como calles, avenidas, caminos y carreteras dentro de las zonas urbanas.

En este capítulo se realizara el análisis de las avenidas torrenciales en el sector urbano del municipio de Zipaquirá las cuales están relacionadas a las crecientes súbitas en cauces de montaña, pero también enmarca un gran número de flujos torrenciales como lo son flujos de lodos y/o escombros, avalanchas, flujos, lava torrencial, entre otros. Estos flujos presentan claras diferencias en cuanto al mecanismo de generación y comportamiento del flujo, así como a la concentración de los sedimentos y densidad del flujo.

Debido al deterioro y la degradación de las partes altas de la cuenca se incrementan la potencialidad de transporte de sedimento hacia aguas abajo, y al mismo tiempo se genera una disminución de la capacidad hidráulica tanto de los cauces, puentes y alcantarillas de las zonas urbanas localizadas en las partes bajas de la cuenca, provocando con ello las inundaciones en las regiones de planicie.

A partir de lo anterior y teniendo en cuenta los resultados de la evaluación del IVET (Índice de Vulnerabilidad frente a Eventos Torrenciales en fuentes abastecedoras), se analizaron todos los cauces que pudieran transportar o generar avenidas torrenciales, en donde se tuvieron en cuenta los siguientes características:

- Sección transversal del canal o cauce.
- Pendientes escarpadas del lecho o canal y de sus afluentes.
- Gran capacidad del cauce para socavar y profundizar su propio lecho.
- Alta capacidad de transporte de rocas y materiales.
- Presencia de valles estrechos en forma de “V” con laderas muy pendientes.
- Elementos dentro del cauce que pudieran ocasionar obstrucción.

Es importante, además, tener en cuenta, que cuando se considera un sistema torrencial, no se puede olvidar de las zonas aledañas susceptibles a erosión momentánea las cuales pueden provocar la dispersión de partículas en el cauce y generar un flujo de sedimentos entremezclados con agua extremadamente rápidos, en los cuales la dinámica del movimiento controla su comportamiento. A partir de lo anterior y teniendo en cuenta las características de los cauces se realizó la delimitación de las áreas que posiblemente se vean afectadas por avenidas torrenciales y se presenta a continuación la metodología utilizada para la evaluación de la amenaza.

### 4.1 METODOLOGÍA

Con base en la metodología IVET (IDEAM, 2011) se pretende aplicar modelos hidrológicos y geomorfológicos que permitan zonificar y evaluar la amenaza por avenidas torrenciales adaptados a la información existente para la realización de este trabajo.

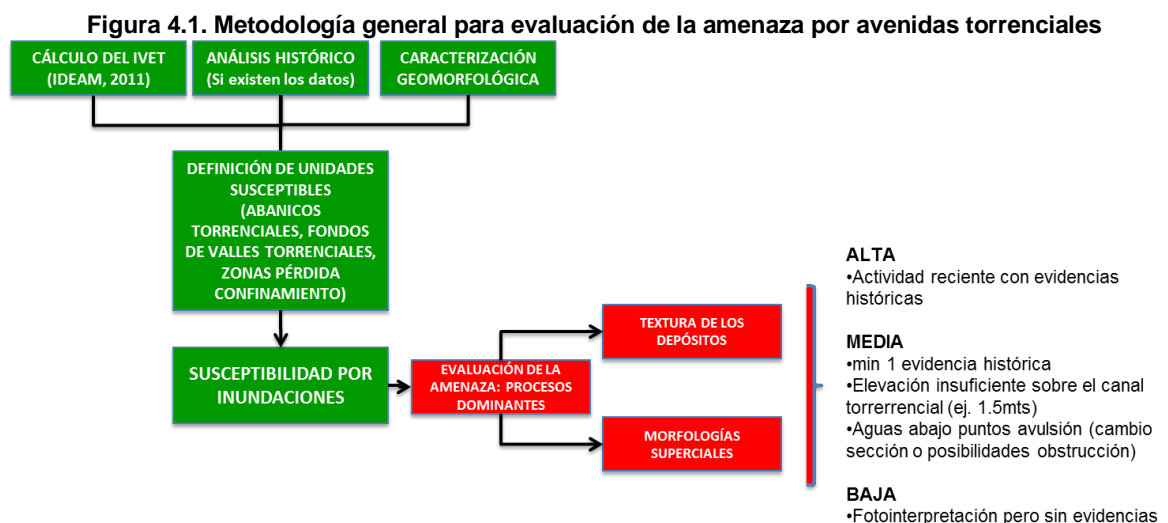
Con este referente se establece la susceptibilidad y la amenaza por avenidas torrenciales para diferentes periodos de retorno y se generara la información temática que permita efectuar el cruce del mapa de susceptibilidad con el geomorfológico para obtener el mapa final de avenidas torrenciales.

La generación de los mapas de amenaza por avenidas torrenciales se propone en dos (2) pasos:

- 1) Determinación de las áreas del municipio susceptibles a avenidas torrenciales; para el logro de este objetivo se utilizó el índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales en fuentes abastecedoras – IVET- definido en el documento “Enfoque conceptual y metodológico para determinar la vulnerabilidad de fuentes abastecedoras de acueductos” (IDEAM, 2011), para las áreas montañosas de los afluentes principales de las subcuencas y a las microcuencas abastecedoras. Las cuencas que arrojen un IVET entre medio y muy alto fueron objeto de evaluación de amenaza. El cálculo de este índice se presentó en el capítulo anterior.
- 2) Definición de las áreas de amenaza por avenidas torrenciales, las cuales se delimitarán a partir del cruce de la cartografía geomorfológica, el mapa del índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales (IVET) y los datos de eventos históricos, si ellos existieron y se encuentran georreferenciados; a partir de esta información se delimitaron las áreas de tránsito y las contiguas que puedan ser afectadas por procesos de avalanchas al desbordarse el cauce en las zonas de tránsito, producto de la interpretación geomorfológica.

El análisis de la amenaza por avenidas torrenciales se limitó a definir las áreas de afectación ante eventos extremos, es decir, las zonas que según características presentan una posibilidad alta de ocurrencia de daños severos y/o pérdida de vidas a causa del flujo de la avenida torrencial.

En la **Figura 4.1** se presenta un esquema conceptual del método propuesto:



Fuente: UT AVR CAR, 2014

Para la delimitación de estas áreas se utilizaron fotografías aéreas, características de uso del suelo, erosión y los movimientos en masa que contribuyen a las avenidas torrenciales. Sin embargo el principal enfoque fue el geomorfológico, orientado a identificar las zonas con fuerte pendiente, seguido de potenciales zonas de acumulación de los materiales transportados.

De esta manera, la delimitación de las áreas con amenaza por avenidas torrenciales se basó en los siguientes criterios para las distintas zonas:

- Zona de montaña: En esta zona predomina la amenaza por avenidas torrenciales según la pendiente, longitud de la cuenca y material aportante, aunque la zona afectada por la avenida es usualmente estrecha ya que depende del grado de encajonamiento de la corriente. La amenaza por inundación rápida y lenta es usualmente baja, excepto en puntos críticos generados principalmente por intervención antrópica.
- Zona de transición: Al ser la zona natural de depositación, es a su vez la zona de mayor peligro ya que incluye las zonas más extensas de inundación rápida generadas por la desembocadura de las avenidas torrenciales debido al cambio de pendiente.
- Llanura aluvial: Al llegar a esta zona, gran parte de los afluentes que pueden presentar avenidas torrenciales han perdido velocidad, altura de flujo y capacidad de carga, ya sea por condiciones naturales o por obras de mitigación antrópicas, lo cual genera que la amenaza por inundación rápida sea media a baja.

## 4.2 RESULTADOS EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES

Indiferente de la clasificación de la tipología de flujos densos, lo importante es la identificación y caracterización de los eventos históricos o las áreas del territorio susceptibles de presentar esta tipología de fenómenos, principalmente geoformas como abanicos torrenciales, fondos de valles, flujo de tierra, flujo de detritos, flujo de lodo, Alud (lava) torrencial, y zonas de avulsión o pérdida de confinamiento, además de canales por donde se puedan transportar flujos de movimientos en masa.

Considerando el esquema conceptual presentado, el proceso de evaluación de la susceptibilidad y amenaza para el municipio se efectúa sobre las cuencas aportantes al área en estudio a escala 1:25.000.

### EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD CON EL USO DEL IVET

- a) Integrar los eventos de avenidas torrenciales identificados en el análisis de eventos históricos generando un mapa de localización de los eventos que hayan sido identificados a nivel del municipio.
- b) Realizar análisis de eventos históricos considerando que los que se puedan utilizar para el análisis de la amenaza se requiere que puedan ser localizados cartográficamente. Por lo tanto la identificación de sitios se efectuó con base en el control de campo.
- c) Realizar el análisis geomorfológico con base en los mapas desarrollados para este trabajo.

Se considera de especial importancia que la caracterización geomorfológica desarrollada ha hecho énfasis en las geoformas y rasgos morfodinámicos que definen e inducen a la ocurrencia en las cencas y microcuencas del fenómeno de torrencialidad. Las unidades geomorfológicas o formas del terreno están relacionadas con el relieve (fuerzas internas) y/o con el modelado (agentes externos que modifican el relieve); y las subunidades geomorfológicas referencian los tipos de rocas y/o depósitos que soportan los relieves o modelados del paisaje (materiales superficiales asociados con procesos morfodinámicos) Carvajal (2012) Zinck (2012).

Para el Municipio Zipaquirá se han identificado las siguientes unidades (formas del terreno) soportadas en rocas sedimentarias y depósitos residuales y transportados: espinazos, cuevas estructurales denudadas, cornisas estructurales, espinazos estructurales denudados en contrapendiente, sierras homoclinales en laderas estructurales o en contrapendiente, cuevas estructurales denudadas, escarpes de línea de falla, cimas montañosas, cerros residuales, lóbulos coluviales, depósitos coluviales antiguos o recientes, crestas subhorizontales, laderas de contrapendiente estructural denudada o residuales, flujos terrosos, laderas moderadas a



emпинadas, lóbulos residuales, crestas inclinadas, abanicos fluvio-glaciales, circos, laderas de contrapendiente estructural glaciados, crestas e laderas estructurales, conos y lóbulos de gelifracción, planicies glaciolacustrinas, terrazas de gelifracción, planicies lacustres, planicies de inundación, terrazas, flujo de lodos, terrazas de acumulación, erosión, canteras, embalses y humedales.

- d) Tomar el resultado de la estimación del Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET) efectuado para los Estudios desarrollados a Escala 1:25.000 y de acuerdo con los lineamientos definidos por el IDEAM para la escala de trabajo (IDEAM, 2013) el cual tiene como entrada el índice morfométrico de torrencialidad (obtenidos desde el insumo de caracterización geomofológica) e índice de variabilidad.

A continuación se detalla el procedimiento para el cálculo del índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales.

- ✓ Identificación y delimitación de zonas susceptibles de ser afectadas por avenidas torrenciales o donde han ocurrido dichos eventos, para lo cual se considerarán los siguientes criterios:

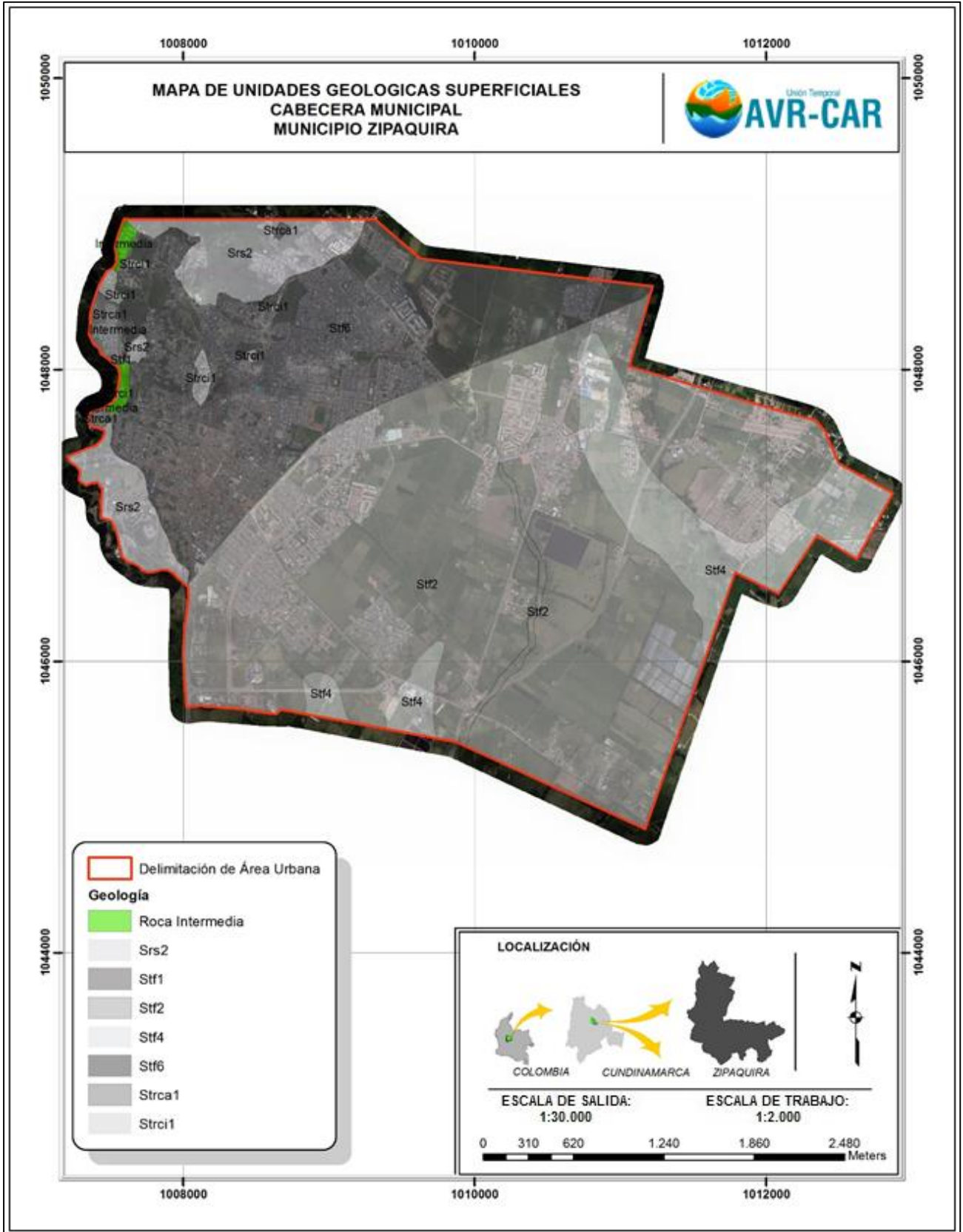
Áreas donde el IVET tiene la categorías de torrencialidad de media, alta y muy alta.

Áreas donde se ha identificado uno o más eventos históricos. En este caso se entiende que los datos históricos indican la localización en algunos barrios del casco urbano.

Respecto a las unidades geológicas superficiales (UGS), Hermelín (1987) denomina Formación Superficial al conjunto de materiales que conforman la superficie del terreno hasta profundidades del orden de decenas de metros. Estas formaciones superficiales incluyen rocas con diferentes grados de meteorización, suelos y depósitos inconsolidados.

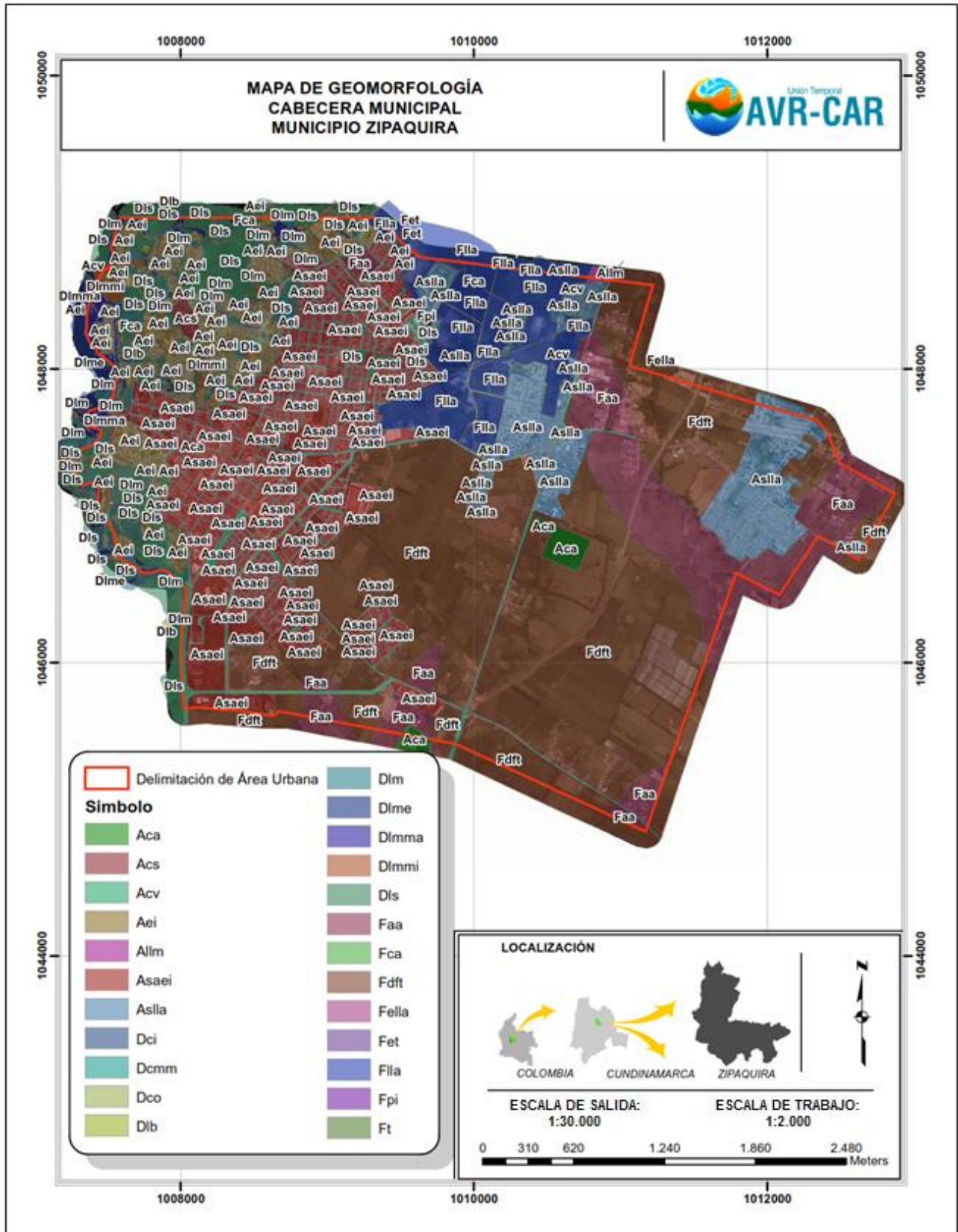
Las UGS se consideran como formaciones correlativas de los procesos morfodinámicos, debido a la acción de agentes exógenos y endógenos que modelan la superficie terrestre siendo susceptibles de ser cartografiadas. En el mapa de unidades geológicas superficiales se clasifican los materiales geológicos como roca (R), asignándoles el subíndice Rd, Ri y Rb para rocas duras, intermedias y blandas respectivamente; suelo residual, (Sr) transportado y (St), material de rellenos o suelos antrópicos (Ae) . En éste trabajo, realizado a escala 1:2.000, se tomó un espesor cercano a los 2 m, para calificar a las UGS como de carácter “cartografiable”.

Figura 4.2 Mapa de UGS del Municipio Zipaquirá



Fuente: UT AVR CAR, 2014

Figura 4.3 Mapa geomorfológico del área urbana y de expansión urbana de Zipaquirá

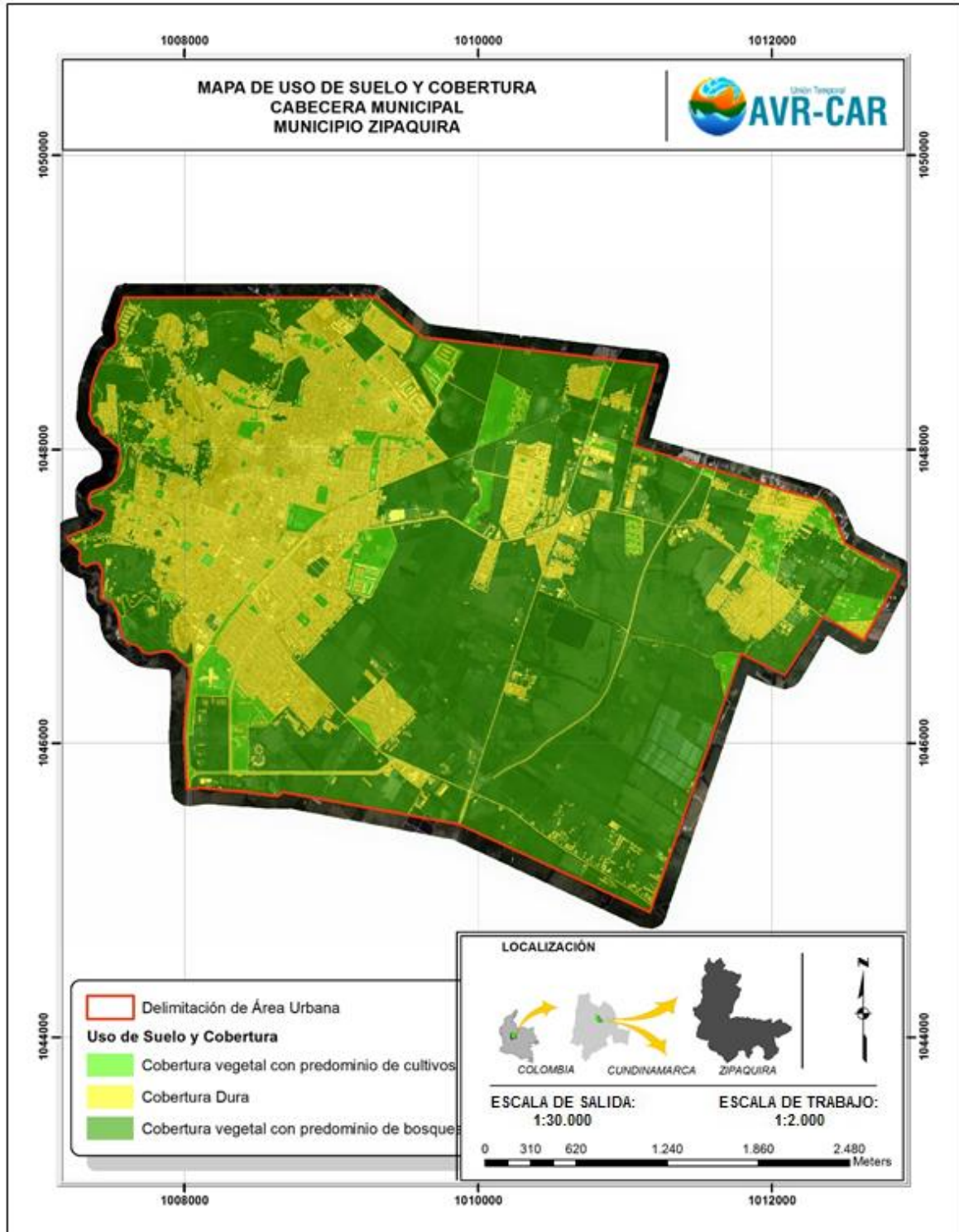


Fuente: UT AVR CAR, 2014



Adicionalmente se observa que el uso y cobertura del suelo inciden considerablemente en la generación de eventos torrenciales, teniendo en cuenta que las áreas que se encuentran descubiertas son más propensas a generar procesos erosivos y acumulaciones de agua debido a la escasa infiltración, en cambio las zonas cubiertas son menos susceptibles a estos eventos.

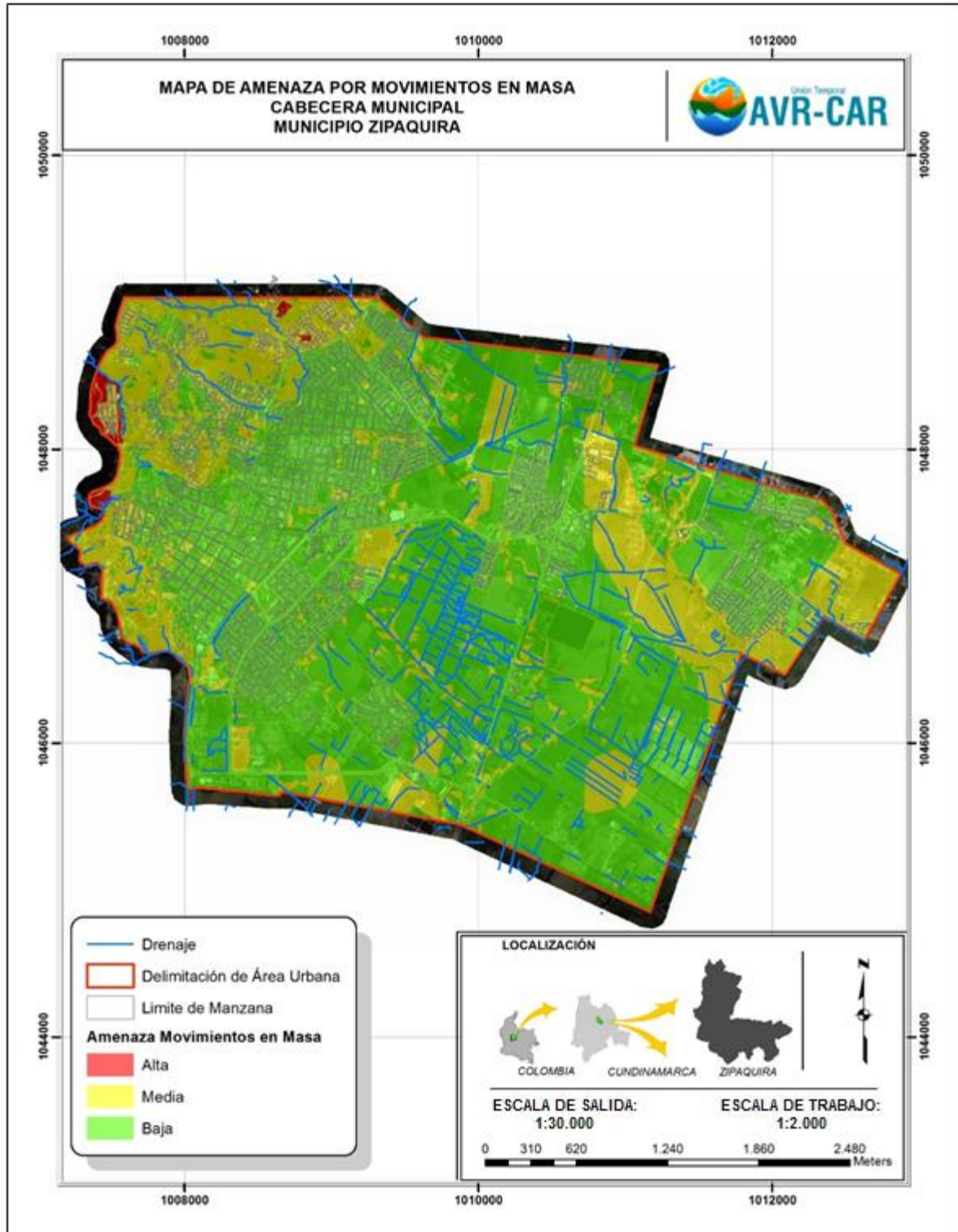
Figura 4.4 Mapa de cobertura y uso del suelo.



Fuente: UT AVR CAR, 2014

Como complemento para la revisión y el análisis de las áreas susceptibles a estos fenómenos, también se tuvo en cuenta la zonificación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa para el sector urbano del municipio Zipaquirá.

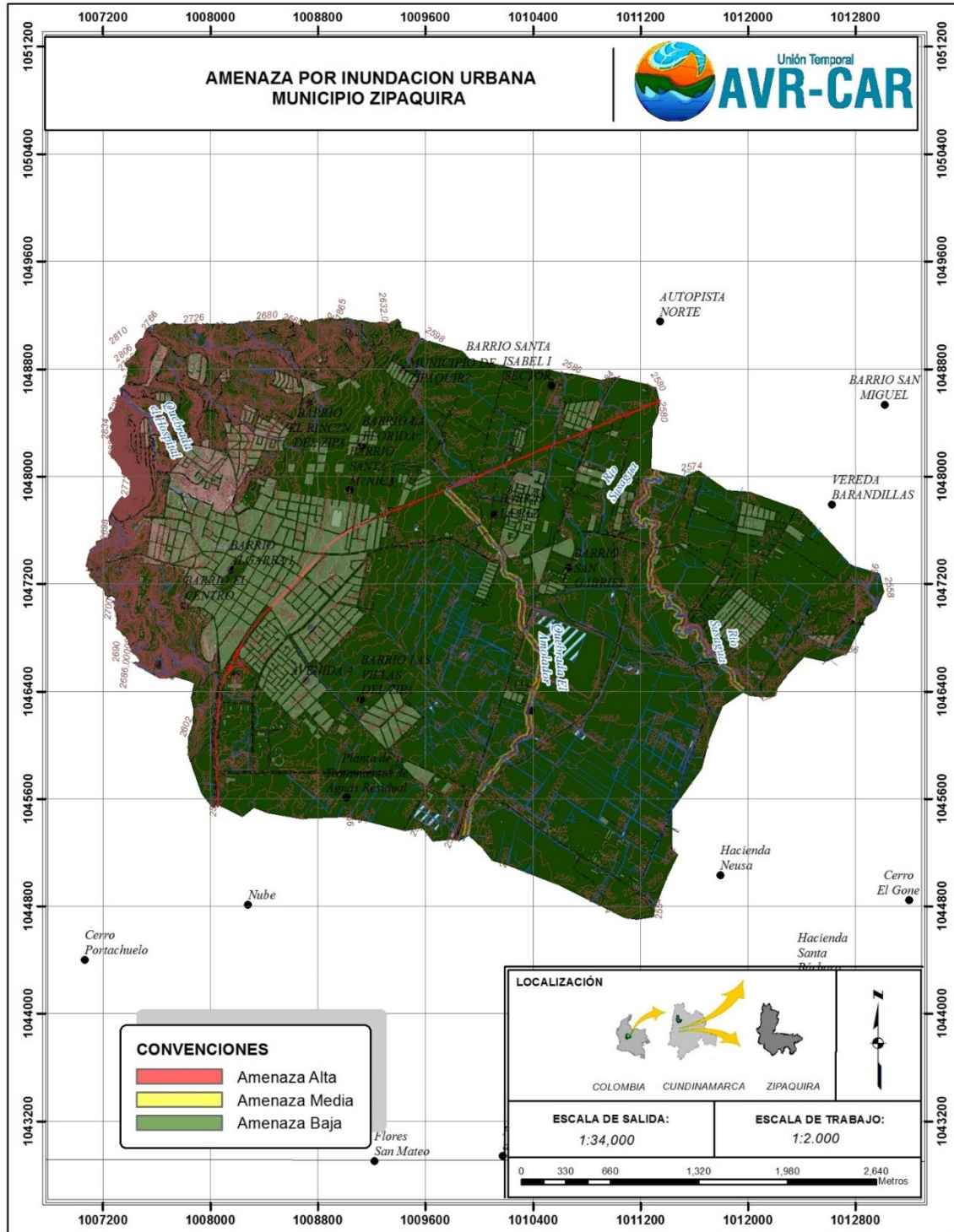
Figura 4.5 Mapa de amenaza por fenómenos de remoción en masa.



Fuente: UT AVR CAR, 2014

Otro parámetro que se utilizó para la zonificación de las amenazas es la influencia de las inundaciones.

Figura 4.6 Mapa de amenaza por inundación.



Fuente: UT AVR CAR., 2014, a partir de información del IDEAM (2014) e IGAC (2010).



En el Municipio Zipaquirá se verificaron los principales ríos y sus afluentes de manera que caracterizaran los procesos de torrencialidad. Se identificaron procesos torrenciales sobre los ríos Negro y El Gavilán que atraviesan el casco urbano. El Río Negro presenta procesos de torrencialidad e inundaciones a lo largo de su recorrido de sur a norte. Cabe destacar que éste tiene varios afluentes y que en él se depositan todas las aguas residuales y de escorrentía del municipio lo que en época de invierno acelera los procesos de socavación, torrencialidad e inundaciones.

**Fotografía 4.1 Socavación del Rio Negro sobre suelos y áreas cercanas a Postobón.**



En las coordenadas 1009721 X, 1048299 Y, se observa cómo debido a las inundaciones y socavación del río se están implementando obras de mitigación, esta socavación se presenta sobre suelos arcillosos de color habano

**Fotografía 4.2 Procesos de socavación de Zipaquirá.**



En coordenadas N 1048299 y E 1007553, altura 2697 se observa el paso de la quebrada El Tejar. Esta quebrada presenta una torrencialidad alta, observándose a sus costados bloques de rocas de arenisca de gran tamaño. La comunidad del sector dice que en épocas de lluvia la quebrada arrastra gran variedad de materiales desde la parte alta y que algunas casas se han visto afectadas. Otro tema que preocupa a este sector es que algunos barrios de la parte alta arrojan las aguas servidas a esta quebrada presentando malos olores y la proliferación de plagas (ver **Fotografía 4.3**)

**Fotografía 4.3 Quebrada El Tejar**



En coordenadas N 1048095 y E 1007577, altura 2683 se encuentra nuevamente la Quebrada El Tejar. En este punto inicia la canalización del cauce, se observa la evidencia que ha dejado en la zona el alto grado de torrencialidad que tiene la quebrada en épocas invernales (ver **Fotografía 4.4**).

**Fotografía 4.4 Inicio de la canalización de la Quebrada El Tejar**





Las zonas críticas para evaluar la amenaza son las identificadas en el anterior paso. La definición de las zonas de amenaza se efectuará con base en los datos geomorfológicos obtenidos en campo y con base en la fotointerpretación, en la siguiente forma:

- ✓ Textura de los depósitos torrenciales formados por diferentes mecanismos de transporte (depósitos formados por flujos de detritos, flujos de lodo, flujos de tierra o depósitos de origen fluvio-torrenciales).
- ✓ Morfologías superficiales: presencia de diques o muros naturales de material de arrastre (“levees”), lóbulos frontales, bloques de más de 1m de diámetro, daños a la vegetación, canal trapezoidal. Este análisis debe tener como soporte la información de la cartografía geomorfológica y geológica del área en evaluación.

Con base en las anteriores actividades se definen las categorías de amenaza para el Municipio Zipaquirá en la siguiente forma, considerando los criterios, morfología, pendiente, densidad de drenaje y procesos morfodinámicos. Finalmente en la se presenta el mapa de amenaza por torrencialidad obtenido para la zona de estudio y las características de las zonas de amenaza que se presentan.

**Tabla 4.1. Categorización de Amenaza por Torrencialidad en el Municipio Zipaquirá**

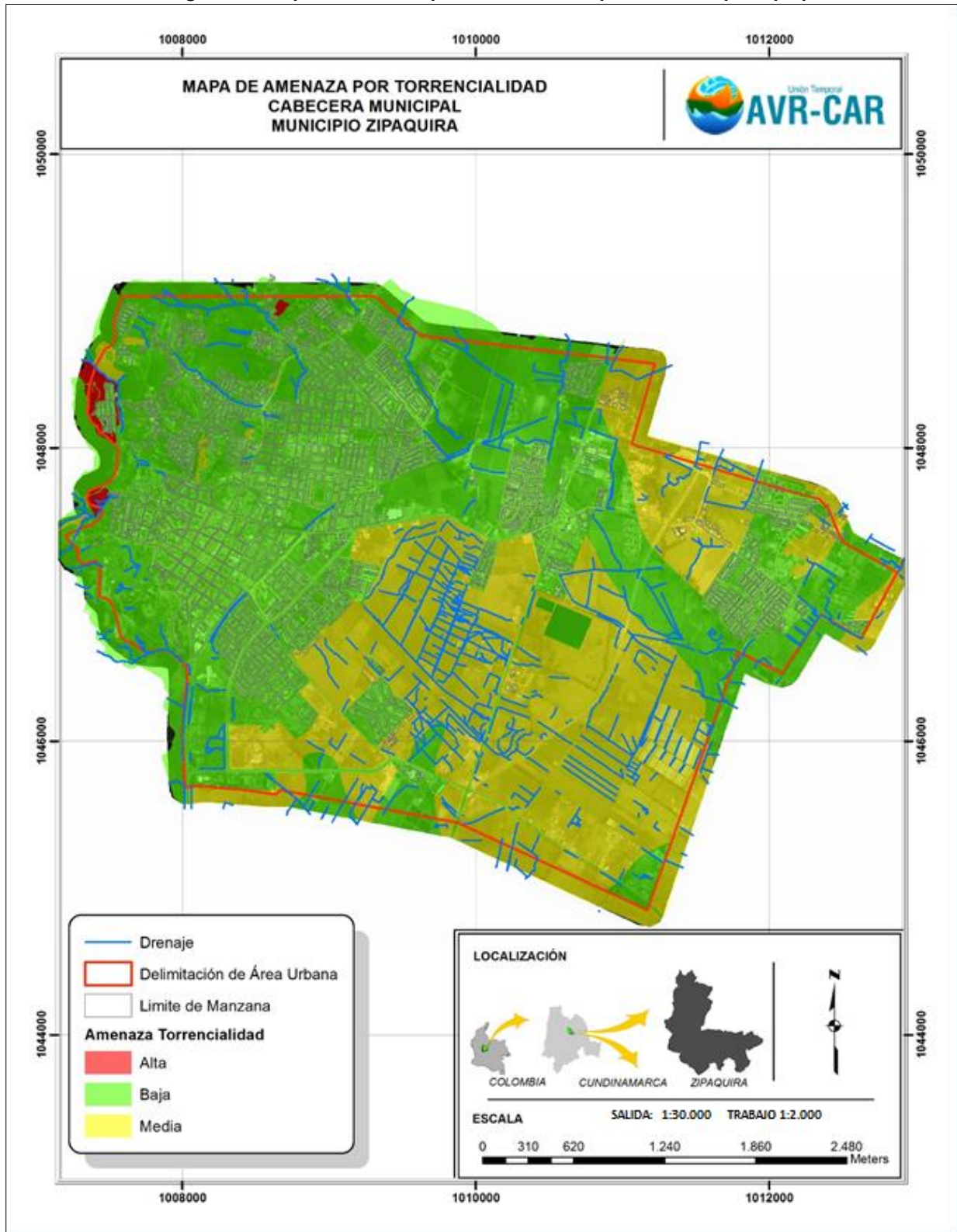
<b>Alta</b>	Áreas con potencialidad de torrencialidad alta representada por una mínima parte del casco urbano, observadas al noroccidente del municipio, en el barrio Bolívar caracterizadas por morfologías de laderas medias; procesos activos de coronas de movimientos en masa activos.
<b>Media</b>	Áreas con potencialidad de torrencialidad media representada por una pequeña área del Municipio asociadas a los cauces de las quebradas El Amolador y El Hospital y el Río Susagua. Caracterizada por su morfología de laderas moderadas a empinadas, cimas montañosas; depósitos de movimientos en masa inactivos (antiguos) y Terrazas aluviales
<b>Baja</b>	Áreas con potencialidad de torrencialidad baja, con morfologías de crestas subhorizontales, crestas inclinadas y crestas subhorizontales. Principalmente localizadas en la mayor parte del casco urbano del municipio.

Fuente: UT AVR CAR, 2014

Considerando los datos obtenidos que se muestran en la **Figura 4.8**, se puede ver, que para el caso de Zipaquirá el 37,27% del área de interés se encuentra en una categoría de amenaza media donde se tienen laderas moderadas, planicies de inundación, depósitos de movimientos en masa inactivos y depósitos fluvio torrenciales, que en algunos casos presentan procesos de erosión activos y torrencialidades entre altas y medias. Adicional a lo anterior, se tiene que estas áreas están asociadas a los cauces de las quebradas El Amolador y El Hospital, y el Río Susagua.

Por otra parte, un 0,61% del área de interés se encuentra en una categoría de amenaza por torrencialidad alta, asociada a depósitos de movimientos en masa activos y zonas aledañas a los cauces de las quebradas ubicadas hacia el occidente, donde se tienen procesos de socavación activos.

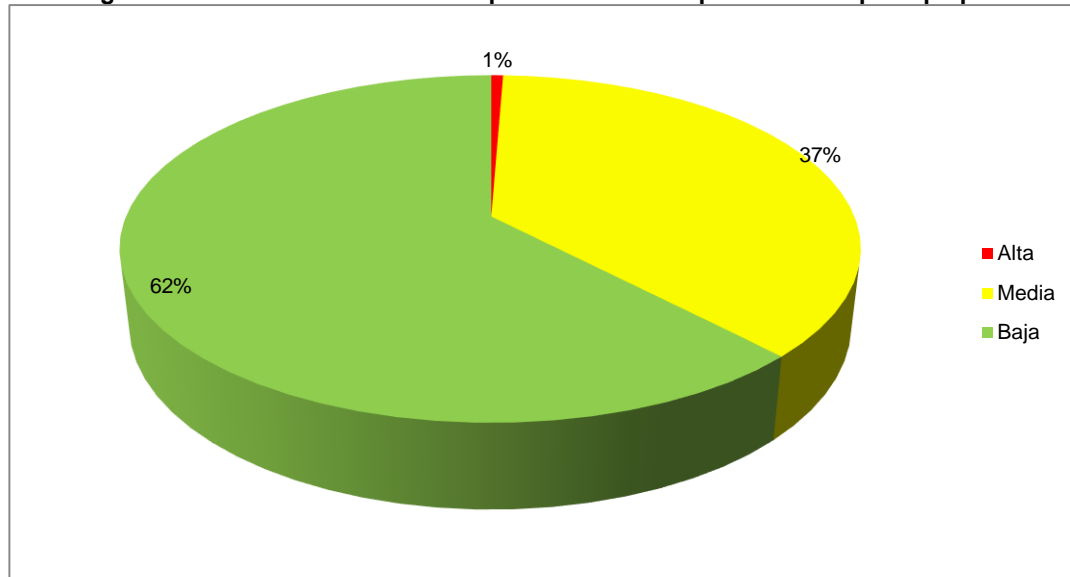
Figura 4.7. Mapa de amenaza por Torrencialidad para el Municipio Zipaquirá



Fuente: UT AVR CAR, 2014

El 62,1% del área de interés se encuentra en una categoría de amenaza por torrencialidad baja, distribuida de manera especial en la zona donde se desarrolla el casco urbano actualmente, considerando que se tienen pendientes bajas en el terreno y la influencia de las quebradas y ríos es baja.

**Figura 4.8 Distribución de amenaza por torrencialidad para el Municipio Zipaquirá**



Fuente: UT AVR CAR, 2014

## 5 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad puede comprenderse como aquel conjunto de condiciones a partir de las cuales una comunidad esta o queda expuesta al peligro de resultar afectada por una amenaza, sea de tipo natural, antrópica o socio-natural. Adicionalmente se define como el grado de pérdida o destrucción de un elemento señalado o de un grupo de elementos en riesgo, como resultado de la ocurrencia de un fenómeno natural de magnitud determinada (Varnes, 1984).

### 5.1 FACTORES PARA DETERMINAR LA VULNERABILIDAD

De acuerdo con la metodología del anexo técnico se debe calcular la vulnerabilidad a partir de la susceptibilidad de los elementos económicos, susceptibilidad de las personas y un análisis de intensidad del evento, sin embargo estos parámetros establecidos son generales lo cual limita el análisis, por lo tanto para el presente estudio se involucraron diversos índices que permiten un análisis más integral y detallado, y de esta manera evaluar adecuadamente todos los elementos que se encuentran en el área de estudios se caracterizaron los diferentes parámetros que se consideran relevantes e influyentes en la valoración de la vulnerabilidad; estos son:

- ✓ Índices de pérdida por categorías de uso del suelo
- ✓ Índices de área construida por manzana
- ✓ Índice de Ocupación por uso a nivel manzana y calibrados con el área construida por manzana
- ✓ Índices de fragilidad (fragilidad social + fragilidad física)
- ✓ Resiliencia o capacidad de una sociedad de recuperarse después del impacto

Para analizar la vulnerabilidad teniendo en cuenta la Escala 1:2.000, se contemplaron como elementos expuestos aquellos que se encuentren dentro de la descripción de las coberturas adaptadas para Colombia en la metodología de Corine Land Cover. Con base en lo propuesto por Cardona (2003) y adaptado el mapa de coberturas los pasos que se siguieron para obtener el modelo de exposición son los siguientes:

- 1) Efectuar una zonificación para obtener zonas homogéneas para zonas urbanas (ZHZU).
- 2) Asignar a las zonas homogéneas obtenidas previamente una serie de indicadores que permitan establecer el modelo de exposición de la zona en estudio.

### 5.2 ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD

El valor de vulnerabilidad depende tanto de las características y calidad de las construcciones como de la localización de las amenazas, por tal razón para evaluar la vulnerabilidad de los elementos dentro del área en estudio, se caracterizaron los diferentes parámetros que se consideran como los más relevantes e influyentes en la valoración de la vulnerabilidad la cual viene definida por:

$$V = I \times S$$

Donde: V: Vulnerabilidad  
I: Intensidad del evento  
S: Susceptibilidad de los elementos en riesgo

Este contempla la severidad de la acción del deslizamiento como la capacidad de resistencia brindada por los elementos. Los elementos en riesgo pueden dividirse en dos categorías, comúnmente, personas y elementos económicos.

### 5.2.1 Susceptibilidad de los elementos económicos

El análisis de la susceptibilidad se efectúa tanto para los elementos económicos como a las personas.

Los elementos económicos incluyen edificios, vías o rutas de transporte y elementos naturales, los cuales se pueden clasificar a partir del mapa de uso del suelo. La capacidad de resistencia para un grado de riesgo se asocia a las estructuras y al estado en el cual se encuentra, lo cual se traduce en índices de ocupación, índices de pérdida e índices de fragilidad, tanto física como socio económica; de acuerdo con el anexo técnico la susceptibilidad se calcula:

$$S_{eco} = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - S_i)$$

Donde: Seco = Susceptibilidad de los elementos económicos.

$S_i$  = Factor de susceptibilidad que contribuye a la susceptibilidad de los elementos económicos, incluyendo Stipo y Smart

Sin embargo bajo el Modelo de Indicadores de Vulnerabilidad, ésta se plantea como un factor interno de riesgo y se relaciona con la exposición, con la susceptibilidad física de los elementos expuestos a ser afectados por la ocurrencia de un desastre y la fragilidad social y la resiliencia de las comunidades para responder ante un desastre o absorber su impacto y se describen mas adelante

Para edificaciones el tipo de estructura define la capacidad para resistir la deformación e impacto ocasionados por las fuerzas del deslizamiento. Seis categorías de estructuras y valores del factor de susceptibilidad se muestran en la **Tabla 5.1**.

**Tabla 5.1. Valores propuestos para el factor de susceptibilidad asociada con el tipo de estructura.**

Tipo de estructura	Resistencia	Stipo
Estructuras simples, ligeras	Ninguna	1,00
Estructuras livianas	Muy baja	0,90
Muros en roca, concreto o madera	Baja	0,70
Muros en ladrillo o estructuras en concreto	Media	0,50
Estructuras en concreto reforzado	Alta	0,30
Estructuras reforzadas	Muy alta	0,10

Fuente: Anexo Técnico de la CAR.

El factor de susceptibilidad debido al tipo de edificación se calcula utilizando la **Tabla 5.1**; dependiendo de las estructuras encontradas en la zona, estas se podrán agrupar de la siguiente manera:

- Estructuras simples, ligeras: Aquellas que están construidas con materiales de recuperación, tales como madera, zinc, barro o cartón.

- Estructuras livianas: Edificaciones en mampostería de arcilla cocida o cemento no reforzada y sin elementos estructurales.
- Estructuras con muros en mampostería confinada: Edificaciones en mampostería de arcilla cocida o concreto con algunos elementos estructurales tales como vigas o columnas, que le brindan cierto grado de confinamiento.
- Estructuras en concreto reforzado: Edificaciones con sistema estructural aporticado que le brindan un alto grado de confinamiento.

El factor de susceptibilidad debido al mantenimiento puede asignarse de manera subjetiva, como el estado promedio de las edificaciones por manzanas, como se muestra en la **Tabla 5.2**.

**Tabla 5.2. Valores propuestos para el factor de susceptibilidad por el estado de la edificación.**

Estado de la edificación	Smant
Deficiente	0,50
Malo	0,40
Medio	0,25
Bueno	0,10
Muy bueno	0,00

Fuente: Anexo Técnico de la CAR.

Con el objetivo de implementar la metodología propuesta en el anexo técnico se procedió a evaluar y calcular la susceptibilidad mediante visitas técnicas en las cuales se identificaron diferentes estructuras y se agruparon en cuatro (4) clases diferentes.

Los materiales usados para la construcción de una vivienda representan una variable muy importante en la estimación de la vulnerabilidad de ésta. Por ello, primero se en listan los diferentes tipos de materiales que se utilizan en el sector y, posteriormente, las combinaciones que resultan entre los materiales de construcción usados en los muros o en el techo de la vivienda serán tipificadas y evaluadas en función de su comportamiento.

A continuación se presentan los diferentes materiales que se tienen para la construcción de las edificaciones:

**Tabla 5.3. Tipos de material para los muros.**

Tipo	Material
M1	Material de desecho
M2	Lámina de cartón
M3	Lamina de asbesto o metálica
M4	Bambú o palma
M5	Bareque
M6	Madera
M7	Adobe
M8	Ladrillo, cemento, concreto

Fuente: Elaboración propia. UT AVR CAR, 2014

**Tabla 5.4. Tipos de material para los techos.**

Tipo	Material
T1	Material de desecho
T2	Lámina de cartón
T3	Lámina de asbesto o metálica
T4	Palma o madera
T5	Teja
T6	Concreto

Fuente: Elaboración propia. UT AVR CAR, 2014



Una vez recolectada la información se clasificará el tipo de vivienda en grupos de acuerdo a su combinación de techos y muros. Ver **Tabla 5.5**.

**Tabla 5.5. Cuadro de convenciones.**

Tipo	Muros								
	Tipo	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Techo	T1	1	x	x	x	x	x	x	x
	T2	X	2	4	5	7	10	12	16
	T3	X	3	X	6	8	11	13	17
	T4	X	X	X	X	9	X	14	18
	T5	X	X	X	X	X	X	15	19
	T6	x	x	x	x	x	x	x	20

Fuente: Elaboración propia. UT AVR CAR, 2014

Las diferentes combinaciones se agrupan en cuatro grupos de la siguiente manera:

**Tabla 5.6. Agrupaciones de tipo de viviendas.**

Tipo	Clase	Descripción
1	I	Vivienda con muros y techos de material de desecho
2	I	Vivienda con muros y techos de lámina de cartón
3	I	Vivienda con muros de lámina de cartón y techo de lámina de asbesto o metálica
4	II	Vivienda con muros de lámina de asbesto o metálica y techos de lámina de cartón
5	II	Vivienda con muros de carrizo, bambú o palma y techo de lámina de cartón
6	II	Vivienda con muros de carrizo, bambú o palma y techo de lámina de asbesto o metálica
7	II	Vivienda con muros de barro o bareque y techo de lámina de cartón
8	II	Vivienda con muros de barro o bareque y techo de lámina de asbesto o metálica
9	II	Vivienda con muros de barro o bareque y techo de palma, tejamanil o madera
10	II	Vivienda con muros de madera y techos de lámina de cartón
11	III	Vivienda con muros de madera y techo de lámina de asbesto o metálica
12	II	Vivienda con muros de adobe y techo de lámina de cartón
13	III	Vivienda con muros de adobe y techo de lámina de asbesto o metálica
14	III	Vivienda con muros de adobe y techo de palma, tejamanil o madera
15	III	Vivienda con muros de adobe y techo de lámina de teja
16	II	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto y techo de lámina de cartón
17	III	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto y techo de lámina de asbesto o metálica
18	III	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto y techo de palma, tejamanil o madera
19	III	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto y techo de teja
20	IV	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto y techo de losa de concreto, tabique, ladrillo o terrado con vigería

Fuente: Elaboración propia. UT AVR CAR, 2014

A cada grupo de vivienda se le asigna un valor de susceptibilidad, sin embargo el valor de análisis es el resultado del promedio por manzana. Ver **Tabla 5.7**.

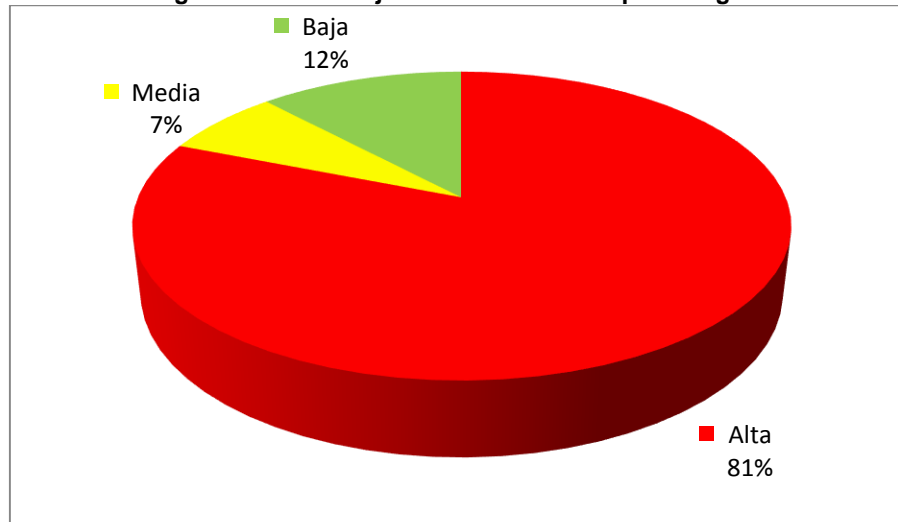
**Tabla 5.7. Valores de susceptibilidad para cada clase de vivienda**

Clase	Stipo
I	0,9
II	0,7
III	0,5
IV	0,3

Fuente: Elaboración propia. UT AVR CAR, 2014

El 81% del área corresponde a sectores densamente construidos, esto se explica debido a que este municipio está próximo a Bogotá y se desarrollan muchas actividades económicas y de servicios estas áreas se encuentran ampliamente por todo el centro del municipio. La densidad media de área construida por manzana por su parte solo abarca el 7% del total de área del municipio, mientras que la densidad baja corresponde al 12%, es de resaltar que ésta última corresponde a las áreas de expansión urbana.

**Figura 5.1 Porcentaje de área construida por categoría**



Fuente: UT AVR CAR, 2014

### 5.2.2 Susceptibilidad de las personas

Para deslizamientos que se producen a tasas de movimiento muy bajas, el riesgo de las personas proviene de la deformación de las estructuras y edificaciones, el cual puede evitarse por el instinto de protección de cada uno. En contraste, el impacto y efecto neto durante un deslizamiento repentino y a gran velocidad se convierte en el principal riesgo para las persona. Tres factores de susceptibilidad son considerados:

- Por el tipo de edificación.
- Edificaciones con más de 4 habitantes menores de edad.
- Número de habitantes discapacitados.

Donde la susceptibilidad se calcula por:

$$S_{per} = 1 - \prod_{i=1}^3 (1 - S_i)$$

Donde:  $S_{per}$  = Susceptibilidad de las personas.

$S_i$  = Es el factor de susceptibilidad que contribuye a la susceptibilidad de las personas, incluyendo  $S_{tipo}$ ,  $S_{menores}$  de edad y  $S_{salud}$

### 5.2.3 Intensidad

Para este parámetro de acuerdo a los anexos técnicos está relacionado con la posición de los elementos expuestos con respecto a la amenaza. Sin embargo para este parámetro se deben



tener en cuenta características cinéticas y cinemáticas de los deslizamientos y estos dependen de los tipos de movimientos, velocidad de los mismos y cantidad de material desplazado, se propone como ajuste a la intensidad la evaluación de la posición de los elementos expuestos con respecto a la amenaza por inundación.

Para esto se determinaron unos valores de intensidad para cada uno de los niveles de amenaza. Ver **Tabla 5.8**.

**Tabla 5.8. Valores de intensidad para cada nivel de amenaza por inundación.**

Amenaza	Intensidad
Alta	0,5
Media	0,3
Baja	0,1

Fuente: Elaboración propia. UT AVR CAR, 2014

Basados en los resultados del estudio de amenaza por inundación, se asignó un valor de intensidad a cada una de los elementos del sector urbano y área de expansión del municipio de Zipaquirá, de acuerdo al nivel de amenaza en el que se encuentran catalogados.

### 5.3 RESULTADOS DE LA VULNERABILIDAD

Para toda la infraestructura pública y privada que se encuentra en el sector urbano del Municipio de Zipaquirá se calculó la vulnerabilidad aplicando la siguiente metodología, en donde se asignó un porcentaje de relevancia a cada uno de los parámetros analizados.

$$Veco = Intensidad \times Selementos \text{ en riesgo}$$

$$Selementos \text{ en riesgo} = \frac{Seco + Sper}{2}$$

$$Seco = 1 - (1 - Stipo)(1 - Smant)$$

$$Sper = 1 - (1 - Stipo)(1 - Smenores \text{ edad})(1 - Ssalud)$$

Teniendo en cuenta las anteriores formulas se zonificaron las áreas de manera cualitativa de acuerdo a los siguientes criterios, los cuales se plasman en el mapa de vulnerabilidad.

**Tabla 5.9. Calificación de la Vulnerabilidad.**

Categoría de Vulnerabilidad	Rango
Alta	0,25<
Media	0,15 – 0,25
Baja	<0,15

Fuente: Elaboración propia. UT AVR CAR, 2014

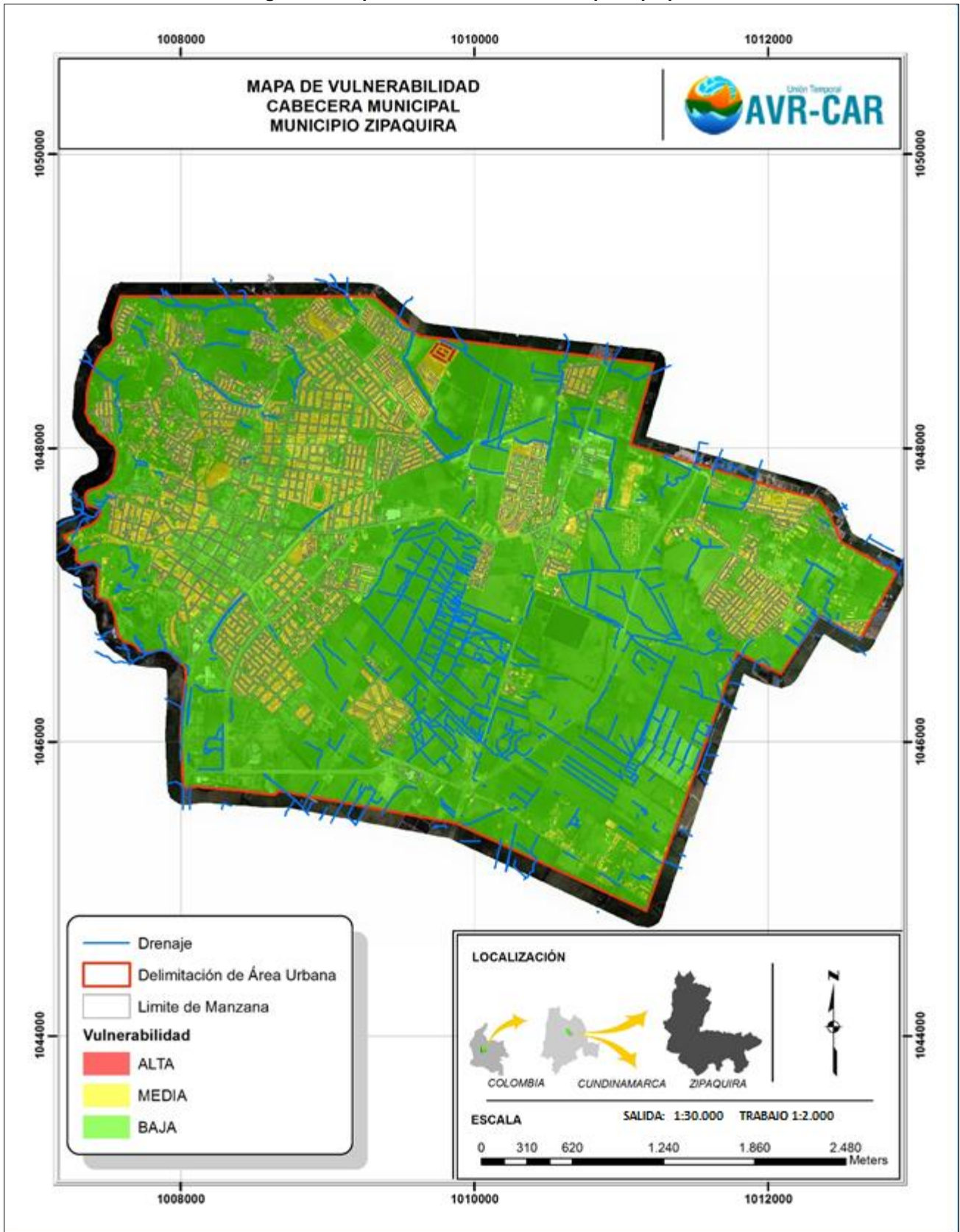
De acuerdo con los resultados obtenidos del cruce de las capas de índice de fragilidad total y el índice de resiliencia se identificaron cada una de las características predominantes para cada una de las categorías de vulnerabilidad y se presentan en la **Tabla 5.10**.

**Tabla 5.10 Descripción de los niveles de vulnerabilidad propuestos**

Valor	Categoría Índice de Vulnerabilidad (IV)	Símbolo
>0,20	<b>Alta:</b> áreas de alta fragilidad social con presencia de equipamientos colectivos, zonas residenciales y comerciales los cuales presentan una fragilidad física media a alta, una resiliencia media a alta y con unos índices de ocupación por uso altos, de igual forma presentan unos indicadores de falta de resiliencia predominantemente altos a medios lo cual indica baja capacidad de respuesta frente a la ocurrencia de eventos torrenciales o de remoción en masa. De igual forma se presenta una densidad de construcción por manzana predominantemente alta lo que generaría un mayor impacto socio económico	
0,10 – 0,20	<b>Media:</b> áreas de alta fragilidad social con presencia de zonas residenciales y comerciales con una densidad de construcción por manzana media y una fragilidad física media, estas zonas suponen una capacidad de recuperación a mediano plazo por lo tanto su resiliencia es media, los índices de ocupación por uso presentan valores medios y bajos en algunos casos	
0 - 0,10	<b>Baja:</b> áreas predominantemente de expansión y zonas verdes, con una densidad de construcción baja, niveles de fragilidad total bajos a medios y una falta de resiliencia igualmente baja	

De acuerdo con el mapa de vulnerabilidad hay un evidente predominio de la vulnerabilidad baja en toda a cabecera municipal, motivada principalmente por las zonas verdes de expansión que superan en extensión a las demás áreas ya consolidadas, allí las edificaciones son dispersas y aun no se evidencia una estructura urbana de calles y carreras; las áreas de vulnerabilidad media por su parte se caracterizan por presentarse en áreas residenciales y comerciales del municipio, donde ya está consolidada la estructura urbana (ver **Figura 5.2**).

Figura 5.2 Mapa de vulnerabilidad Municipio Zipaquirá



Fuente: UT AVR CAR, 2014

## 6 EVALUACIÓN DE RIESGO

El riesgo es el desastre potencial, definido como el daño, destrucción o pérdida esperada obtenida de la convolución de la probabilidad de ocurrencia de eventos peligrosos y de la vulnerabilidad de los elementos expuestos a tales amenazas, matemáticamente expresado como la probabilidad de exceder un nivel de consecuencias económicas y sociales en un cierto sitio y en un cierto período de tiempo. (Cardona, 1997a).

El riesgo se relaciona con algo que aún no ha sucedido, se refiere a una situación potencial y suele definir como las posibles consecuencias desfavorables económicas, sociales y ambientales que se pueden presentar a raíz de ocurrir un evento dañino en un contexto de debilidad social y física ante el mismo.

Debido a la complejidad de las avenidas torrenciales y a la dinámica de los elementos expuestos, hay una variedad de posibilidades tanta en la amenaza como en la vulnerabilidad que hace necesario enriquecer el estudio para que sirva como herramienta en la planificación territorial y la prevención de desastres.

Se presenta una propuesta de zonificación del riesgo por avenidas torrenciales y se traduce metodológicamente en la combinación de la amenaza con los indicadores de vulnerabilidad que le son propios, para producir la estimación del riesgo ante esta amenaza.

La propuesta se apoya en la construcción de mapas temáticos para las amenazas y vulnerabilidades específicas.

En el caso particular de este estudio se estimó el riesgo como el producto de la probabilidad de la amenaza por las consecuencias para los elementos en riesgo.

$$R = A \times V$$

Donde: R: Riesgo

A: Amenaza

V: Vulnerabilidad

### 6.1 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL RIESGO

El objetivo final del estudio es establecer los elementos en riesgo, para la generación del mapa de riesgo se cruzaron el mapa de amenaza y el mapa de vulnerabilidad además de las observaciones que se van generando en el cruce de estos mapas.

Conocido el valor de los elementos, así como su afectación acumulada, pueden determinarse las consecuencias, las cuales se presentan en el mapa de riesgo. El proceso de clasificación del riesgo se realizó a partir de la **Tabla 6.1**.

**Tabla 6.1. Matriz de riesgos.**

Niveles de Vulnerabilidad	Niveles de Amenaza		
	Alta	Media	Baja
Alta	Alto	Alto	Medio
Media	Alto	Medio	Medio
Baja	Medio	Medio	Bajo

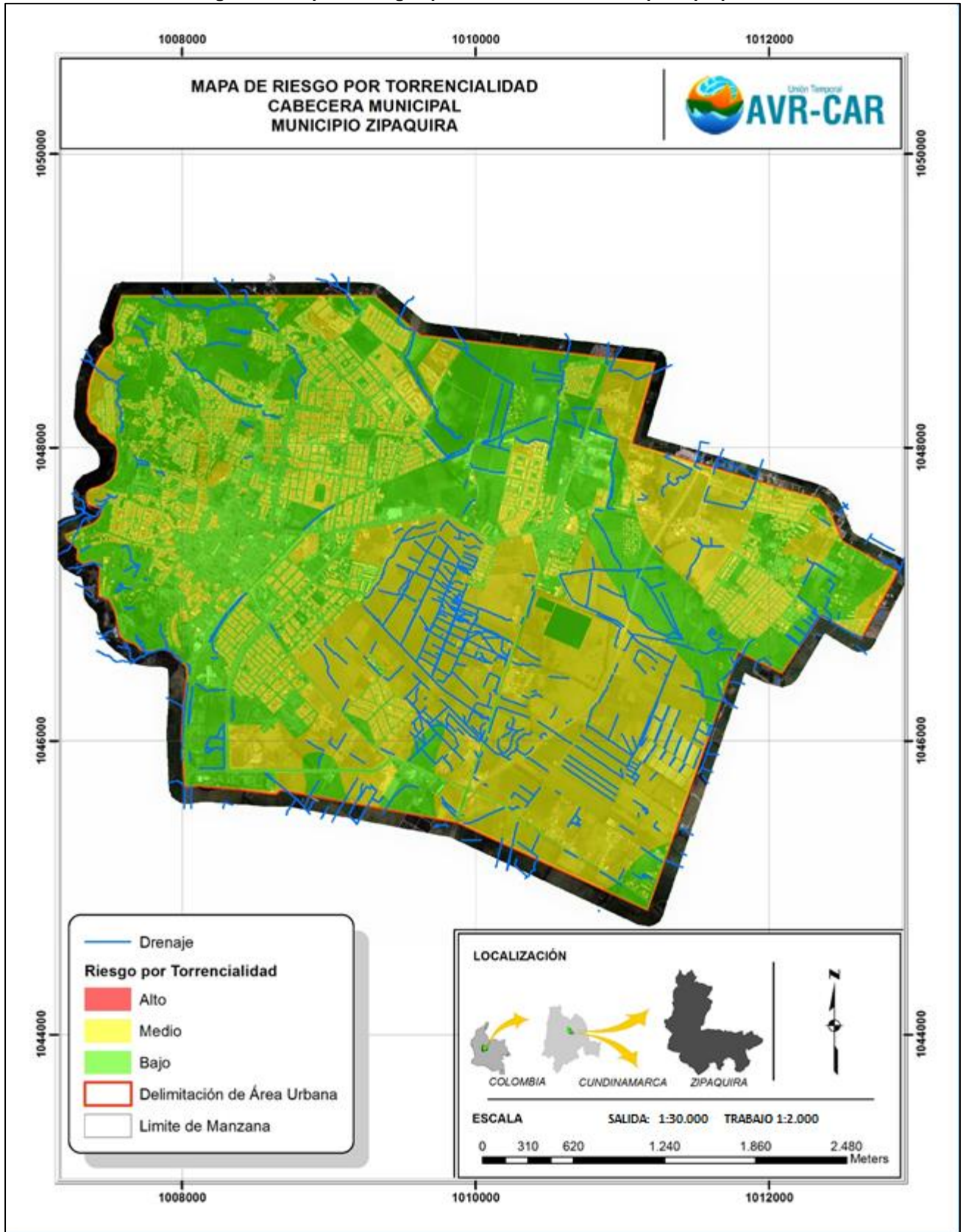
Fuente: Elaboración propia. UT AVR CAR, 2014

En la **Figura 6.1** y **Figura 6.2**, se presentan los resultados obtenidos; se puede ver que para el casco urbano de Zipaquirá un 53,7% del área de interés, se tiene una categoría de riesgo medio, donde se tienen zonas de canalizaciones, explanaciones urbanas, cortes de vías, laderas moderadas, depósitos de movimientos en masa activos e inactivos, laderas suaves, abanicos aluviales, depósitos fluvio torrenciales y planicies de inundación en las cuales se tienen pocos procesos de erosión activos. Estas zonas están asociadas a las zonas donde la vulnerabilidad es alta, con uso de suelo residencial donde se presentan fragilidades y falta de resiliencia considerables; de manera adicional, se tiene, que las zonas aledañas a los cauces de la quebrada El Amolador, El Hospital y el Río Susagua, presentan este tipo de clasificación, considerando la información relacionada en vulnerabilidad donde se tiene clasificaciones bajas asociadas con el uso que estas presentan (zonas verdes de expansión), pero que al momento de considerar la amenaza, presentan una categorización mayor al ser zonas de depósitos fluvio torrenciales.

El restante 46,3% del área de interés se encuentra en una categoría de riesgo bajo, donde se tienen unidades similares, sin procesos erosivos activos y donde se presentan vulnerabilidades bajas asociadas a índices de ocupación bajos donde se tienen usos dotacionales, comerciales y zonas de expansión urbanas. Finalmente en la **Tabla 6.2** se presenta la categorización del índice de riesgos para el Municipio de Zipaquirá.

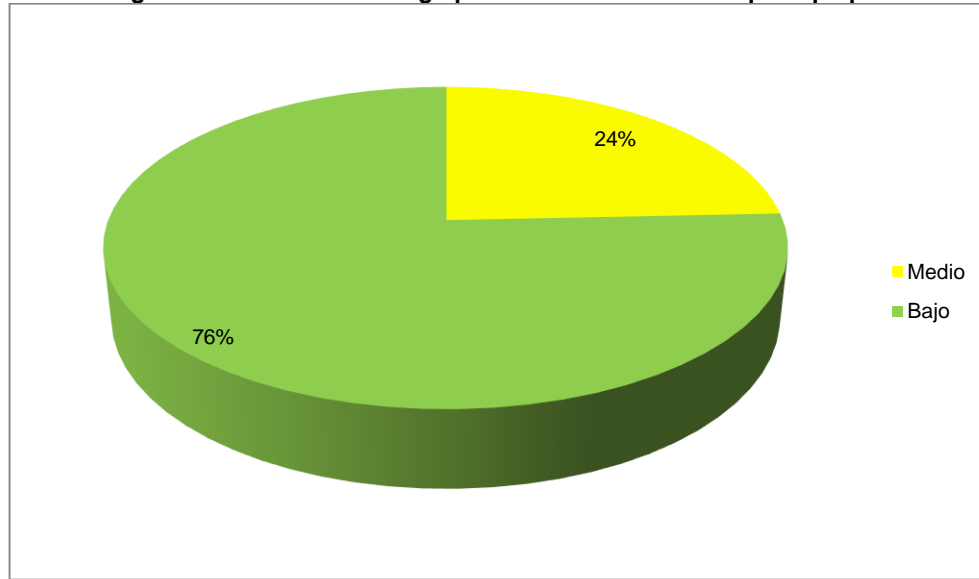


**Figura 6.1 Mapa de riesgos por Torrencialidad Municipio Zipaquirá**



Fuente: UT AVR CAR, 2014

**Figura 6.2 Distribución riesgo por Torrencialidad Municipio Zipaquirá**



Fuente: UT AVR CAR, 2014

**Tabla 6.2 Categorías de índice de riesgos**

Valor	Categoría índice de riesgo (IR)	Símbolo
0.65 -1	<b>Alta:</b> áreas que presentan amenaza por torrencialidad entre media y alta y vulnerabilidad alta. La recuperación ambiental del área se puede dar a largo plazo. Las pérdidas se asocian a ecosistemas estratégicos y áreas de preservación y conservación, así como algunos sectores productivos. Sin embargo los sectores urbano y de expansión urbana se encuentran en esta zona y requieren una evaluación a escala de detalle, para identificar áreas de uso restringido y/o de protección.	
0.30-0.65	<b>Media:</b> áreas que presentan amenaza por torrencialidad y vulnerabilidad entre media y baja. La recuperación ambiental del área se puede dar en mediano plazo, debido especialmente a una resiliencia media de la zona. Las pérdidas más importantes se asocian a ecosistemas estratégicos y a la existencia de cultivos permanentes y transitorios, así como de pastos y ganadería, una de las principales actividades económicas del municipio.	
0 - 0.30	<b>Baja:</b> áreas que presentan amenaza por torrencialidad y vulnerabilidad bajas. La recuperación se puede dar en corto plazo, pero las áreas pueden ser afectadas por procesos de inundación y depositación de lodos que afectan el tiempo de recuperación de las mismas. Las pérdidas se asocian a principalmente a cultivos y pastos.	

Fuente: UT AVR CAR, 2014

## 7 CONCLUSIONES

- ✓ La metodología básica definida por la CAR para adelantar los estudios de amenaza por torrencialidad plantea un componente basado en el método IVET (IDEAM, 2011) y geomorfológico de carácter semi cuantitativo. Sin embargo, debido a que no se tienen datos georreferenciados que permitan establecer lluvias asociadas a eventos torrenciales o de movimientos en masa, para este análisis se procedió a realizar una estimación mediante isoyetas de precipitación y la aplicación de métodos GIS a partir de la información de las 51 estaciones de precipitación entregadas por la CAR, razones que hizo necesario la aplicación de otras metodologías para reducir la incertidumbre asociada a los modelos hidrológicos y a los diferentes insumos o parámetros requeridos para aplicar en cada etapa.
- ✓ El control de campo efectuado en el área urbana para evidenciar el fenómeno de Torrencialidad y el calibrado de los procesos morfodinámicos interpretados en la imagen de satélite, confirman que en el sitio en donde se localiza la zona urbana de Zipaquirá se identificaron procesos torrenciales sobre los ríos Negro y El Gavilán que atraviesan el casco urbano. El Río Negro presenta procesos de torrencialidad e inundaciones a lo largo de su recorrido de sur a norte. Cabe destacar que éste tiene varios afluentes y que en él se depositan todas las aguas residuales y de escorrentía del municipio lo que en época de invierno acelera los procesos de socavación, torrencialidad e inundaciones.
- ✓ El casco urbano del Municipio Zipaquirá se encuentra asociado a un índice de vulnerabilidad entre medio y bajo en el área urbana y de expansión urbana (IVET). El índice de vulnerabilidad está regido por las condiciones morfométricas y por las condiciones antrópicas y se encuentra que 24 de las microcuencas que tienen influencia en el municipio presentan un índice de vulnerabilidad alto, 8 medio y 20 en baja para un total de 52 microcuencas.
- ✓ En el área urbana de Zipaquirá el 0,61% del área se encuentra en una categoría de amenaza por torrencialidad alta, asociada a depósitos de movimientos en masa activos y zonas aledañas a los cauces de las quebradas ubicadas hacia el oriente, donde se tienen procesos de socavación activos; el 37,27% se encuentra en una categoría de amenaza media asociada a los cauces de las quebradas el Amolador y El Hospital, y el Río Susagua y el 62,1% en una categoría de amenaza por torrencialidad baja, distribuida de manera especial en la zona donde se localiza el casco urbano
- ✓ Hay un evidente predominio de la vulnerabilidad baja en toda a cabecera municipal, motivada principalmente por las zonas verdes de expansión que superan en extensión a las demás áreas ya consolidadas, allí las edificaciones son dispersas y aun no se evidencia una estructura urbana de calles y carreras; las áreas de vulnerabilidad media por su parte se caracterizan por presentarse en áreas residenciales y comerciales del municipio, donde ya está consolidada la estructura urbana.
- ✓ El riesgo por torrencialidad en el casco urbano de Zipaquirá presenta un 53,7% del área en una categoría de riesgo medio, donde se tienen zonas de canalizaciones, explanaciones urbanas, cortes de vías, laderas moderadas, depósitos de movimientos en masa activos e inactivos, laderas suaves, abanicos aluviales, depósitos fluvio torrenciales y planicies de inundación donde se tienen pocos procesos de erosión activos. Estas zonas están asociadas a las zonas donde la vulnerabilidad es alta, con uso de suelo residencial donde se tienen fragilidades y falta de resiliencia considerables; de manera adicional, se tiene, que las zonas aledañas a los cauces de las quebradas El Amolador, El Hospital y el Río Susagua. El restante 46,3% del área de interés se encuentra en una categoría de riesgo



bajo, donde se tienen unidades similares, sin procesos erosivos activos y donde se tienen vulnerabilidades bajas asociadas a índices de ocupación bajos donde se tienen usos dotacionales, comerciales y zonas de expansión urbanas.

## 8 RECOMENDACIONES.

- ✓ Mejorar la adquisición de información pertinente a los fenómenos de amenazas torrenciales que eventualmente pudieran afectar al casco urbano del municipio, georreferenciando los registros históricos e incorporando las actualizaciones del caso, con el fin de complementar la información ofrecida con el presente estudio, de manera que hacia el futuro los funcionarios calificados para el efecto, puedan precisar la evaluación integral del riesgo, para efecto de una toma de decisiones efectivas, funcionales y proyectadas, en relación con el eventual desarrollo de este tipo de amenazas.
- ✓ Concientizar y capacitar a la población en general, a través de programas radiales y de folletos ilustrados, acerca de las características básicas que generan los procesos torrenciales y las eventuales acciones preventivas (conservación de bosques, limpieza de los cauces, minimizar procesos erosivos, etc.), y de protección (construcciones alejadas de los cauces, procedimientos de alarma y evacuación, etc.), con las que puedan hacer frente a un eventual desarrollo de un fenómeno de este tipo en su entorno cercano.

## 9 FUENTES DE CONSULTA

- Alzate et al., (2012): Zonificación a escala grande de amenaza por fenómenos de remoción en masa, empleando la herramienta del SIG.
- Aristizábal Edier, Martínez Hernán, Vélez Jaime Ignacio ( 2010): Una revisión sobre el estudio de movimientos en masa detonados por lluvia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 34 (131): 209-227, 2010. ISSN 0370-3908.
- Baeza, C. y Corominas, J. (2001) : Assessme  
nt of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques. Earth Surface Processes and Landforms, 26: 1251-1263.
- BID, Universidad Nacional de Colombia - IDEA. "Indicadores para la gestión de Riesgos – Fundamentos Metodológicos". Manizales, Colombia, 2003.
- Brea, J. D. (2006) : Flujos densos en la región andina argentina: Problemática, tratamiento, soluciones, Presentación oral en el I Encuentro Latinoamericano de Hidráulica, Construcción y Medio Ambiente, UPAO, 14 al 19 de agosto de 2006, Trujillo-Perú.
- Brea, J. D., Spalletti, L., Hopwood, H. J., & Spalletti, P. (2005) : Conceptos y aplicaciones sobre flujos densos en la hidráulica de ríos. Ingeniería del Agua, 12(3), 189-200.
- Caballero A., H. (2011) : Las avenidas torrenciales: una amenaza potencial en el valle de Aburrá. Gestión y Ambiente, 14(3), 45-50.
- Calderon, Y., Murcia, C., (2004) : Propuesta metodológica para el desarrollo de una zonificación geotécnica para cartografía de zonificación geomecánica Volumen III. Informe Interno Ingeominas, Bogotá.
- Calderón, et al., 2007. Metodología para la zonificación de amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta, departamento de Santander, Colombia. SGC.
- Cardona, O. D., Londoño, J.P., (2013) : Piloto de asistencia técnica para incorporar la gestión integral de riesgos hidrológicos en el ordenamiento territorial municipal. Parte II. PRCC-PNUD.
- Carrara A., (1992): Landslide hazard assesment. Proc. Er. Primer Simposio Internacional sobre sensores remotos y sistema de Información Geográfica para el estudio de riesgos naturales. Bogotá, Colombia, 329-335 pp.
- Carvajal, H. (2011) : Propuesta de estandarización de La cartografía Geomorfológica en Colombia, Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS.
- CIIFEN – USAID. "Estudio de la vulnerabilidad frente al cambio climático de la RPF Manglares del Salado". Ecuador, 2011
- CIIFEN. "Implementación de un sistema de información de vulnerabilidad sectorial de la Provincia de Guayas frente al cambio y la variabilidad climática". Ecuador, 2011

- Costa, J. E. (1988) : Rheologic, geomorphic, and sedimentologic differentiation of water floods, hyperconcentrated flows, and debris flows. Flood Geomorphology. John Wiley & Sons New York.
- Coussot, P. (1997) : Mudflow Rheology and Dynamics, International Association for Hydraulic Research. Monograph Series, 255 pp.
- Evaluación de Riesgo ERM . América Latina. “Metodología de análisis Probabilista de Riesgos. Informe TRN – CAPRA – TR2”. <http://www.ecapra.org>. 2010
- Evaluación de Riesgo ERM . América Latina. “Propuesta de funciones e indicadores de Vulnerabilidad. Informe ERN – CAPRA 2.2” . <http://www.ecapra.org>. 2010
- Evaluación de Riesgo ERM . América Latina. “Caracterización, clasificación y valoración de elementos expuestos. Informe ERN – CAPRA T2.1” . <http://www.ecapra.org>. 2010
- González de Vallejo, L.I. (2002) : Ingeniería geológica, Pearsons Educación, ISBN 8420531049, 9788420531045, 715 pp.
- Hoek, E, & Bray, J. (1977) Rock Slope Engineering. The Institute of Mining and Metallurgy, London.
- IDEAM (2013): Lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del agua-ERA 2013, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá D.C., 275 pp., ISBN: 978-958-8067-62-9.
- ISDR. 2002. Living with risk: A global review of disaster reduction initiatives. UN Inter-Agency Secretariat for the International Strategy for Disaster Reduction. Geneva 10, Switzerland.
- Julien, P. Y., & Leon, C. (2000) : Mud floods, mudflows and debris flows. Classification, rheology and structural design. Jornadas de Investigación JIFI.
- Lewis, D.W. & McConchie, D. (1994) : “Practical Sedimentology”. Chapman & Hall, 213 pp. New York.
- ISDR. 2002. Living with risk: A global review of disaster reduction initiatives. UN Inter-Agency Secretariat for the International Strategy for Disaster Reduction. Geneva 10, Switzerland.
- Mainali, A. & Rajaratman, N. (1994) : “Experimental study of debris flow”. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE. Vol 120. No.1. Discussion by P. Coussot and M. Meunier in Journal of Hyd. Eng. ASCE. May 1995.
- Middleton, G.V. & Hampton, M.A. (1978) : “Subaqueous sediment transport and deposition by sediment gravity flows”. In: Stanley, J.D. & Swift, D.J.P. (Eds.) Marine Sediment Transport and Environmental Management. John Wiley & sons: 197-218. New York.
- Middleton, G.V. & Southard, J.B. (1984): Mechanics of Sediment Movement. Lecture Notes, Short Course 3, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 401 pp. Tulsa.
- Norma Colombiana de Diseño y Construcción sismo resistente. NSR10.
- Nuria Santacana, Quintas, Jordi Corominas, Dulcet. (2001) : Análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de SIG – Aplicación a la cuenca alta del río Llobrega”. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.

- Padilla, J. et al., (2004) Propuesta Metodológica para el Desarrollo de la Cartografía geológica para Ingeniería Vol., II. Ingeominas, Informe Interno PROYECTO: COMPILACION Y LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACION GEOMECANICA.
- PMA, Geociencias para las comunidades Andinas., (2007). Movimientos en masa en la región Andina- Guia para la evaluación de amenazas. Publicación Geologica Multinacional No. 4.
- Parra, E., Viana, R., González, M. (1995) : Metodología para la evaluación de la torrencialidad caso
- Santacana, N. (2001) : Análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de sistemas de información geográfica. Aplicación a la cuenca alta del río llobregat. Departamento de Ingeniería del Terreno y Cartográfica ETSECCPB., Universidad Politécnica de Cataluña.
- Santacana, N., B. Baeza, J. Corominas, A. De Paz, and J. Marturia, (2003): A GIS-based multivariate statistical analysis for shallow landslide susceptibility mapping in la pobla de lillet area (eastern pyrenees, spain). Natural Hazards 30 (3) (Nov): 281-95Sharpe, C.F.S. (1960) : "Landslides and related phenomena" Columbia University Press, 138 pp. New York.
- Van Zuidam, Robert., (1985) Aerial Photo-Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping. ITC-Holanda.
- Varnes, D. (1978) : Slope movements, types and processes. In R. L. Schuster and R. J. Krises editions, Landslides, analysis and control. Transportation Res. Board. Washington. Special report 176.
- Vélez, J. I., Rave, C., Caballero, H., Montes, L. F., Escobar, D., Arango, A., ... & Smith, R. (2003) : Definición de Retiros en Cuencas Urbanas. Revista Avances en Recursos Hidráulicos, (10).
- Wan, Z. & Wang, Z. (1994) : "Hyperconcentrated Flow". IAHR Monograph Series. A.A.Balkema.
- Zinck, A. (2012) : GEOPEDOLOGIA: Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales. ITC Special Lecture Notes Series, ISBN: 90 6164 339 2.
- Zaldua Cifuentes Liliana. "Modelación de vulnerabilidad física de estructuras de uno y dos pisos asociadas a deslizamientos". Universidad Nacional de Colombia. 2011
- Evaluación de Riesgo ERM . América Latina. "Metodología de análisis Probabilista de Riesgos. Informe TRN – CAPRA – TR2". <http://www.ecapra.org>. 2010.