

**CONVENIO DE ASOCIACIÓN No. 41320268003-32939 ENTRE  
DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE PLANEACIÓN MUNICIPAL – DAPM  
Y  
CORPORACIÓN OBSERVATORIO SISMOLÓGICO DEL SUROCCIDENTE OSSO –  
CORPORACIÓN OSSO**

**EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y EL RIESGO POR  
MOVIMIENTOS EN MASA EN EL MUNICIPIO  
DE SANTIAGO DE CALI, PRIMERA FASE**

**Informe Final**

Presentado por Corporación OSSO

Cali, 18 de diciembre de 2013

## **Contenido**

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>2. OBJETO DE ESTUDIO.....</b>	<b>6</b>
<b>3. PREPARACIÓN DE BASES DE DATOS ESPACIALES.....</b>	<b>8</b>
<b>3.1 Información suministrada por DAPM.....</b>	<b>8</b>
<b>3.2 Información suministrada por IDESC.....</b>	<b>9</b>
<b>3.3 Necesidades de información.....</b>	<b>10</b>
<b>4. PROCESOS CAUSALES.....</b>	<b>11</b>
<b>4.1 Modelo conceptual general.....</b>	<b>11</b>
<b>4.2 Análisis y clasificación de los movimientos en masa.....</b>	<b>13</b>
4.2.1 Construcción del catálogo histórico de movimientos en masa del municipio de Cali.....	13
4.2.2 Análisis descriptivo preliminar del catálogo.....	15
4.2.3 Localización y coherencia con cartografía preliminar de riesgos del POT en revisión y ajuste.....	17
<b>4.4 Identificación de huellas de movimientos de masa en dos zonas piloto.....</b>	<b>18</b>
<b>4.4 Procesos causales.....</b>	<b>19</b>
<b>5. MARCO NORMATIVO.....</b>	<b>23</b>
<b>5.1 Nacional.....</b>	<b>23</b>
<b>5.2 De las normas aplicables en Cali.....</b>	<b>26</b>
<b>5.3 De las normas aplicables en otras ciudades de Colombia.....</b>	<b>29</b>
5.3.2 Bogotá.....	29
5.3.2 Bucaramanga.....	32
5.3.3 Manizales.....	35
5.3.4 Medellín.....	36
<b>5.4 Revisión de normas internacionales.....</b>	<b>38</b>
5.4.1 Suiza .....	38
5.4.2 Hong Kong.....	41
<b>6. INSUMOS PARA EL REFINAMIENTO DEL MODELO DE AMENAZA Y/O SUSCEPTIBILIDAD.....</b>	<b>44</b>
<b>6.1 Síntesis de metodologías para la amenaza por movimientos de masa.....</b>	<b>44</b>
<b>6.2 Antecedentes del modelo de zonificación disponible en 2013.....</b>	<b>47</b>
<b>6.3 Metodologías de zonificación de los estudios previos.....</b>	<b>48</b>

6.3 Actualización de la amenaza por movimientos en masa para el municipio de Santiago de Cali, DAPM 2013.....	59
6.4 Criterios para validar la zonificación de movimientos de masa existentes.....	60
<b>7. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y EL RIESGO....</b>	<b>61</b>
<b>7.1 Revisión de literatura sobre evaluación de vulnerabilidad y riesgo.....</b>	<b>61</b>
<b>7.2 Selección de metodología.....</b>	<b>66</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>66</b>

## **Anexos.**

1. Listado de información necesaria identificada a lo largo del proyecto.
2. Descripción de bases de datos espaciales entregadas por el DAPM
3. Descripción de bases de datos espaciales entregadas por el IDESC.
4. Primera versión del “Catálogo histórico de movimientos en masa del Municipio de Cali, 1938 – 2012.
5. Listado de estudios realizados por DAPM para la construcción del mapa actual de amenaza
6. Metodología para la evaluación de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos de masa en el Valle de Aburrá.

## **1. INTRODUCCIÓN**

El presente documento corresponde al Informe Final del convenio de asociación No. 41320268003-32939 celebrado el 12 de noviembre de 2013 entre el Departamento de Planeación Municipal – DAPM y la Corporación Observatorio Sismológico del Sur Occidente – OSSO y que tiene por objeto el desarrollo de la primera fase de la evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo por movimientos en masa en el Municipio Santiago de Cali. Este convenio se desarrolla dentro del Convenio Marco de Cooperación Técnica Interinstitucional suscrito el 3 de septiembre de 2012 entre las mismas entidades.

Los principales productos se describen a continuación :

- Construcción de la primera versión del Catálogo histórico de movimientos en masa del municipio de Santiago de Cali. Que cuenta a la fecha con un total de 399 registros.
- Recuperación de la memoria histórica del proceso de construcción del mapa de zonificación de la amenaza por movimientos en masa para la ciudad, lo que incluyó un recuento del proceso genaral de construcción del mapa y un análisis sistemático de las variables usadas en cada modelo, la cobertura, escalas y categorías resultantes.
- Revisión de literatura internacional sobre que son los movimientos en masa y porque ocurren.
- Revisión de literatura sobre métodos de evaluación de amenaza por movimientos en masa.
- Revisión del marco normativo nacional y local en el tema de planificación y gestión de riesgos por movimientos en masa. Así como de experiencias en dos países con amplia tradición en los temas de amenazas y riesgos por movimientos en masa.
- Recolección y diagnóstico de las bases de datos espaciales entregadas por el DAPM.
- Identificación de huellas de deslizamientos en dos zonas pilotos de la ciudad Buitrera y Montebello a partir de un modelo de elevación digital del terreno.
- Revisión de literatura sobre métodos de evaluación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa.
- Identificación de criterios a considerar para el refinamiento del modelo de amenaza por movimientos en masa.

En el capítulo 2 de este informe, se presenta los objetivos, área de estudio y la metodología. Y en el 3, se presentan los resultados de recolección, análisis y procesamiento de las bases de datos espaciales obtenidas durante el desarrollo del proyecto y que sirvieron de base identificar necesidades y definir metodologías de evaluación para el diseño de los alcances de la Fase II.

En el capítulo 4, se resume el modelo conceptual sobre movimientos en masa, se definen las variables que controlan su ocurrencia y se describe el catalogo histórico de movimientos en masa para el municipio de Santiago de Cali, construido en el marco de esta primera fase. Se presenta la documentación de los procesos causales a partir de, la información contenida en los estudios realizados por el DAPM y de un análisis espacio temporal del catálogo mencionado.

En el capítulo 5, se presenta una revisión del marco normativo nacional en el tema de ordenamiento territorial y de la gestión de riesgos por movimientos; y una revisión de los casos cuatro ciudades de Colombia. Esta revisión se complementa con una mirada de la normativa sobre ordenamiento territorial y gestión de riesgos por movimientos en masa, en países con amplia experiencia en el tema..

En el capítulo 6, se presenta una descripción detallada de los estudios previos que alimentaron el modelo de amenaza, se presenta el estado del arte en evaluación de la amenaza por deslizamientos y se presentan los sectores representativos del área objeto de estudio que deben validados o actualizados en la Fase II del estudio así como la definición de criterios para la refinación del modelo de amenaza por movimientos en masa.

En el capítulo 7 se presenta el estado del arte en evaluación de vulnerabilidad y riesgo. La búsqueda de literatura incluyó artículos a nivel nacional como internacional. A partir de esta revisión y teniendo en cuenta las posibilidades y limitaciones de la información socio-económica disponible, tanto en la IDESC como en otras fuentes, se proponen las metodologías de evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo para la Fase II.

## 2. OBJETO DE ESTUDIO

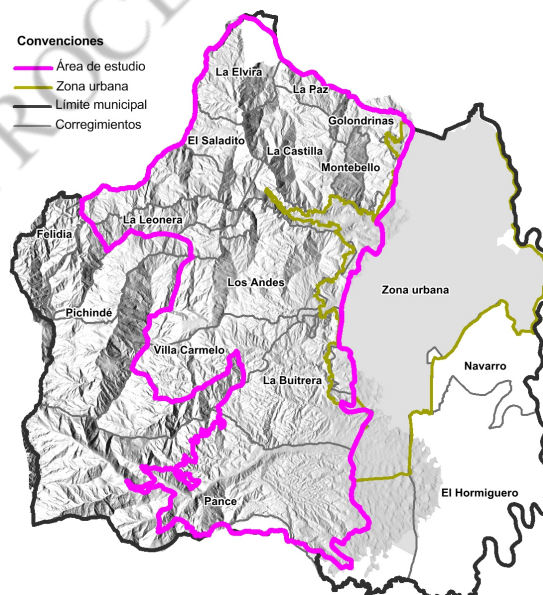
Esta primera fase del estudio de Evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo por movimientos en masa en el Municipio Santiago de Cali” tenía como meta formular la metodología, alcances y cronograma de actividades que permitirán en la segunda fase, refinar el modelo de amenaza, evaluar la vulnerabilidad y el riesgo por movimientos en masa, como instrumento al servicio del Municipio, de pobladores y de instituciones del orden local, regional y nacional.

Para alcanzar esa meta, los objetivos del Estudio en esta primera fase fueron:

- Recolectar información cartográfica básica e integrarla en un Sistema de Información Geográfica.
- Identificar y analizar los procesos causales del riesgo por movimientos en masa
- Revisar y hacer una síntesis de la zonificación de la amenaza/susceptibilidad por movimientos en masa disponible y seleccionar sitios representativos para validarla
- Revisar el estado del arte en evaluación de vulnerabilidad y riesgo y definir su aplicabilidad en el caso del Municipio Santiago de Cali.

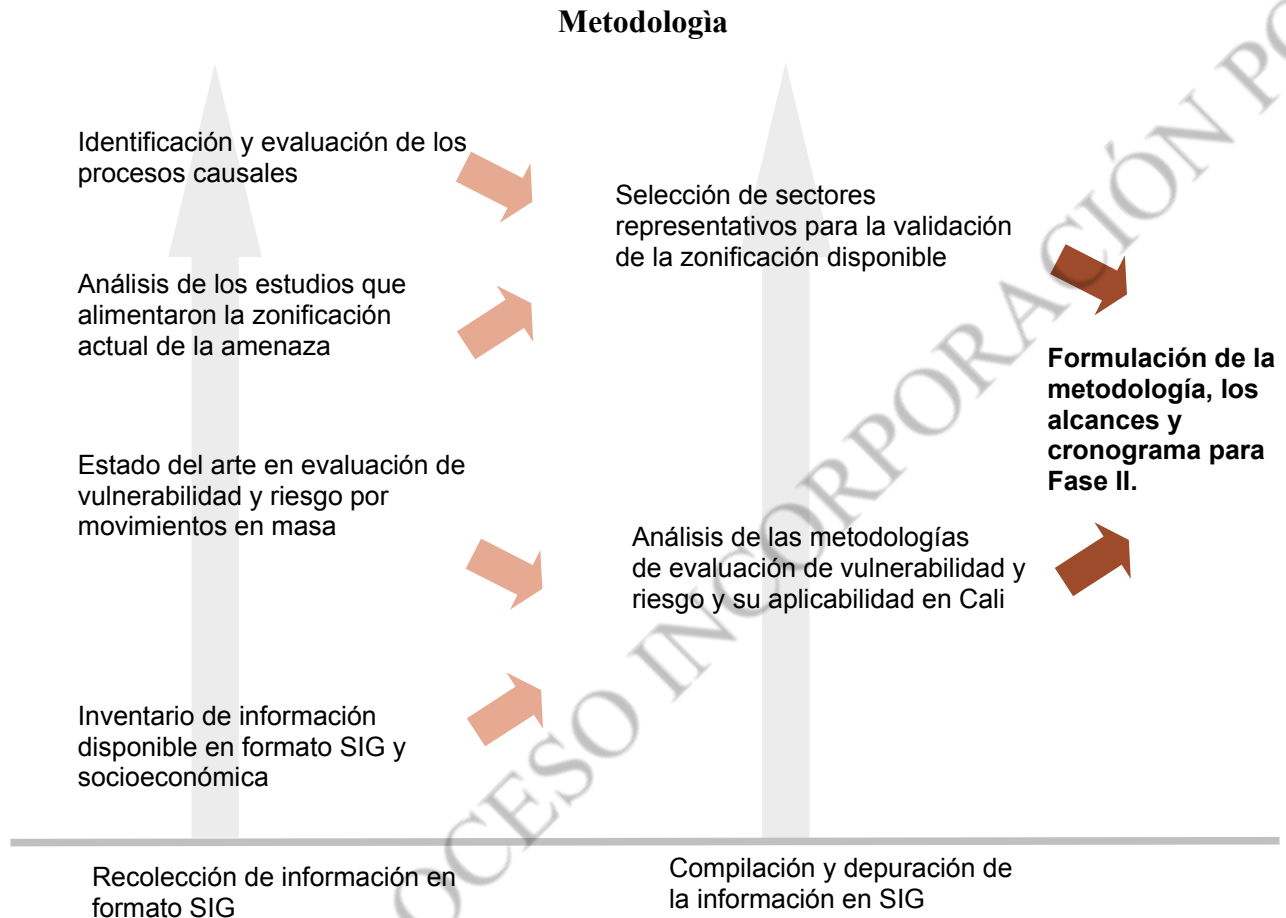
La zona de estudio corresponde al área de ladera de la ciudad, que cubre parte de las zonas rural y urbana del Municipio y excluye el Parque Nacional Natural Farallones. Está definida por el polígono envolvente de la zonas de amenaza por movimientos en masa (DAPM, 2013), desde la zona “Muy alta” hasta la “Baja”. Dicha zona se muestra en el siguiente mapa.

### Ubicación del área objeto de estudio.



Elaboró Corporación OSSO con base en DAPM

En el siguiente cuadro, se presenta la metodología aplicada para la formulación de los alcances de la fase II.



### **3. PREPARACIÓN DE BASES DE DATOS ESPACIALES**

En esta sección se presentan los resultados del componente 2 “Preparación de base de datos espaciales”. Se presenta un diagnóstico de la información recolectada para el área de estudio.

#### **3.1 Información suministrada por DAPM.**

El Departamento Administrativo de Planeación Municipal, DAPM, respondió oportunamente a la solicitud de información realizada, por medio de dos reuniones llevadas a cabo el viernes 29 de noviembre y lunes 02 de diciembre, estas reuniones permitieron conocer la información con la que cuenta el DAPM y su estado, a partir de un listado de información mínima necesaria que se elaboró (Ver Anexo 1 “Listado de información a buscar en DAPM y otras entidades”).

Como parte de este proceso el jueves 5 de diciembre el DAPM hizo entrega de una geodatabase la cual se denomina 20131202\_RAPOT.gdb montada en la plataforma ArcGis 10.1, la cual contiene un conjunto de dataset con información espacial de base y temática necesaria para llevar a cabo el estudio. Estos datos se encuentran con origen de coordenadas Magna Colombia Cali y su contenido se describe a continuación. El detalle del contenido de cada dataset se encuentra disponible en el Anexo 2 “Descripción de bases de datos espaciales entregadas por el DAPM”

##### **Dataset 1. Ambiental.**

Este dataset contiene información relacionada con la zonificación de los parques naturales (farallones de Cali) y zonas de reserva forestal protectora nacional. Además posee información hidrológica como la localización de los nacimientos, cuencas hidrográficas y nomenclatura de los ríos. En el momento se están revisando los datos de la fuente, el año y se esta precisando la escala de estos.

##### **Dataset 2. Amenaza.**

Contiene información espacial relacionada a tres amenazas a las que se enfrenta el municipio de Cali. La primera es la amenaza por movimientos en masa, esta información la genero el DAPM a partir de la homologación de estudios realizados en partes de la zona rural en diferentes años. La segunda amenaza es la de inundación, aquí contamos con los modelos generados por la Corporación OSSO en compañía de la empresa Royal Haskoning para el Fondo Adaptación en el 2012. Y por ultimo la amenaza por sismo, esta contiene los resultados el estudio de microzonificación sísmica realizado por INGEOMINAS en el año 2004.

##### **Dataset 3. Base.**

Esta conformado por la información básica del municipio. Estas son capas de información como vías, división político administrativa, pendientes, drenajes, barrios, comunas, humedales, ríos principales y curvas de nivel cada 10 metros.

##### **Dataset 4. CVC**

Contienen información temática ambiental relacionada con cobertura y uso del suelo, cuerpos de agua, ecosistemas, geomorfología, uso potencial, suelos, erosión, suelos de protección agrícola y diques. Esta información se encuentra generada en varios años. Aún esta pendiente por revisar algunos aspectos relacionados con la escala y la temporalidad de algunas capas. El límite municipal utilizado para el



corte de los modelos temáticas es diferente al que maneja el DAPM en este momento.

#### **Dataset 5. Equipamiento.**

El Equipamiento relaciona todas las infraestructuras tanto públicas como privadas relacionadas con la salud, la educación, la recreación, seguridad ciudadana, administración pública, cultura, deporte, bienestar social, justicia y convivencia y cementerios. Esta información se encuentra entre escalas 1:2000 y 1:5000, la fuente es el DAPM. Esta pendiente por revisar la temporalidad de esta información, la cual es rica en su elemento espacial, pero necesita retroalimentación en la base de datos, pues no posee los atributos necesarios para evaluar la vulnerabilidad.

#### **Data 6. Movilidad**

Contiene información relacionada con el sistema vial tanto rural como urbano, la proyección de ciclorutas en la zona urbano así como todo el trazado y localización de paradas y estaciones del sistema “Masivo Integrado de Occidente – MIO” Esta información es rica en su elemento espacial, pero necesita retroalimentación en la base de datos, pues no posee los atributos necesarios para evaluar la vulnerabilidad.

#### **Dataset 7. RiesgoMM\_Modelo**

Contiene las capas utilizadas para la modelación preliminar de riesgo por movimientos en masa, en la zona rural. Este fue generada por el DAPM en el año 2013 y posee los modelos cruzados de amenaza y vulnerabilidad. Se encuentra en proceso de revisión para definir su escala.

#### **Dataset 8. Servicios públicos.**

Cuenta con la localización de los sistemas de acueducto, alcantarillado, energía y gas del municipio. Aún se encuentra en proceso de revisión. Esta información es rica en su elemento espacial (especialmente en la zona urbana), pero necesita ser complementada en la base de datos, pues le faltan algunos atributos necesarios para evaluar la vulnerabilidad.

### **3.2 Información suministrada por IDESC**

La Infraestructura de Datos Espaciales de Cali - IDESC entregó oportuna información a la solicitud enviada en el marco de este convenio. Por medio de reunión llevada a cabo en las instalaciones de planeación municipal, se explicó la importancia de poder contar con los datos disponibles en IDESC, días después por medio de CD fue entregada la información.

La información fue entregada en formato Shapefile, en coordenadas Magna Colombia Cali. Básicamente se compone de información básica como límite de barrios, comunas, corregimientos, ríos, quebradas, vías, curvas de nivel y nomenclatura vial. A su vez posee información sobre equipamiento como escuelas, salud, recreación, etc

De acuerdo a lo que se conoce como elementos básicos para evaluar la vulnerabilidad, las bases de datos entregadas tienen una dificultad en cuanto a los atributos físicos de los elementos, por lo que se debe seguir en la tarea de recolección de información.

El detalle del contenido de cada dataset se encuentra disponible en el Anexo 3 “Descripción de bases de datos espaciales entregadas por el IDESC”

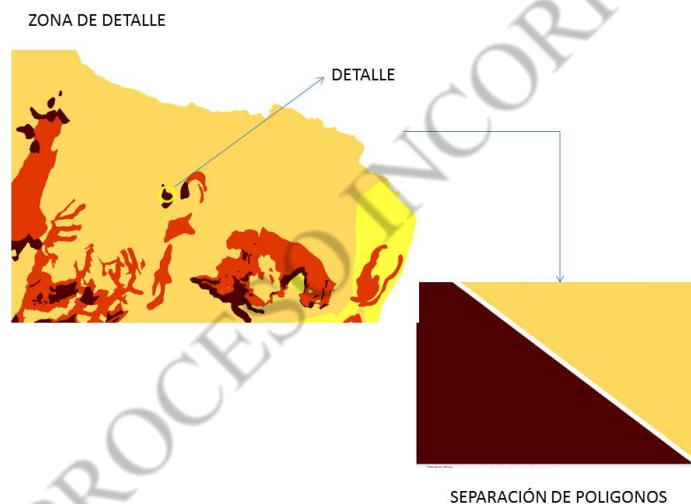
### 3.3 Necesidades de información

Para la elaboración de modelos de vulnerabilidad frente a la amenaza por movimientos en masa se requiere información correspondiente a la caracterización física de los elementos localizados sobre esas áreas en amenaza. La información revisada hasta la fecha, en su mayoría no dispone en gran medida de estos datos. La variable vivienda para la zona rural no se encuentra disponible y se esta a la espera de que catastro responda a solicitud enviada para poder tener acceso a las fichas catastrales.

De la misma manera para la variable de sistema de abastecimiento de agua y residuos líquidos no se cuenta con datos mas detallados para la zona rural, es por eso que se seguirá haciendo la solicitud a los diferentes instituciones o organizaciones encargadas para poder adquirir dicha información

El modelo de amenaza por movimientos en masa, debe ser sometido a un proceso de corrección de topología pues se han encontrado errores en la interconexión de polígonos.

#### **Ejemplo de inconsistencia en la interconexión de polígonos**



El volumen grueso de los datos revisados corresponde en gran parte a la zona urbana del municipio, por lo que se realizara un proceso de edición de las bases para armar una geodatabase nueva con los datos disponibles para la zona de estudio.

Durante la Fase II de esta estudio será necesario incluir la información de catastro no disponible durante esta fase y completar la información de atributos físicos de los elementos necesarios para la evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo.

## **4. PROCESOS CAUSALES**

La caracterización de los procesos causales, componente 1 del estudio, comprende varias actividades, desde la revisión de literatura nacional e internacional de que son y porque ocurren los movimientos en masa, la construcción de un catálogo histórico de movimientos ocurridos en la ciudad, el análisis cruzado de huellas de deslizamientos partir del modelo de elevación digital con diversas variables como geología y usos del suelo, hasta la realización de recorridos de campo para verificar las hipótesis en algunas sectores. Esta caracterización busca mediante la incorporación de tres hipótesis explicar porque se esta incrementando la amenaza y, consecuentemente el riesgo por movimientos en masa (MM) en las áreas urbana y rural de Cali, en la Cordillera Occidental.

### **4.1 Modelo conceptual general**

Los movimientos de masa han sido considerados como una de las mayores amenazas en regiones montañosas, causando daños sobre la infraestructuras y los bienes en las regiones donde ocurren, con en enormes pérdidas económicas. Por esta razón, la comprensión del fenómeno así como la formulación de metodologías para la evaluación de la amenaza y el riesgos por estos es una de constante interes tanto de la comunidad academica como de los planificadores responsables de su incorporación en los procesos de planificación del territorio.

Tanto en la literatura como en guías para el estudio de la amenaza y riesgos por movimientos de masa se encuentran disponibles variedad de definiciones sobre que es, porque ocurren y como se evalua la amenaza, la vulnerabilidad y riesgos por este fenómeno. Medina (1991) los define como fenómenos geológicos que en su mecanismo involucran la movilización de volúmenes de materiales hacia niveles inferiores, bajo la acción directa de la gravitación terrestre. Para Villota (1991), son procesos denudativos relacionados con desplazamientos o transposición más o menos rápida de volúmenes variables de suelo, roca o detritos sobre una pendiente, por incidencia de fuerzas de desplazamiento y agentes geomorfológicos. Suárez (1998) afirma que son procesos geotécnicos activos de los taludes y laderas que corresponden generalmente a movimientos hacia abajo y hacia afuera de los materiales que conforma un talud de roca, suelo natural, relleno artificial o una combinación de ellos. Los movimientos ocurren generalmente a lo largo de superficies de falla, por caída libre, movimientos de masa, erosión o flujos. Algunos segmentos de la ladera pueden moverse hacia arriba mientras otros lo hacen hacia abajo. AGS (2007) los define como el movimiento de rocas, suelo o tierra por una pendiente.

Existen diversas propuestas de clasificación de los tipos de movimientos de masa. Muchas de ella consideran dos variables básicas: el tipo de movimiento y el tipo de material involucrado en el movimiento. Una de las clasificaciones más usadas en la de Varnes (1978), la cual considera 3 tipos de material: roca, detritos y suelo y cinco tipos de movimiento de suelo, caídas, volcamientos, deslizamientos, esparcimientos laterales y flujos. Otros autores como Cruden y Varnes (1998) involucran en la clasificación de los movimientos elementos como la velocidad del movimiento, estilo del movimiento, contenido de agua, estado del movimiento, etc.

La distribución espacial y temporal de los movimientos de masa está condicionada por la presencia de diversos factores, propios de la ladera y externos a ella. Estos factores se pueden agrupar en tres

grupos, propios de la ladera, los cuales se relacionan con las condiciones naturales de la ladera, como es el caso del relieve del terreno, su constitución geológica y las condiciones naturales de humedad; factores de deterioro, que producen una modificación lenta de las condiciones originales del talud y son capaces de producir movimientos leves, como por ejemplo, la intervención humana y, factores detonantes o de disparo, que se caracterizan por activar el movimiento. Estos últimos pueden traslaparse con los factores de deterioro, como es el caso de factores relacionados con la actividad antrópica.

Autores como Medina (1991), Mora y Vahrson (1993), Soeters and Van Westen (1996), Cruden y Varnes (1998), Dai y otros (2002), entre otros, coinciden en que las pendientes naturales del terreno, la constitución geológica, que incluye tanto el tipo de material como la estructuras del sitio, fracturas, fallas, pliegues, planos de estratificación, foliación y el grado de meteorización de los materiales y, el contenido de humedad del suelo son factores necesarios a considerar para comprender los movimientos de masa. Otro parametro importante se relaciona con la vegetación, la cual cumple dos funciones principales: en primer lugar, tiende a determinar el contenido de agua en la superficie y, en segundo, da consistencia por el entramado mecánico de sus raíces (Aguilar y Mendoza, 2002).

Otro factor que cobra cada vez más importancia tanto como factor de deterioro como de disparo es la acción antrópica (Medina, 1991; Suárez, 1998; y Schuster, 1996 Dai et al., 2002), esta puede clasificarse en cuatro tipos:

- Cambios en la topografía y cargas del talud. Ocasionados por la extracción de suelos y rocas para la construcción; aumento del peso de la ladera debido a los procesos de urbanización o rellenos ineficientes y por los efectos de la actividad subterránea, como la minería.
- Cambios en las condiciones de humedad. Debido a la alteración de los drenajes naturales por la construcción de zanjas y canales; alteración de los drenajes subterráneos y la presencia de infiltración y aumento de aguas superficiales por la deficiente instalación de acueductos y alcantarillados.
- Vibraciones. En la construcción de carreteras e infraestructura; explosiones, transportes y movimiento de maquinaria pesada, que inducen vibración en la ladera, desestabilizándola.
- Cambios en la cobertura vegetal. Se manifiesta en los procesos de deforestación; prácticas agrícolas y ganaderas inadecuadas y en modificaciones en el uso del suelo que resultan perjudiciales para la ladera.

De acuerdo con los factores que condicionan la ocurrencia de movimientos en masa, se plantearon tres hipótesis para explicar los movimientos de masa en el municipio de Santiago de Cali. Estas hipótesis son:

- Hipótesis 1. Los movimientos en masa son procesos naturales. Los factores de estos procesos son las formaciones geológicas superficiales, las pendientes del terreno, cobertura vegetal, socavación, lluvias (precipitaciones, escorrentía, infiltración) y sismos.
- Hipótesis 2. Los movimientos en masa son acentuados y/o generados por procesos de ocupación del territorio. Por el emplazamiento de viviendas y otras edificaciones (la “urbanización de la ruralidad” – y su expansión y densificación en el tiempo), cortes de laderas, vertimientos de

aguas servidas y fugas en acueductos, etc.

- Hipótesis 3. Los movimientos en masa son acentuados y/o generados por infraestructura lineal: vías y sus descoles, cortes (“taludes”), canales y tuberías de acueducto y alcantarillado y/o por la ausencia de alcantarillado.

## **4.2 Análisis y clasificación de los movimientos en masa**

La zonificación de la susceptibilidad y/o amenaza requiere un detallado inventario de los procesos de inestabilidad; el estudio de estos procesos en relación con su marco ambiental; el análisis de los factores de susceptibilidad y disparo; la representación espacial de los factores y de los procesos de inestabilidad (Mora y Vahrson, 1993; Soeters and Van Westen, 1996). Por esta razón, una necesidad fundamental para el desarrollo de este proyecto es contar con un catálogo histórico de movimientos de masa en el municipio, el cual pueda ser contrastado con variables condicionantes de los fenómenos como geología y usos del suelo, analizar la variación espacio-temporal de los movimientos y como un insumo para validar el mapa de amenazas de movimientos de masa.

### **4.2.1 Construcción del catálogo histórico de movimientos en masa del municipio de Cali.**

A continuación se describe las fuentes consultadas y los criterios que se utilizaron para la construcción del catálogo de movimientos en masa. El catálogo está disponible en el Anexo 4.

#### ***Fuentes utilizadas en la construcción del catálogo***

Se identificaron posibles fuentes de información a nivel local y nacional, las cuales disponen de eventos, daños y efectos, relacionados con movimientos en masa ocurridos en Cali para el periodo 1934-2012. Para ello se consultaron tres bases de datos: Inventario histórico nacional de Colombia, Inventario histórico de pérdidas de Cali y el Sistema de Información de Movimientos en Masa del Servicio Geológico Colombiano, los cuales se encuentran disponibles en la web.

A continuación se describen las fuentes utilizadas:

- Inventario histórico de pérdidas de Colombia, (disponible en: [online.desinventar.org](http://online.desinventar.org)). De esta base de datos utilizaron 18 fichas del periodo 1938- 1952. Estos registros tienen como fuente principal datos de INGEOMINAS.
- Inventario histórico de Cali, (disponible en: [online.desinventar.org](http://online.desinventar.org)). De esta se utilizaron 279 registros para el periodo 1950-2012. Esta base cuenta con información que proviene de distintas fuentes, dentro de las cuales están:
- CMGRD, para el periodo 2010-2012. La mayor parte de los registros de la base de Cali tienen esta fuente. La información disponible en el CMGRD se encuentra en formatos físico y digital y se accedió a ella por medio de solicitud formal, en el marco de otro proyecto.
- DAPM, para el periodo 2010-2012. Es la segunda fuente con el mayor número de registros. La información disponible en el DAPM se encuentra en formato físico y se accedió a ella a través de solicitud formal en el marco de otro proyecto. La información se encuentra dispersa en

diversos documentos de la correspondencia general, los cuales están organizados así: Derechos de petición para atender daños por efectos de la ola invernal; “Conceptos de riesgo” que corresponden a la respuesta del DAPM a las solicitudes de la comunidad afectada por algún fenómeno y reportes de eventos enviados por otras entidades.

- Fuentes hemerográficas: El País y El Tiempo para el periodo 1970-2011. Se utilizaron estas fuentes como complementar los datos oficiales, además, porque en el caso de El País, es el periodico local mas importante del suroccidente colombiano.
- SIMMA (Sistema de Información de Movimientos en Masa), la base es a nivel nacional y se encuentra disponible en <http://zaforo.ingegominas.gov.co/simma/formato/fcato.aspx?Var1=024695%20class=>). En esta base se encontraron 201 registros de Cali para el periodo 1934-2012, en donde se registran movimientos en masa y flujos, en algunos casos se reportan daños y efectos.

### ***Criterios para la construcción del catálogo y sistematización de la información***

La construcción de este catálogo requirió comparar y unificar datos, cuando 2 o más fuentes reportaron el mismo evento. Además se dispuso de un conjunto de criterios para que la sistematización de la información se hiciera de manera homogénea. A continuación se describen los criterios tenidos en cuenta.

- Los datos de cada fuente fueron organizados en orden cronológico con el fin de identificar posibles eventos que estuvieran reportados por más de una fuente de información; para ello se realizó una revisión cruzada de datos en todas las fuentes.
- Se procedió, además, a buscar reportes en las 3 fuentes usadas con características iguales o similares: igual tipo de evento, fecha igual o similar, igual vereda o comuna y/o que tuvieran datos de daños y pérdidas similares. Los casos identificados se revisaron uno a uno para determinar si se trataba, o no, del mismo evento. En el caso de tratarse del mismo evento, se integraron los datos en una sola ficha; en el campo de fuente se escribieron todas las fuentes que se usaron.

La información se registró en un formato (ficha) que cuenta con unos campos básicos, tomados de las fichas de registro del catálogo de SIMMA y del Inventario histórico de pérdidas de DesInventar. A continuación se listan y describen los campos de la ficha básica del catálogo.

- **Fecha del deslizamiento**, cuando ocurrió el evento
- **Fecha de registro**, cuando se hizo el reporte
- **Fuente**, de donde proviene los datos
- **Sitio**, en este campo se registra el lugar donde ocurrió el evento, puede ser el nombre de un sitio, un barrio o el corregimiento y la comuna donde ocurrió.
- **Dirección**, si se tiene la dirección precisa donde ocurrió el evento
- **Coordenadas geográficas**, latitud y longitud. En el caso de los registros de fuente SIMMA se encontraron registros que aunque tienen las coordenadas, estas no coinciden con la descripción de lugar (por lo tanto no se usaron las coordenadas). Algunas fichas de esta fuente estaban

ubicadas en la zona plana de la ciudad, al oriente. En la mayoría de estos casos no se usaron las coordenadas en otros, si se trataba de flujos, si se usaron.

- **Tipo de movimientos**, en este caso se puso si se trató de un movimiento en masa, un flujo o un hundimiento, siempre y cuando la fuente proporcionara el dato; en aquellos casos donde no se mencionaba se puso deslizamiento.
- **Tipo de material del movimiento o composición- geología**, en este caso se puso de que material estaba compuesto el movimiento, por ejemplo, tierra, rocas, flujo de lodo, etc.
- **Uso del suelo**, la vocación que tiene el suelo, por ejemplo, residencia, mina, etc.
- **Campo de daños o efectos** (muertos, heridos, damnificados, afectados, evacuados, reubicados, viviendas destruidas, viviendas afectadas, cultivos y bosques, vías afectadas, centros de educación, centros hospitalarios, ganado, valor perdidas, otras perdidas, transporte, comunicaciones, instalaciones de socorro, agropecuario, acueducto, alcantarillado, energía, industrias, salud, otros, observación de efectos), aquí se escribieron aquellos daños y pérdidas en personas, bienes y sectores que produjo el evento. Se puso “hubo” o “hubo afectación” en aquellos campos donde hubo algún tipo de daños pero no se contó con el dato cuantitativo.
- **Causa**, se escribió lo que causó el movimiento en masa. En aquellos registros donde la fuente no proporcionó esta información se puso como causa “Desconocida”
- **Observación de causa**, es un campo donde se describe con mayor detalle sobre las causas del evento.

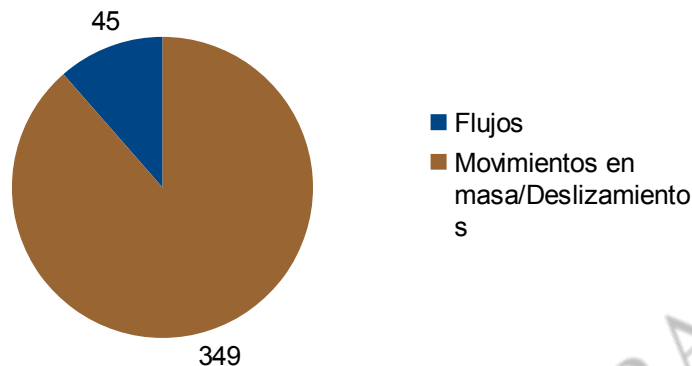
Como este es un catálogo de movimientos en masa se tuvieron en cuenta tanto los registros con daños y/o pérdidas, como aquellos que no tuvieron.

#### **4.2.2 Análisis descriptivo preliminar del catálogo**

La base de datos está en proceso de depuración porque al parecer hay registros repetidos. Por ejemplo, para el barrio Brisas de Mayo Sector Pueblo Joven diversos registros en 1987, 1988 y otros años, en realidad pueden corresponder a varias noticias sobre el mismo deslizamiento desde que se inició en 1987 hasta que las viviendas e infraestructura afectadas fueron relocalizadas y el lugar se adecuó como un parque. Sin embargo, otros reportes en un mismo sitio o coordenada también pueden corresponder a removilizaciones de deslizamientos. Esto ocurre, por ejemplo, en los sitios de Terrón Colorado y vía al mar con desprendimientos de material desde las laderas y taludes de la vía y a hundimientos más o menos constantes que la afectan en algunos lugares.

En el catálogo se registraron 399 eventos, de los cuales el 87% están clasificados como Movimientos en masa y/o deslizamientos; mientras que, el 11% se categorizaron como flujos y en el 1% de los registros la fuente no proporcionó el dato.

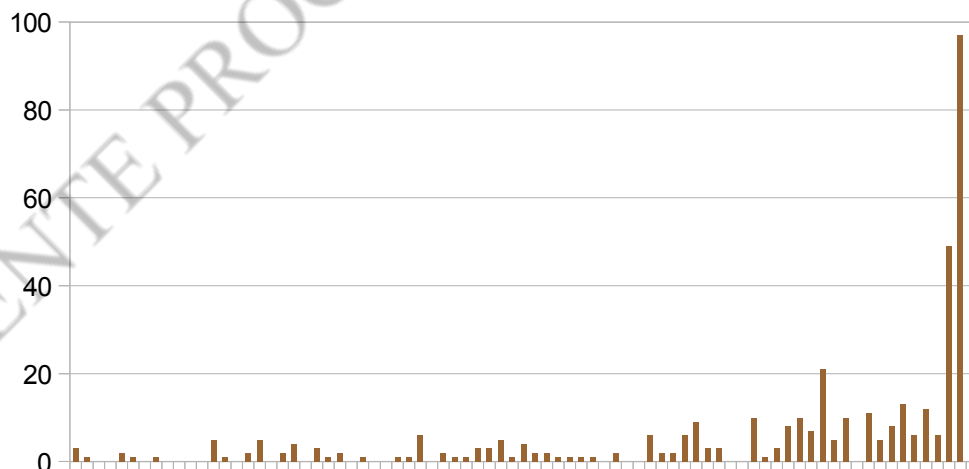
### Tipos de movimientos de masa en el municipio de Cali, 1934-2012



Fuente: elaboración propia. Catálogo histórico de movimientos en masa 1938-2012

Aunque la base de datos tiene reportes desde el año 1993, podría decirse que la base de datos tiene registros mas homogéneos desde 1984 o 1993. Hay tres años con mayor cantidad de reportes que son, 1999, 2010 y 2011. Es posible que esta versión de la base de datos, que aún no ha integrado la información de otras entidades del Municipio diferentes al DAPM, tenga un sesgo para el periodo de la ola invernal 2010-2011. Ya que para este periodo, se dispuso de información recolectada por el CMGRD y por el DAPM.

### Cantidad anual movimientos en masa reportados en el catálogo, 1934-2012, Cali.

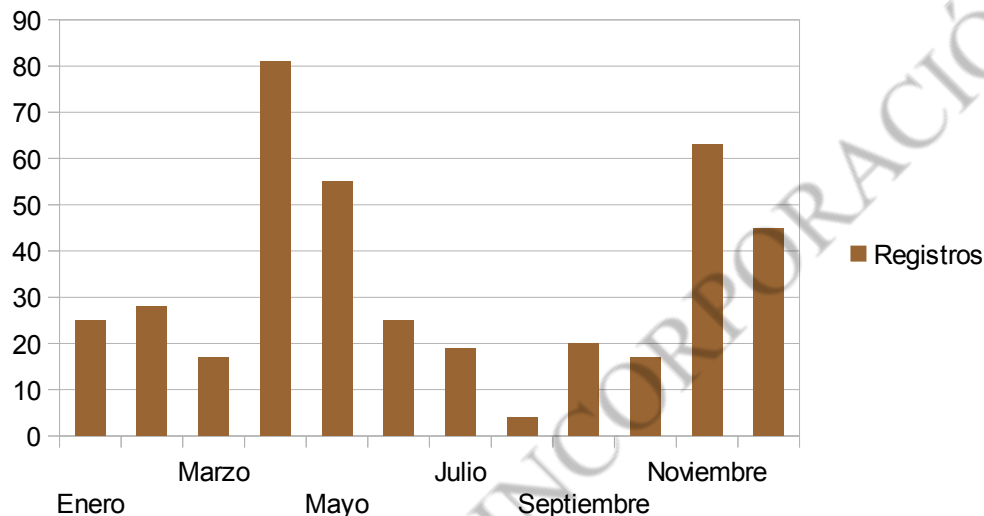


Fuente: elaboración propia. Catálogo histórico de movimientos en masa 1938-2012



La ciudad presenta un régimen bimodal del lluvias con picos en abril-mayo y noviembre-diciembre. El análisis de frecuencia multi-mensual de los registros de movimientos en masa, muestra los mayores picos en estos cuatro meses, con la mayor cantidad de reportes en el mes de abril.

**Histograma mensual-multianual de número de registros por movimiento en masa en el municipio de Cali, 1934-20**



Fuente: elaboración propia. Catálogo histórico de movimientos en masa 1938-2012

**4.2.3 Localización y coherencia con cartografía preliminar de riesgos del POT en revisión y ajuste.**

Mientras no se disponga de mejores criterios para localizar adecuadamente el sitio de un deslizamiento, porque solo se referencia a un corregimiento, barrio o vereda, los datos se georeferenciarán a la cabecera corregimental, centro poblado o centroide de barrio.

En términos generales predominan los reportes en los siguientes lugares:

- Siloé y barrios aledaños como San Francisco y el sector Tierra Blanca
- La Buitrera
- Terrón Colorado, vía al mar y Aguacatal
- Los Chorros
- Montebello – Golondrinas y Altos de Menga
- Sitios de minería de carbón en La Buitrera, Los Chorros y Siloé.

Una primera revisión de los datos disponibles muestra un grado de coherencia aceptable con la cartografía de categorías de amenaza y riesgo preliminares preparados por el DAPM para la revisión y ajuste, en curso, del POT con la CVC. Sin embargo, como es entendible debido a las escalas de trabajo

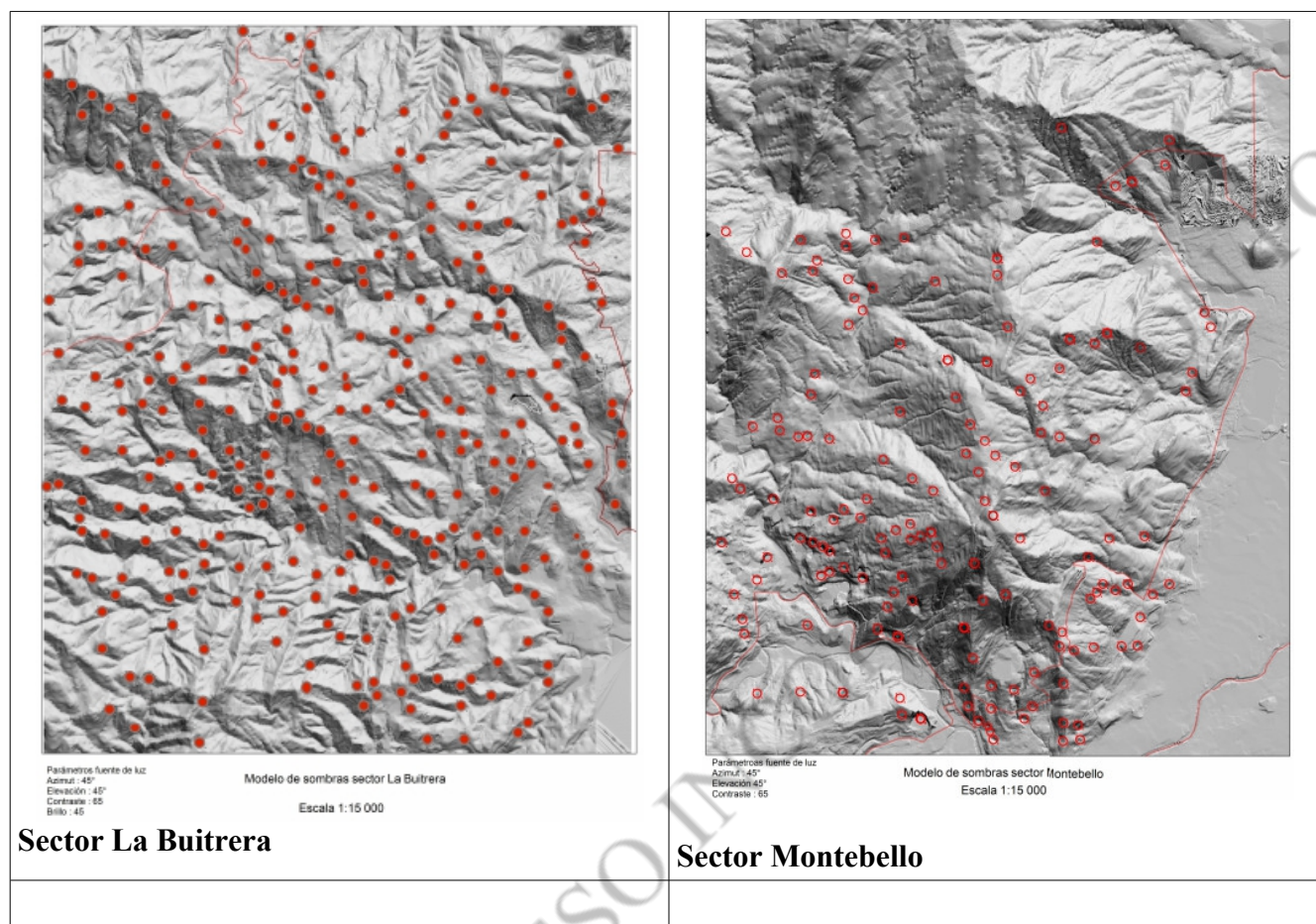
y recursos con los que hasta ahora ha contado el Municipio para la cartografía y zonificación de amenazas y riesgos, pero también porque zonas de baja o media amenaza no excluyen que ellos ocurran, se cuenta con reportes de movimientos en masa en las categorías baja y media de la zonificación realizada, que en gran parte se explican por los procesos causales antrópicos expuestos en nuestras hipótesis 2 y 3 (urbanización inadecuada e infraestructura lineal, como vías y conducciones de acueducto y alcantarillado deficientes o antitécnicas).

#### **4.4 Identificación de huellas de movimientos de masa en dos zonas piloto.**

Teniendo en cuenta criterios como las formaciones geológicas diferentes, zonas climáticas diferentes (Al Norte y Sur de Cristo Rey), densidad de uso, vías, procesos de subsidencia, accesibilidad y seguridad, disponibilidad de institucionalidad y comunidad (p. ej. Juntas de acueducto), la evaluación preliminar de movimientos en masa históricos y la identificación de los diferentes puntos donde los estudios dan categorías diferentes (alto versus medio) se identificaron dos áreas pilotos tanto para evaluar los procesos causales de la ocurrencia de movimientos en Masa como el modelo de amenaza, producto de la última actualización de DAPM. Estos áreas piloto son La Buitrera y Montebello.

Para estas áreas se generó un modelo de elevación digital a partir de las curvas de nivel cada 10 metros suministradas por el municipio, en el cual se identificaron huellas de movimientos de masa, las cuales complementarían el inventario preliminar de movimientos de masa descrito en el ítem anterior.

De los modelo de sombras se observan rocas del Terciario y diabasas con límites poco conocidos, aunque el modelo de sombras permitirá, a futuro, una mejor cartografía geológica con base en patrones de meteorización y alineamientos del sedimentario; mega deslizamientos con huellas de varias reactivaciones, esto es, depósitos de vertiente removilizados y activos y se infieren banqueos para urbanizaciones.



#### 4.4 Procesos causales

En la propuesta de esta Fase I se incorporaron tres hipótesis acerca de los procesos causales que están incrementando la amenaza y, consecuentemente el riesgo por movimientos en masa (MM) en las áreas urbana y rural de Cali, en la Cordillera Occidental. El DAPM suministró un conjunto de estudios previos sobre zonificación de la amenaza, observaciones y visitas de campo y recomendaciones y medidas estructurales (de ingeniería), y no estructurales (de planificación), que fueron revisados y complementados con reconocimientos de campo y, base de datos de MM en Cali y análisis experto de huellas de MM de partir de modelos de elevación digital del terreno (DEM), tanto suministrados por el IDES del DAPM, como por elaboración propia a partir de cartografía de curvas de nivel también suministrada por el DAPM – IDES.

Como complemento al Informe de Avance de esta Fase I, a continuación se relaciona la revisión bibliográfica en función de las hipótesis.

##### Hipotesis 1

**Los movimientos en masa son procesos naturales. Los factores de estos procesos son las formaciones geológicas superficiales, las pendientes del terreno, cobertura vegetal, socavación, lluvias (precipitaciones, escorrentía, infiltración, humedad del terreno) y sismos.**

La existencia de pendientes abruptas, erosión, lluvias prolongadas, fallas geológicas, la infiltración de agua y la acción de la gravedad, son factores generadores de movimientos en masa. Según el mapa de zonificación del corregimiento de Montebello, las altas pendientes del terreno (mayores al 25%), la existencia de materiales poco consolidados como perfil de meteorización de rocas volcánicas, depósitos coluviales y rellenos antrópicos, contribuyen a incrementar los procesos erosivos causantes de deslizamientos en esta zona. (DAPM, 1997).

La erosión por escorrentía es otra causa predominante, la cual se presenta de diferentes formas dependiendo de la pendiente del terreno, la cantidad y concentración de agua, la clase de suelo y la cobertura vegetal. Se puede presentar la erosión laminar que se genera por el arrastre mas superficial de la capa del suelo por agua de escorrentía o la erosión en cárcavas, que ocurre por la generación avanzada, a partir de surcos cuando la irregularidades del terreno permiten la unión y/o progresión de varios surcos formando zanjas cuya profundidad puede alcanzar varios metros y de longitudes que pueden superara los 30 m, esto independientemente de la falta de obras de control para las aguas de escorrentía que se traducen de manera natural en MM; en sectores como La Paz – veredas el Placer y El Futura, hacia 1978 se generó un proceso de erosión superficial, que para 1998 aumentó el 25 % de los deslizamientos y la erosión por escorrentía, (SAYA Ltda, 1998, Tomo II).

De manera esencial los procesos naturales (susceptibilidad intrínseca de una ladera a generar MM), no son fáciles de evaluar de manera independiente a los cambios en los usos del suelo, que aumentan el nivel de escorrentía e infiltración y facilitan los procesos erosivos, como en la zonas rurales donde se ha presentado tala de boques, lo que ha dejado sin protección el suelo residual, como se señala en el estudio realizado por SAYA Ltda .

De manera esencial los procesos naturales (susceptibilidad intrínseca de una ladera a generar MM), no son faciles de evaluar de manera independiente a los cambios en los usos del suelo, que aumentan el nivel de escorrentía e infiltración y facilitan los procesos erosivos, como en la zonas rurales donde se ha presentado tala de boques, lo que ha dejado sin protección el suelo residual, como se señala en el estudio realizado por SAYA Ltda .

El grado de fracturamiento asociado a las formaciones geológicas y fallas geológicas, que permanecen en los suelos residuales, también contribuyen de manera natural a la generación de MM, porque dicho fracturamiento actúa como superficies a través de las cuales la humedad hace que se disminuya la capacidad o resistencia al corte de los materiales. Estadísticamente, como ya se dijo en el Informe de Avance, los periodos de mayores precipitaciones asociados tanto a los dos trimestres más lluviosos (SAYA Ltda 1998, Tomo I) como a mayores precipitaciones durante fenómenos La Niña, incrementan los MM en Cali.

La evaluación de las áreas piloto La Buitrea y Montebello a partir de conteo de huellas de MM permite concluir que en ambas, La Buitrera más húmeda y Montebello más seca, los MM han ocurrido en lapsos geológicos e históricos en zonas que incluso no han tenido intervención humana o que ésta es poco importante. El análisis del DEM aportado por el IDESC permite identificar MM en zonas con casi nula intervención humana en el área del Parque Nacional Natural Farallones de Cali, al occidente de la zonificación de amenazas por MM que el Municipio ha presentado a la CVC para la revisión y ajuste

del POT.

#### Hipotesis 2

**Los movimientos en masa son acentuados y/o generados por procesos de ocupación del territorio. Por el emplazamiento de viviendas y otras edificaciones (la “urbanización de la ruralidad”- y su expansión y densificación en el tiempo), cortes de laderas, vertimientos de aguas servidas y fugas en acueductos, etc.**

El proceso de ocupación del territorio de forma no planificada, o sin considerar adecuadamente el “ambiente”, entendido como las condiciones naturales propiciadoras de los MM ya dichos en la Hipótesis 1, es una de las causas principales de deslizamientos, de su incremento; en los últimos años se ha presentado un acelerado incremento de construcciones en el área rural de laderas y en áreas rurales; la construcción de viviendas se da en sitios de drenaje natural, incluso sobre ríos, quebradas y torrenteras, que afectan el libre curso de las aguas en sus cauces permanentes y en zonas de drenaje de la escorrentía, como ha sido documentado en el corregimiento de Montebello (DAPM, 1997).

La intervención humana se ha convertido en un generador de amenazas, debido a que se hacen obras sin el debido control, como por ejemplo la excavación de taludes y terraplenes para la construcción de viviendas sin tener en cuenta los horizontes de meteorización o las estructuras de la roca, lo que aumenta los problemas de erosión e inestabilidad del terreno, sumado a la ocupación desordenada del terreno, con poca o nula planificación del entorno, relacionado a la disposición de redes de servicios, diseño de vías, sumado a la construcción de viviendas sin contar con las prácticas ingenieriles normales (DAPM, 1997). En el estudio realizado por SAYA Ltda (1998, Tomo I), se constata que en algunas áreas de la ladera se han generado hundimientos, como consecuencia del reacomodamiento de un macizo rocoso que ha sido explotado mediante técnicas de minería subterránea, y que el aumento de los deslizamientos se debe al manejo inadecuado de cultivos, tala de bosques y fugas de aguas que (acueductos y alcantarillados, o la ausencia de los últimos). En el Tomo II del mismo estudio se mencionan algunos lugares donde se evidencian los procesos relacionados con el impacto de la minería en ciertas zonas, como por ejemplo en La Castilla - Loma Gorda en donde hacia el año 1993 aumentó el impacto por minería de carbón.

Estos procesos de ocupación del territorio y de intervención humana como procesos causales también están relacionados con los malos manejos de basuras, las cuales son arrojadas a los caminos, hondonadas, quebradas y ríos, que generan obstrucción y taponamientos; en otros casos las viviendas presentan falta de cimentación y confinamiento de muros, o no tienen un buen diseño en su estructura lo que las hace mucho más vulnerables. En otros casos, se han hecho modificaciones a la topografía original ocasionando infiltraciones e inestabilidad del terreno. Además, como se dijo en el Informe de Avance, la disposición de residuos de canteras y de minería de carbón en las laderas, sin adecuados métodos de contención de los mismos o de su compactación – afirmado y barreras implica que durante lluvias torrenciales (en días con precipitaciones mayores de 60 u 80 mm en las 24 horas), estos depósitos de origen antropogénico sean arrastrados masivamente ladera abajo con daños en viviendas, vías y en el sistema de drenaje pluvial y sanitario de la ciudad.

### Hipotesis 3

**Los movimientos en masa son acentuados y/o generados por infraestructura lineal. Vías y sus descoles, cortes (“taludes”), canales y tuberías de acueducto y alcantarillado y/o por la ausencia de alcantarillado.**

La construcción inapropiada de vías es uno de los factores que están incrementando los MM; la adecuación de vías rurales, su pavimentación y obras complementarias hacen que la escorrentía se concentre; lo más crítico parece ser que las canaletas de recolección del agua y la entrega de la misma ladera abajo de las vías se hace “al borde de vía”, es decir, la entrega no se conduce mediante tuberías u obras de disminución de la velocidad y capacidad de erosión hasta el cauce permnente o intermitente ladra abajo de dichas vías. Esto es más agudo en la contrucción de vías de penetración, públicas y privadas, con la ejecución de cortes sin los diseños ingenieriles apropiados.

Salvo excepciones, no se dispone de sistemas integrados de manejo de las aguas de consumo y los vertimientos de las aguas servidas. La población y los sistemas rurales de suministro de agua se preocupan más por el acueducto, obviamente esencial para la vida, y menos por el vertimiento. Debería proponerse, como política municipal acorde con legislación nacional y con la lógica de los sistemas de drenaje sostenibles (SDS), que el tema sea trabajado de manera integral. La inexistencia o déficit en las redes de alcantarillado en la mayoría de los casos están sustentadas en los estudios revisados, por ejemplo en la Memoria explicativa del mapa de zonificación del riesgo en el corregimiento de Montebello (DAPM, 1997).

La erosión laminar se concentra en las áreas de pastos y cultivos limpios, donde el suelo está mas desprotegido y en los caminos que atraviesan las laderas de los corregimientos, los cuales no cuentan con obra para el control de aguas de escorrentías. Esto se observa en La Leonera – El Porvernir. (López, & Compañía Ltda, 1997). La construcción de vías de acceso genera infiltración y debilidad en los taludes, Esta zona de estudio presenta un incremento en los proceso erosivos que se debe principalmente a la intervención del hombre con la construcción de caminos y carreteables, la elección inapropiada de terrenos para vivienda y para la adecuación de sitios deportivos (SAYA Ltda, 1998, Tomo I).

## **5. MARCO NORMATIVO**

En este capítulo se hace una revisión del marco normativo nacional en el tema de ordenamiento del territorio y gestión de riesgos por movimientos en masa (sección 4.1). Se revisa además del caso de Cali (sección 4.2), el marco normativo de 4 ciudades colombianas en relación al tratamiento de la zonificación de las amenazas y el riesgo por movimientos en masa en los planes de ordenamiento territorial (sección 4.3). Al final se presenta una revisión de normas internacionales de 3 países.

Lo presentado en este capítulo corresponde a la actividad 1.2 “Revisión de literatura” del componente de procesos de causales.

### **5.1 Nacional**

A nivel nacional, la obligatoriedad de considerar las amenazas y los riesgos por fenómenos de origen natural y socio-natural como determinantes de las actuaciones públicas, privadas y comunitarias relacionadas con la planificación del desarrollo, el ordenamiento, la ocupación y el uso del territorio, y la construcción de edificaciones e infraestructuras, está establecida por la Ley 388 de 1997, el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 y la Ley 1523 de 2012.

#### **Ley 388 de 1997. Ley de ordenamiento territorial.**

“Por la cual se modifica la Ley 9 de 1989, y la Ley 2 de 1991 y se dictan otras disposiciones”

##### **Artículo 1º.- Objetivos**

Uno de los objetivos de la ley es: “El establecimiento de los mecanismos que permitan al municipio, en ejercicio de su autonomía, promover el ordenamiento de su territorio, el uso equitativo y racional del suelo, la preservación y defensa del patrimonio ecológico y cultural localizado en su ámbito territorial y la prevención de desastres en asentamientos de alto riesgo, así como la ejecución de acciones urbanísticas eficientes”

##### **Artículo 3º.- Función pública del urbanismo.**

Este artículo establece que “Mejorar la seguridad de los asentamientos humanos ante los riesgos naturales” está dentro de los fines de ordenamiento del territorio, el cual definido como una función pública.

##### **Artículo 8. Acción urbanística.**

Una de las acciones urbanísticas del ordenamiento territorial establecidas por este artículo es la de “Determinar las zonas no urbanizables que presenten riesgos para la localización de asentamientos humanos, por amenazas naturales, o que de otra forma presenten condiciones insalubres para la vivienda.”

##### **Artículo 10. Determinantes del ordenamiento territorial.**

Establece que entre los determinantes del ordenamiento territorial está “la prevención de amenazas y riesgos naturales”, entre otros como la conservación y protección del medio ambiente y de los recursos naturales.

Los artículos 13 y 14 establecen la incorporación de las zonas de amenaza y riesgos en los componentes urbano y rural, respectivamente.

**Artículo 35°.- Suelo de protección.**

Para la definición de este tipo de suelos, el artículo establece, entre otros criterios, que está constituidos por “áreas de amenazas y riesgo no mitigable para la localización de asentamientos humanos” en los cuales está restringida la posibilidad de urbanizarse.

Entre las normas reglamentarias y complementarias de la Ley 388 de 1997 que tienen relación con el tema de las amenazas y los riesgos en general, y con la amenaza y el riesgo por movimientos en masa en particular, se destacan las siguientes:

**Decreto 3600 de 2007. Define asuntos rurales**

“por el cual se reglamentan las disposiciones de las Leyes 99 de 1993 y 388 de 1997 relativas a las determinantes de ordenamiento del suelo rural y al desarrollo de actuaciones urbanísticas de parcelación y edificación en este tipo de suelo y se adoptan otras disposiciones.”

**Artículo 4°. Categorías de protección en suelo rural.**

Establece que dentro del suelo rural se incluyen las “las zonas que presentan alto riesgo para la localización de asentamientos humanos por amenazas o riesgos naturales o por condiciones de insalubridad.

**Artículo 20. Documentos adicionales para la licencia de parcelación**

Este artículo fue derogado por el artículo 138 del Decreto Nacional 1469 de 2010. Establecía que para las licencias de parcelación, además de los requisitos previstos en el artículo 18 "4. Cuando el predio esté ubicado en zonas de amenaza y/o riesgo alto y medio de origen geotécnico o hidrológico, se deberán adjuntar a las solicitudes de licencias de nuevas parcelaciones los estudios detallados de amenaza y riesgo por fenómenos de remoción en masa e inundaciones, que permitan determinar la viabilidad del futuro desarrollo, siempre y cuando se garantice la instigación de la amenaza y/o riesgo. En estos estudios deberá incluirse el diseño de las medidas de instigación.

**Decreto 1469 de 2010.**

Este decreto reglamenta las disposiciones relativas al otorgamiento de licencias urbanísticas. Reemplazó los Decretos 1052 de 1998, 1600 de 2005, 097 de 2006, 564 de 2006, 439 de 2006, 4462 de 2006, 99 de 2007, 3600 de 2007, 1100 de 2008, 1272 de 2009 y 2810 de 2009. Además de las licencias urbanísticas trata otros aspectos como reconocimiento de edificaciones, la función pública que desempeñan los curadores urbanos, la legalización de asentamientos humanos constituidos por viviendas de interés social.



### Decreto 1469 de 2010 y movimientos en masa

Artículo	Tema
<b>Artículo 22.</b> <i>Documentos adicionales para la licencia de urbanización</i>	Cuando el predio está ubicado en zonas de amenaza y/o riesgo alto y medio de origen hidrológico y geotécnico, se deberán presentar junto con las solicitudes de licencias de nuevas parcelaciones, los estudios detallados de amenaza y riesgo por fenómenos de remoción en masa e inundaciones, que permitan determinar la viabilidad del futuro desarrollo. Siempre y cuando se garantice la mitigación de la amenaza y/o riesgo.
<b>Artículo 23.</b> <i>Documentos adicionales para la licencia de parcelación</i>	
<b>Artículo 57.</b> <i>Determinación de las áreas de cesión.</i>	Establece, entre otros criterios, que las áreas de cesión no pueden localizarse en predios inundables ni en zonas de alto riesgo.
<b>Artículo 65.</b> Reconocimiento de edificaciones.	No se reconocerán edificaciones que se encuentren en zonas declaradas como de alto riesgo no mitigable identificadas en el POT o los instrumentos que lo desarrollen y complementen.

Fuente: Decreto 1469 de 2010.

### **Decreto – Ley 019 de 2012 - Artículo 189**

“Por el cual se dictan normas para suprimir o reformar regulaciones, procedimientos y trámites innecesarios existentes en la Administración Pública”

El artículo 189 de esta ley establece que, la revisión o expedición de un nuevo POT sólo se podrá hacer cuando el municipio garantice la delimitación y zonificación de las áreas de amenaza y de las condiciones de riesgo, las cuales deberán estar previstas en el componente general del POT y desarrolladas en sus componentes urbano y rural, con la cartografía correspondiente. El párrafo del mismo artículo precisa que, lo anterior no aplica en la revisión de los POT que se relacionen con la adopción de un macroproyecto de interés social o de un proyecto integral de desarrollo.

### **Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10**

Este reglamento fue adoptado en el marco de la Ley 400 de 1997, mediante el Decreto 926 de 2010, modificado por el Decreto 092 de 2011. Lo referente a la estabilidad de laderas y taludes, aparece en el Título H, en el cual se establecen los criterios básicos para realizar los estudios geotécnicos de edificaciones con el fin de proveer las recomendaciones geotécnicas de diseño y construcción de excavaciones, rellenos, cimentaciones, así como para definir los espectros de diseño sismo-resistente.

En la siguiente tabla se presenta las secciones del título H relacionadas con la construcción en zonas de ladera.

## **Título H y estabilidad de laderas**

<b>Sección</b>	<b>Tema</b>
<b>H.2.4</b> <i>Factores de seguridad</i>	Define y establece los factores de seguridad mínimos para la estabilidad de laderas y excavaciones.
<b>H.5.1</b> <i>Excavaciones</i>	Se establecen los estados límites que se deben considerar en el diseño de las excavaciones, así como los métodos de análisis de estabilidad de taludes de excavación para edificaciones.
<b>H.5.2</b> <i>Estabilidad de taludes en laderas naturales o intervenidas</i>	<p>Para edificaciones que se ubican en zonas de ladera, establece que debe realizarse el análisis de estabilidad de los taludes así como diseños de obras para lograr un nivel de estabilidad aceptable. Establece además, que debe realizarse un inventario de los procesos que reflejen inestabilidad del terreno.</p> <p>Se precisan los tipos de estudios de estabilidad a realizar, los cuales deben incluir parámetros para las secciones de análisis, la evaluación de la presión de poros, análisis de estabilidad y diseño de taludes para la aceleración sísmica máxima esperable.</p>

Fuente: NSR-10

### **Ley 1523 de 2012**

“Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones”.

El artículo 14, que trata del rol de los alcaldes en el sistema nacional de gestión del riesgo, establece que ellos junto con la administración municipal, deberán integrar acciones estratégicas y prioritarias en materia de gestión del riesgo de desastres en el POT, en el plan desarrollo municipal y demás instrumentos de gestión pública,

El artículo 40 trata de la incorporación de la gestión del riesgo en la planificación. Y establece que los municipios deberán, en un plazo no mayor a un año (contado a partir de la sanción de la ley), incorporar en sus respectivos planes de desarrollo y de ordenamiento territorial, las consideraciones sobre desarrollo seguro y sostenible derivadas de la gestión del riesgo y, por consiguiente, los programas y proyectos prioritarios para estos fines, de conformidad con los principios de dicha ley. Específicamente menciona que los municipios deben realizar la delimitación y tratamiento de las zonas expuestas a amenaza derivada de fenómenos naturales, socio naturales o antropogénicos no intencionales. Sobre los asentamientos en riesgo, establece que el municipio debe realizar el inventario y proponer los mecanismos de re-ubicación.

### **5.2 De las normas aplicables en Cali**

El plan de ordenamiento territorial del año 2000 aún se encuentra vigente. Su proceso de revisión y ajuste (RA-POT) inició a mediados de la alcaldía de Jorge Ivan Ospina (2008-2011). A diciembre de 2013 se encuentra en proceso de concertación ambiental con la CVC. No es objetivo de esta sección

profundizar en el POT del año 2000, solo se presenta una breve referencia a las normas vigentes. Y se hace una síntesis del manejo del tema de la amenaza y riesgo por movimientos en masa en el RAPOT 2013.

### **Normas vigentes relativas al POT 2000, Cali**

<b>Artículo , decreto circular</b>	<b>Tema</b>
<b>Artículo 329</b> Requisitos para Urbanizar.	Se describen las características que deben cumplir los terrenos para su desarrollo urbanístico. En el párrafo 1, se describen los tipos de estudios que deben realizarse para evaluar la firmeza y estabilidad de los terrenos ubicados en zonas de ladera.
Circular contenida en el oficio del DAPM 009966 del 21 de agosto de 2009	En virtud del decreto Decreto Nacional 564 de 2006 y del artículo 329 de POT 2000, artículo 83 (funciones de la subdirección de ordenamiento territorial) la Circular para los terrenos que se encuentran en zonas de ladera los requisitos que con respecto a la estabilidad y firmeza de los terrenos deben cumplir los proyectos de parcelación, urbanización y/o de construcción, así: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Condiciones de estabilidad en suelos de ladera.</li> <li>– Sobre las condiciones originales del lote:</li> <li>– Sobre las condiciones finales proyectadas del lote:</li> </ul>
Fichas normativas suelo urbano	El suelo urbano de la ciudad está dividada en 7 piezas, las cuales está divididas en polígonos normativas. Las fichas de estos polígonos delimitan y establecen los usos y restricciones.
Fichas normativas suelo rural	El suelo rural está dividido en 15 áreas de manejo diferentes. Entre las cuales están por ejemplo el área del PNN Farallones, tres áreas suburbanas (corredor Cali Jamundí, Montebello y Parcelaciones Pance), zonas de transición o el área de reserva Forestal. Las fichas de estos polígonos delimitan y establecen los usos y restricciones.

### **Revisión y ajuste del POT 2013.**

En el siguiente cuadro, tomado del Documento Técnico de Soporte de la Revisión y Ajuste del POT 2013, se presenta una comparación de la incorporación del tema de amenazas y riesgos en el año 2000 y en el 2013.

### **Comparación del tema de gestión de riesgos en el POT 2000 y RA-POT2013**

<b>POT 2000</b>	<b>Revisión y Ajuste POT 2013</b>
La inclusión del tema de amenazas y riesgos es parcial y dispersa y, por lo tanto, no hay una visión global de su importancia, tanto en términos de política pública, como en términos de elemento estructurante y	En la concepción y en los lineamientos del modelo de ordenamiento territorial propuesto, se reconocen los fenómenos geológicos e hidrológicos y sus interrelaciones con las dinámicas sociales y económicas, como

limitante del territorio y de su uso	determinantes del uso, la ocupación y el manejo del territorio, y se formula e incorpora como una de las políticas de ese modelo de ordenamiento territorial, la “Política de gestión de los riesgos”
La visión sobre el riesgo y su reducción se limita a uno de sus componentes, la amenaza, dejando de lado, por ausencia de la información requerida, el análisis de exposición y de vulnerabilidad que efectivamente puede llevar a una visión integral del riesgo y de su importancia en el manejo ambiental y en el ordenamiento territorial.	<p>Dentro del Componente General del articulado se incorpora el conjunto de decisiones y estrategias para la gestión y se definen como suelo de protección las áreas donde las amenazas y riesgos presentes alcanzan niveles no mitigables.</p> <p>En los componentes Urbano y Rural se establecen los condicionamientos, las restricciones y las normas para el manejo y la ocupación de las zonas sujetas a amenazas y riesgos mitigables, todo ello con nexos y relaciones explícitas con los demás ámbitos que también tienen que ver con la sostenibilidad, a saber: medio ambiente, vivienda y servicios públicos.</p>

Tomado del DTS-RAPOT (2013). DAPM.

### Categoría de la zonificación de amenaza por movimientos en masa, POT (2013) Cali

Zona de amenaza	Descripción
<b>Muy alta</b>	<p>Las Zonas de Amenaza Muy Alta se caracterizan por la presencia y combinación de dos o más factores naturales y antrópicos críticos como: (1) Pendientes del terreno superiores al 70%; (2) Existencia de túneles de antiguas explotaciones subterráneas que no se cerraron mediante los procedimientos requeridos. (3) Gran actividad hídrica, es decir aguas de escorrentía y residuales que corren por las laderas sin ningún control. (4) Depósitos de ladera (coluviones) poco consolidados y saturados, depósitos de escombros (incluidas las escombreras de minas), suelos arcillosos profundos derivados de la meteorización de rocas volcánicas y sedimentarias. (5) Procesos erosivos de gran magnitud, tales como deslizamientos activos y cicatrices de movimientos ocurridos en diferentes épocas. (6) Alta densidad de viviendas que carecen de servicios de acueducto y alcantarillado, cuyo emplazamiento ha implicado la alteración de la topografía natural (banqueos).</p> <p>El fuerte deterioro de este tipo de áreas, lo crítico de los procesos presentes y la probabilidad de que se incrementen y aparezcan otros, son características que las determinan como no ocupables, lo cual impone la necesidad de relocalizar todas las viviendas en ellas asentadas. Estas zonas deberán ser reforestadas y/o estabilizadas y permanecer libres de ocupación. En algunos casos es posible destinar estos terrenos a usos de recreación pasiva.</p> <p>El ejemplo más ilustrativo de esta categoría lo representa el sector La Mina del Barrio Siloé (comuna 20) ubicado en una zona de fuertes pendientes, sobre rocas sedimentarias altamente fracturadas donde en el pasado se dió una gran actividad minera, densamente poblado, con viviendas que carecen de especificaciones y con redes de acueducto y alcantarillado hechas de manera artesanal</p>
	<p>En esta categoría aparecen las áreas donde cualquier alteración de una o varias de las características físicas, naturales y/o de ocupación se traduciría en la aparición de movimientos en masa. Puede decirse que son áreas en equilibrio crítico desde el punto de vista de estabilidad, donde los procesos erosivos aún no presentan niveles tan extremos como los de las Zonas de Amenaza Muy Alta. En estas zonas la posibilidad de intervenir los factores de peligro es bastante restringida. Las áreas mas características de esta categoría son aquellas donde aparecen Coluviones de espesores superiores a un (1) metro provenientes de la erosión de rocas volcánicas.</p>

<b>Zona de amenaza</b>	<b>Descripción</b>
<b>Alta</b>	<p>Los estudios adelantados concluyen que los terrenos libres incluidos en esta categoría deberán conservarse en ese estado y que aquellos ocupados con viviendas requieren del cumplimiento estricto de dos acciones fundamentales: construir sistemas para el manejo de aguas lluvias y de escorrentía e impedir el emplazamiento de edificaciones adicionales a las que existían al momento de ejecución de los estudios, lo cual implica que las construcciones registradas en los análisis no podrán ser ampliadas Ejemplos típicos de esta categoría son: las cabeceras de La Leonera y la vereda San Miguel (en El Saladito) ubicadas sobre depósitos coluviales que están moviéndose ayudados por el aumento de peso derivado de la infiltración de aguas negras.</p> <p>Los sistemas lineales de infraestructura (vías y conducciones de servicios públicos) que necesariamente deben atravesar las zonas de amenaza alta y muy alta, deben reforzarse a su paso por estos terrenos considerados como puntos críticos del trazado. Esta situación no modificará en nada las restricciones y condicionamientos de ocupación establecidos para este tipo de zonas.</p>
<b>Media</b>	<p>Este tipo de zonas presentan problemas similares a los de las dos categorías descritas antes. Se diferencian fundamentalmente en que los procesos no han generado aun un deterioro tal que impida la intervención efectiva de los factores de peligro de manera relativamente sencilla y a costos aceptables, ya sea mediante la construcción de obras civiles o la aplicación de medidas como mantener bajas densidades de ocupación, utilizar materiales livianos para la construcción de viviendas, limitar las alturas de las edificaciones, etc.</p> <p>Por lo general son áreas donde los factores de peligro son de orden humano (ausencia de sistemas para el control de aguas, por ejemplo), o zonas libres donde la evaluación indica que el uso de vivienda puede darse aplicando medidas de control que eviten el deterioro de las condiciones de estabilidad del terreno. En esta categoría se agrupan los sectores donde ya han sido ejecutadas las obras civiles y las acciones de mitigación definidas por los estudios. La zona mas notoria perteneciente a esta categoría se ubica en la comuna 20, donde Emcali ha repuesto y mejorado las redes de acueducto y alcantarillado y las Secretaría de Vivienda Social y de Mantenimiento Vial han construido obras de estabilización. Su delimitación se hace ya que el proceso de mejoramiento que han tenido requiere de un monitoreo periódico.</p>
<b>Baja</b>	<p>Las Zonas de Amenaza Baja corresponden a aquellos terrenos donde la manifestación de los factores naturales que inciden en la generación de movimientos en masa no alcanzan niveles críticos (p. e. las pendientes son de moderadas a bajas y no hay depósitos in-consolidados) y los asentamientos humanos cuentan con los sistemas adecuados para el manejo de las aguas lluvias y las aguas negras. Sobre las zonas incluidas en estas categorías se estima que la aplicación de las prácticas normales de ingeniería para la urbanización evita la modificación de las condiciones de estabilidad.</p>

Fuente: Documento técnico de soporte. RAPOT-DAPM (2013)

### **5.3 De las normas aplicables en otras ciudades de Colombia**

En esta sección se revisa para 4 ciudades de Colombia el manejo del tema de amenazas y riesgos por movimientos en masa en los planes de ordenamiento territorial. Como es una revisión de literatura que busca conocer como se está tratando el tema en otras ciudades, se hace referencia a los POT que están revisión, ajuste, concertación o para aprobación en el concejo.

#### **5.3.2 Bogotá**

El Plan de Ordenamiento Territorial revisado en el 2003 según el decreto 469 de ese años, fue modificado excepcionalmente en el año 2012. Esta modificación tuvo por objetivo, entre otros, incorporar la zonificación rural de amenazas por movimientos en masa, de acuerdo con el Decreto Nacional Nacional 3600 de 2007, con información de los POMCA de las cuencas hidrográficas. A continuación se presentan los aspectos relevantes de esta modificación en relación con amenazas y riesgos por movimientos en masa.

#### **Artículo 27. Suelos de protección.**

Este artículo define los suelos de protección como aquellos donde no se permite la urbanización. Hay varias categorías para estos suelos, entre los cuales están los de protección por riesgo. Estos tienen la condición de riesgo alto no mitigable asociado con fenómenos de remoción en masa.

## **Artículo 82. Parques especiales de protección por riesgo**

Establece que las áreas susceptibles de declarar como parques especiales de protección por riesgo, deben presentar riesgo alto de movimientos en masa o amenaza alta por inundación, o ser áreas que al haber tenido actividades extractivas y culminar el proceso de recuperación o restauración ambiental a través del PMRRA o del respectivo instrumento que avale la autoridad ambiental, no se consideran aptas para el desarrollo de usos urbano.

## **Artículo 107. Zonas o áreas de tratamiento especial para la mitigación de riesgos por fenómenos de remoción en masa.**

Corresponden a las zonas o áreas que requieren alguna intervención prioritaria a través de estudios, diseños, ejecución y mantenimiento de medidas de mitigación de riesgo ya sea estructurales y/o no estructurales, adelantadas por el Distrito Capital

**Parágrafo 1.** Las zonas o áreas a que hace referencia el presente artículo se encuentran identificadas en el Mapa No. 05 "Amenaza por Fenómeno de Remoción en Masa", que hace parte del presente Plan.

**Parágrafo 2.** Dada la condición dinámica del riesgo, el Fondo de Prevención y Atención de Emergencias será el encargado de entregar anualmente a la Secretaría Distrital de Planeación la actualización de los polígonos de las áreas de tratamiento especial por riesgo de remoción en masa para su incorporación en el Plano Normativo.

## **Artículo 112. Zonas o áreas en amenaza por fenómenos de remoción en masa**

Los principales factores del riesgo están asociados a sitios antiguos de explotación de canteras, zonas de rellenos o taludes que no fueron construidos con técnicas apropiadas y ocupación en la ronda de las quebradas.

El áreas de amenaza por remoción en masa se definieron como zonas con potencial de riesgo para los asentamientos humanos, para periodos de retornos de 10 años, bajo condiciones de precipitación y sismo esperado. Estas zonas tienen un grados incertidumbre altos asociado con la intervención antrópica como agente detonante de los movimientos en masa.

## **Artículo 113. Categorías de Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa.**

Para las zonas de ladera se cuenta con un mapa de zonificación de amenaza por remoción en masa que define tres niveles de amenaza.

### **Categoría y zonificación de la amenaza**

<b>Zona</b>	<b>Descripción</b>
Alta	Son zonas donde existe una probabilidad mayor de 44% de que se presente un fenómeno de remoción en masa en un periodo de 10 años, con factor de seguridad menor de 1,1. Puede presentarse por causas naturales o por una intervención no intencional causada por el hombre y sus actividades y con evidencia de procesos activos
Media	Zonas o áreas en Amenaza media: Son zona donde existe una probabilidad entre el 12 y 44% de que se presente un fenómeno de remoción en masa en un periodo de 10 años, con factor de seguridad mayor o igual que 1,1 y menor de 1,9. Puede presentarse por causas naturales por intervención no intencional causada por el hombre y sus actividades, sin evidencia de procesos activos.
Baja	Son zona donde existe probabilidad menor del 12% de que se presente un fenómeno de remoción en masa en un periodo de 10 años con factor de seguridad mayor o igual a 1,9. Puede presentarse por causas naturales o por intervención no intencional causada por el hombre y sus actividades

Tomado de la tabla “Descripción de los niveles de amenaza” pag. 268. DTS POT – 2012.

**Artículo 114.** Este establece los condicionamientos para el desarrollo de procesos nuevos de urbanización, parcelación y/o construcción en zonas de riesgo y amenaza alta, media y baja por fenómenos de remoción en masa. En aplicación del principio de precaución, bajo condiciones de variabilidad climática, se establecen los siguientes condicionamientos.

#### **I. Condicionamientos para adelantar procesos de urbanización, parcelación y construcción en zonas o áreas de amenaza o riesgo alto y medio.**

- Elaboración de los estudios detallados de amenaza y riesgo por fenómenos de remoción en masa.
- Verificación del cumplimiento de los requisitos mínimos establecidos para la ejecución de los estudios detallados de amenaza y riesgo por fenómenos de remoción en masa.
- Ejecución de las medidas de mitigación de riesgos
- Control Urbano de la ejecución de las medidas de mitigación de riesgos.
- Terminación de las medidas de mitigación de riesgos previo a la enajenación de inmuebles destinados a vivienda
- Pólizas de estabilidad de las obras de mitigación de riesgo

#### **II. Condicionamientos para adelantar nuevos procesos de urbanización, parcelación y construcción en zonas o áreas de amenaza baja.**

### 5.3.2 Bucaramanga

Lo presentado aquí se basa en el borrador (Versión 2.1) del Proyecto de Acuerdo del Plan de Ordenamiento Territorial (2013-2027), por presentar al Concejo Municipal. Esto quiere decir que el POT ya terminó el proceso de concertación con la autoridad ambiental correspondiente.

#### Artículo 3.

En este artículo se especifican, entre otras cosas de carácter general, las escalas de trabajo para cada uno de los temas del POT. Para el tratamiento de las amenazas y riesgos se definieron las siguientes.

- Componente urbano: 1:10.000
- Componente rural: 1:20.000

#### Artículo 55.

En la siguiente tabla se presenta la transcripción de las definiciones de las categorías de amenazas naturales relacionadas con los movimientos en masa y estabilidad de laderas, según el artículo 55 del borrador del Proyecto de Acuerdo.

**Categorías de amenazas por movimientos en masa, POT Bucaramanga**

Zona de amenaza	Descripción
<b>ZONA I</b>	<p>Zonas de ladera de pendiente bajas a medias, desde menores a 5° hasta 25°, con espesores de suelos entre 4.0 y 13.0 metros, depósitos predominantemente de tipo residual, fluvial y fluvio-torrencial, y algunos sectores de roca dura especialmente en el límite oriental del área.</p> <p>Esta zona presenta <u>baja probabilidad a la ocurrencia de procesos de inestabilidad en laderas</u> debido a las características propias de los materiales y a la morfología y condiciones ambientales actuales, especialmente en aquellos con una menor intervención antrópica.</p> <p>Se recomienda que en estas zonas se haga un manejo y uso adecuado del suelo que evite la erosión y mantenga la condición de estabilidad actual.</p>
<b>Zona II</b>	<p>Zona de ladera de pendiente media a alta entre 25° y 35 grados aproximadamente, afectando suelos de tipo aluvial, residual, coluvial antiguo y algunos fluvio-torrenciales, entre 2.0 y 4.0 metros de espesor aproximadamente y rocas intermedias con algún grado de meteorización.</p> <p>Esta zona presenta <u>probabilidad media</u> a los movimientos en masa de menor magnitud de tipo caída, falla en cuña y falla planar en macizos rocosos y deslizamientos traslacionales en depósitos de suelo y se asocia a algunos procesos erosivos y de flujos en las zonas de escarpes de terrazas medias, por lo cual se esperarían daños localizados comprometiendo algunas zonas habitadas de la zona urbana.</p> <p>En zonas no habitadas se recomienda la ejecución de estudios detallados de estabilidad en caso que se quiera realizar desarrollos urbanísticos u obras de infraestructura. En zonas habitadas se recomienda la implementación de obras y medidas de mitigación y control definidas a partir de estudios de estabilidad detallados.</p>
<b>Zona III</b>	<p>Corresponde a las laderas de pendiente alta, superior a 35° grados, con espesores de suelos entre unos pocos centímetros hasta 2 metros; asociados a suelos residuales, coluviales recientes, rocas intermedias y algunas blandas.</p> <p>Esta zona presenta <u>alta probabilidad a los movimientos en masa de magnitud importante</u> tipo deslizamiento traslacional en suelos y caídas, falla en cuña y fallas planares en rocas, que implicarían en términos generales daños severos en las</p>



Zona de amenaza	Descripción
	<p>zonas involucradas, relacionados con destrucción de total o parcial de viviendas, caminos, carreteables, vías principales, redes de alcantarillado y acueducto, sistemas de drenajes, canales y alcantarillas y en general afectación de la infraestructura asociada. En la actualidad estas zonas se encuentran afectadas por flujos superficiales y evidencias de agrietamientos que pueden ser asociados a movimientos en masa y en general presentan una alta intervención antrópica.</p> <p>En zonas habitadas se recomienda su intervención mediante obras de control y mitigación definidas a partir de estudios detallados de estabilidad, con el fin de minimizar los daños asociados a la ocurrencia de eventos. Para las zonas afectadas por procesos erosivos se recomienda ejecutar procesos de recuperación de suelos. En zonas no habitadas se debe exigir la ejecución de estudios de estabilidad y definición de obras de mitigación para autorizar nuevos desarrollos urbanísticos y de infraestructura.</p>
<b>Zona III</b>	<p>Incluye laderas de pendiente muy alta, superior a 40° principalmente, con espesores de suelos entre unos pocos centímetros hasta 1,0 a 2,0 metros; asociados a suelos residuales, suelos coluviales recientes, rocas intermedias y blandas.</p> <p>Esta zona presenta <u>muy alta probabilidad a los movimientos en masa de gran magnitud</u> del tipo deslizamiento traslacional en suelos y caídas, fallas en cuña y fallas planares en rocas. Esta zona se encuentra afectada por flujos superficiales, caídas, y desprendimientos, así como evidencias de agrietamientos que pueden ser asociados a movimientos en masa. Por la magnitud y el tipo de eventos puede presentarse pérdida de vidas humanas, destrucción parcial o total de viviendas, obstrucción o destrucción de caminos, carreteables, vías principales, sistemas de drenajes, canales y alcantarillas; pérdida drástica y rápida de la resistencia del material, hundimientos, generación de escarpes, levantamientos del terreno, cambios en el nivel freático, afloramientos y empozamientos de agua. En general presentan una alta intervención antrópica y procesos erosivos intensos. En esta zona se incluyen algunas áreas de depósitos de mayor espesor muy puntuales y asociadas a deslizamientos de tipo rotacional.</p> <p>En general, la mitigación y control de los eventos que se presentan en estas zonas mediante obras de estabilización puede resultar en costos muy altos para lo cual se requiere la evaluación de la relación costo/beneficio. Se requiere la implementación de medidas estructurales y no estructurales para evitar el incremento de los eventos activos, las cuales deben definirse mediante estudios detallados de estabilidad realizados de manera integral incluyendo áreas aledañas con diferente nivel de amenaza.</p> <p>Para las zonas afectadas por procesos erosivos se debe ejecutar medidas de recuperación de suelos de manera inmediata.</p>

Fuente: Borrador de Proyecto de Acuerdo POT 2013-2027. Cuadro #13.

### Artículo 57. Riesgo.

En este artículo se establecen las zonas de riesgo no mitigable, las cuales a su vez se declaran como suelos de protección con manejo de zonas verdes no ocupables y/o parques por desarrollarse (intervención y recuperación). En éstos quedan prohibidos los desarrollos de urbanización o de construcción. Son tres sectores del municipio: Villa Lina parte baja del Barrio el Pablón, el sector noroccidental del barrio Villa Rosa y el barrio Villa Helena I.

En el párrafo se precisa que los estudios detallados de vulnerabilidad y riesgo que adelante el municipio de Bucaramanga, se podrán incorporar a la reglamentación vigente por medio de decreto expedido por el alcalde. También se precisa que la revisión de dichos estudios por parte de la autoridad ambiental se sujeta a lo determinado en las normas vigentes en temas de gestión del riesgo.

### Artículo 20. Clases de suelo en el municipio de Bucaramanga.

La relación de las clases de suelo con las amenazas y riesgos por movimientos en masa que se presenta en el artículo 20, se resume en la siguiente tabla.

**Clases de suelo y su relación con las amenazas y los riesgos, POT Bucaramanga**

Suelo	Descripción
Urbano	En el suelo urbano se definen unos zonas que tienen restricciones a la ocupación por amenazas y riesgos. Estas zonas se definen en el Acuerdo del POT o por estudios posteriores.
Rural	Este tipo de suelo tiene varias categorías. Una de ellas es la de protección, que entre otras incluye las áreas de amenaza y riesgo.
Protección	Este tipo de suelo aplica tanto para la zona rural como para la urbana. Son suelos que tienen restringida la posibilidad de urbanizarse y, por lo tanto no podrán contar con disponibilidad de servicios públicos domiciliarios. Dentro de las características para definir un suelo de protección esta el hecho de corresponder a áreas de amenaza y riesgo no mitigables para la localización de asentamientos humanos

Fuente: Borrador de Proyecto de Acuerdo POT 2013-2027.

**Artículo 54. Priorización de acciones para la gestión del riesgo.**

Evaluación de amenazas, vulnerabilidad y riesgo, a través de estudios que permitan identificar e implementar acciones para determinar las zonas de riesgo en los asentamientos humanos y sus respectivas acciones. Se priorizan las siguientes zonas

**Artículo 233. Zonificación de restricciones a la ocupación.**

Este artículo pertenece al Capítulo “Restricciones a la ocupación por amenazas y riesgos”. Define y clasifica las áreas urbanas que tienen limitantes para la localización de edificaciones y/o de asentamientos humanos por condiciones de amenaza y riesgo. El artículo incluye las consideraciones que deben tenerse sobre desarrollo sostenible y seguridad derivadas de la gestión del riesgo.

Se definen 13 zonas con restricciones a la ocupación, entre las cuales están las Áreas de Drenaje, los zonas de scarpe (occidental y otros), las zonas de amortiguación de los escarpes y zonas de “llenos”.

Cada una de estas zonas tiene una ficha técnica en la cual se establecen las restricciones y condiciones para las actuaciones urbanísticas y se definen los estudios técnicos que se deben desarrollarse. Estos estudios son los que deben anexarse a las solicitudes de licencia, según lo establece el numeral 4 del artículo 22 del Decreto Nacional 1469 de 2010 o la norma que lo modifique, adicione o sustituya.

El artículo establece que, una copia de los estudios debe ser enviada a la Secretaría de Planeación por el Curador Urbano, junto con las licencias urbanísticas que expide.

Las fichas técnicas de estas zonas con restricciones hacen parte integral de POT

En el párrafo 1 se precisa que el desarrollo de los predios debe cumplir con las condiciones de

manejo definidas en la ficha técnica respectiva. En el caso de predios que estén cubiertas por mas de una zona con restricciones debe cumplir con las de mayor restricción (estudios de prevención y mitigación, alturas de las edificaciones).

#### **Artículo 417°. Amenaza naturales por movimientos en masa.**

Las categorías de amenaza por movimientos en masa en la zona rural son diferentes a las de zona urbana. En el siguiente cuadro se presenta las categorías y descripciones de la zonificación de la zona rural.

#### **Zonificación de la amenaza por movimientos en masa zona rural, Bucaramanga**

<b>Categoría de amenaza</b>	<b>Descripción</b>
Alta	Está asociada a rocas ígneas y metamórficas meteorizadas y fracturadas en altas pendientes con procesos de erosión, asociados a cambios de uso por tala y avance de cultivos y de la frontera pecuaria extensiva
Media	Las zonas con esta calificación presentan altas pendientes sobre rocas de composición cuarzo monzonítica y esquistosa meteorizadas y /o en áreas con pendientes moderadas sobre rocas sedimentarias muy susceptibles a los deslizamientos, donde además la disposición estructural de los estratos es desfavorable por el uso predominante de ganadería extensiva y/o cultivos misceláneos.
Baja	Están asociadas a rocas metamórficas en áreas de pendiente moderada a alta pero con excelentes coberturas vegetales, se presentan problemas de inestabilidad asociados con los cambios de uso y cobertura del suelo de bosques a potreros para ganadería extensiva.

Fuente: Borrador de Proyecto de Acuerdo POT 2013-2027.

#### **5.3.3 Manizales**

El POT de Manizales fue revisado en el 2007 y fue adoptado por el Acuerdo Número 663 de septiembre 13 de 2007. Actualmente se encuentra en la fase de formulación para su ajuste, para cumplir, entre otros lo estipulado en la Ley 1523 de 2012. Aún no se conoce de manera pública ni la propuesta de DTS ni el borrador del articulado. A continuación se presenta lo que puede conocerse de la formulación del POT en el tema de riesgos por movimientos en masa, a partir de una presentación de la Alcaldía de Manizales (22 de mayo del 2013).

Con este ajuste se busca consolidar e incluir, como aspectos de vital importancia para el desarrollo de la ciudad, la gestión integral del riesgo junto la del recurso hídrico, de la calidad del aire y de los residuos sólidos.

En el tema de gestión de riesgos se están desarrollando los siguientes estudios:

- Estudio de Amenazas, Vulnerabilidad y Riesgo para los Centros Poblados y Cabeceras Municipales / Convenio Corpocaldas – Universidad Nacional.
- Proyecto de Gestión del Riesgo (amenazas, vulnerabilidad y riesgo) del municipio de

Manizales. Área urbana. Convenio Corpocaldas – Universidad Nacional.

- Inventario actualizado de las amenazas y Zonas de alto Riesgo por deslizamiento e inundación (Zona Urbana).

Dada la tradición de la ciudad de Manizales en el tema de estabilidad de taludes para el emplazamiento de obras de infraestructura y tratamiento de laderas ocupadas, estamos haciendo las gestiones para conseguir los documentos que soportan el POT en el tema de movimientos en masa.

#### **5.3.4 Medellín**

El acuerdo 46 de 2006 corresponde a la revisión y ajuste del POT para el municipio de Medellín, el cual se encuentra vigente. La ciudad inició el proceso de ajuste del POT del año 2006, con el objetivo de cumplir lo dispuesto en la Ley de Gestión de Riesgos 1523 de 2012.

#### **Normatividad municipal vigente, Medellín**

<b>Acuerdo / Decreto</b>	<b>Descripción</b>
<b>Acuerdo 46 de 2006</b>	Por el cual se revisa y ajusta el Plan de Ordenamiento Territorial para el Municipio de Medellín y se dictan otras disposiciones.
<b>Decreto 409 de 2007</b>	Por el cual se expiden las normas específicas para las actuaciones y procesos de urbanización, parcelación y construcción en los suelos urbanos, de expansión y rural del Municipio de Medellín

#### **Revisión del POT del 2006.**

El Municipio ya inició los estudios de revisión del POT del 2006 con el fin, entre otros, de cumplir con la ley 1523 de 2012 y el decreto 189 del decreto ley 019 de 2012. Lo que se presenta en esta sección se extrajo una presentación del 9 de octubre de 2013 realizada por el Departamento Administrativo de Planeación DAP – Alcaldía de Medellín, titulada “Avances en la incorporación de la gestión del Riesgo en la revisión del POR – mapas de Amenaza y riesgo”.

De acuerdo con dicha presentación la zonificación de amenaza por movimientos en masa que se incluirá en la revisión del POT se basa en cuatro estudios previos. Estos son, la zonificación de amenaza por movimientos en masa que hizo el DAP en 2007 a partir de estudios geológicos, geotécnicos y de análisis de estabilidad de laderas; la depuración de la cartografía de la zonificación de la amenaza, realizada en el año 2009; el inventario de eventos por movimientos en masa realizado por el DAGRD y el DAP; y los mapas de procesos morfodinámicos incluidos en los Planes Especiales de Ordenamiento Corregimentales (PEOC).

Las categorías de la zonificación de la amenaza que se incluirán en la revisión del POT se describen continuación. Las fuentes de estas descripciones es DAP (2013).

#### **Categorías de zonificación de la amenaza, Medellín**

Zona de amenaza	Descripción
<b>Muy baja</b>	Áreas geológicamente estables, con pendientes bajas, constituidas por depósitos aluviales del río Medellín y sus quebradas tributarias principales, con probabilidad baja a nula de que se presenten movimientos en masa.
<b>Baja</b>	<p>Áreas con aceptables condiciones de estabilidad, sin evidencias físicas o históricas de procesos morfodinámicos, o si existen, su densidad es baja. La probabilidad de que se presenten movimientos en masa por causas naturales, asociadas a la acción en conjunto de la lluvia y la pendiente es baja</p> <p>Se permiten actuaciones urbanísticas permiten actuaciones urbanísticas como otorgamiento de licencias de urbanización, construcción, reconocimiento de edificaciones y aquellas que establezca la normatividad nacional. La implementación del desarrollo de cualquiera de estas actuaciones deberá cumplir con la norma urbanística del POT y toda la normativa vigente correspondiente NSR-10, Acuerdo Metropolitano 09 de 2012 y demás.</p>
<b>Media</b>	<p>Son áreas con un nivel de probabilidad medio de que se presenten movimientos en masa, debido a la acción conjunta de la lluvia, la pendiente y en alguna medida factores antrópicos. Presentan procesos morfodinámicos generalmente activos de poca densidad que pueden reactivarse si no se llevan a cabo acciones correctivas, en especial uso del suelo, o que está constituidos por terraplenes o rellenos que no poseen un adecuado manejo técnico.</p> <p>Estas áreas pueden ser objeto de actuaciones urbanísticas como otorgamiento de licencias de urbanización, construcción, reconocimiento de edificaciones y aquellas que establezca la normatividad nacional, como la aplicación de instrumentos de planificación y gestión complementarios y de otra parte prestación de servicios públicos convencionales.</p> <p>La necesidad de ejecución de obras de mitigación y control para la protección y recuperación del suelo en este tipo de zonas, estará supedita a estudios geotécnicos de suelo detallados y/o análisis técnicos de expertos.</p>
<b>Alta</b>	<p>Corresponde a áreas con inestabilidad manifiesta con alta probabilidad de presentar movimientos en masa, debido a la acción conjunta de la lluvia, la geología, la geomorfología y factores antrópicos.</p> <p>Las áreas ocupadas, urbanizadas o habitadas ubicadas en estas zonas, que tienen estudios de detalle (geotécnicos o de amenaza por movimientos en masa) y que han sido clasificadas <b>como inestables no recuperables</b>, se clasifican como <b>zonas con condiciones de riesgo</b> y tienen que ser objeto de estudios detallados de vulnerabilidad y riesgo, que permitan definir cuales áreas al interior de estas zonas, son de alto riesgo mitigable y no mitigable.</p> <p>Mientras se elaboran los estudios de detalle y se precisan que áreas deben ser objeto de reasentamiento o intervención, estas zonas podrán ser objeto de <b>obras de mitigación y prestación de servicios públicos no convencionales y no permanentes</b>, a fin de mitigar el deterioro progresivo que presentan estas áreas; este tipo de actuaciones no se pueden interpretar como procesos de consolidación, ni legalización.</p> <p>En las zonas de amenaza alta no habitadas, que se consideren como objeto de desarrollo urbano en suelo urbano, de expansión urbana, rural sub-urbano, centros poblados rurales o áreas de vivienda campestre, se requieren estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de detalle que demuestren la viabilidad de la ocupación de dicho territorio.</p>

Cuadro elaborado a partir de DAP (2013)

### Zonificación del riesgo.

La zonificación de las condiciones de riesgo que se incluirá en la revisión del POT en el 2014, tiene dos categorías: (1) zonas con condiciones de riesgo y (2) zonas de alto riesgo no mitigable. La primera corresponde a zonas donde deben hacerse estudios detallados de vulnerabilidad y riesgo para determinar si el riesgo no es mitigable y si hay necesidad de reubicar. La segunda, son las zonas donde estudios previos ya determinaron que el riesgo no es mitigable. En el cuadro siguiente se presentan las definiciones propuestas para estas dos zonas.

## Definición de las categorías de zonificación del riesgo por movimientos en masa, Cali

Zona	Descripción
<b>Con condiciones de riesgo</b>	<p>Corresponde a las áreas clasificadas como de amenaza alta que están urbanizadas, ocupadas o edificadas que tienen un potencial alto de daño o aquellas que se consideren objeto de desarrollo urbano en suelo urbano, de expansión urbana, rural sub-urbano, centros poblados rurales o áreas de vivienda campestre.</p> <p>Las zonas caracterizadas con condiciones de riesgo que poseen estudios de amenaza por movimientos en masa de detalle, y que han sido clasificadas como de alta amenaza requieren de estudios detallados de vulnerabilidad y riesgo en el corto y mediano plazo, con el fin de determinar qué áreas al interior de estas zonas son de alto riesgo mitigable o no mitigable, precisarlas medidas estructurales y no estructurales para su adecuado manejo y mitigación.</p> <p>Se considera que la factibilidad de permitir actuaciones urbanísticas como otorgamiento de licencias de urbanización, construcción, reconocimiento de edificaciones y aquellas modalidades que establezca la regulación nacional; como la aplicación de instrumentos de planificación y gestión complementarios y de otra parte la prestación de servicios públicos convencionales, estará supeditada a la ejecución de dichos estudios, que de muestren la viabilidad técnica y económica del proyecto, y la realización de las obras de mitigación requeridas, previo concepto del Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de Desastres–DAGR–D.</p>
<b>Alto riesgo no mitigable.</b>	<p>Corresponden a todas aquellas áreas o sectores que tengan las siguientes características:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Áreas urbanizadas u ocupadas donde se han presentado eventos que fueron objeto de programas de reasentamiento, y que en gran parte se encuentran nuevamente ocupadas.</li> <li>• Áreas o sectores clasificados como de alta amenaza, que tienen una probabilidad importante de presentar eventos que causen daños graves y para los cuales se tienen proyectado procesos de reasentamiento en el corto y mediano plazo.</li> <li>• Áreas o zonas habitadas o urbanizadas con niveles de amenaza alta, donde han ocurrido eventos importantes; o que presenten procesos morfodinámicos latentes o activos de gran magnitud, o terrenos ocupados con vivienda o infraestructura que estén constituidos por terraplenes no estructurales, rellenos de escombreras de considerable espesor, cuya recuperación es compleja o demasiado costosa, comparada con las inversiones y tipo de obras proyectadas. Las zonas caracterizadas como de alto riesgo no mitigables, requieren de programas de reasentamiento en el corto y mediano plazo, dadas las altas probabilidades de daños y pérdidas como consecuencia de la ocurrencia de movimientos en masa en ellas o en su entorno inmediato. Estas zonas deberán ser objeto o de un plan de priorización para su reasentamiento en el corto y mediano plazo.</li> </ul>

Cuadro elaborado a partir de DAP (2013)- RAPOT

## 5.4 Revisión de normas internacionales

En esta sección se realiza una revisión del tratamiento del tema de planificación urbana y mitigación de riesgos por movimientos en tres países: Suiza y Hong Kong. Dos países con amplia tradición en el tema de evaluación de la amenaza por movimientos en masa, desarrollo de estudios de caso y que disponen de catálogos históricos de movimientos en masa que cubren un periodo histórico muy amplio. Tienen diferencias significativas relacionadas con el crecimiento demográfico y la planificación del suelo del suelo.

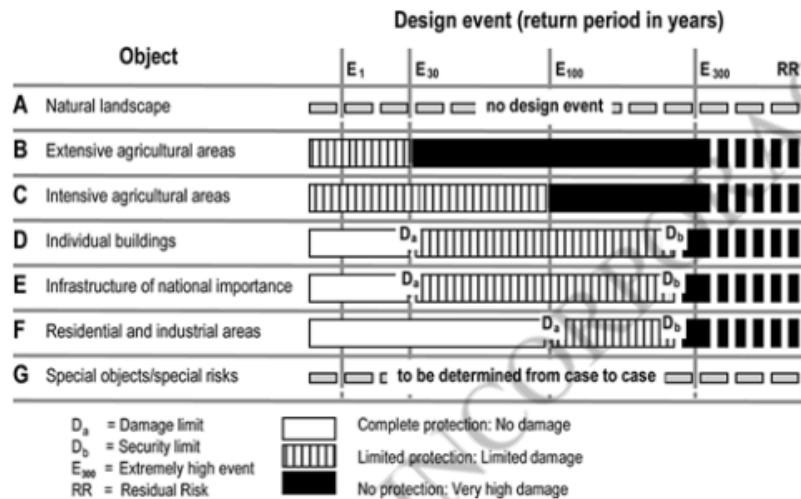
### 5.4.1 Suiza

De acuerdo con Latelin *et al* (2005) la evaluación de las amenazas y los riesgos no es la meta en el ordenamiento del territorio. La meta es asegurar la protección de los elementos expuestos para fenómenos de una magnitud y frecuencias dadas. En Suiza diferencian los niveles de protección, en función del tipo “objetos”. Estos objetos es lo que en terminología colombiana se conoce como

elementos expuestos.

En la siguiente figura se presentan los niveles de protección para cada elemento expuesto (“objetos”) en función de los periodos de retorno. Son tres niveles de protección: completa, limitada y sin protección.

### Metas diferenciales de seguridad frente a movimientos en masa para diversos elementos expuestos, Suiza



Fuente: Tomado de Lateltin *et al* (2005)

Dentro de las medidas adecuadas para la protección de los objetos, la que está en primer lugar de prioridades para el gobierno Suizo, es un apropiado ordenamiento del territorio, ya sea a una escala regional (“master” plan) o escala local (plan de manejo local). Las recomendaciones federales del gobierno suizo para la consideración de las zonas de amenaza en el ordenamiento del territorio (OFAT, OFEE y OFEFP, 1997) se describen a continuación y en la siguiente tabla. Hay que aclarar que estas categorías aplican para todos los tipos de fenómenos de interés en Suiza, entre los que están además de los movimientos en masa, los terremotos, las inundaciones, etc.

#### Rojo - Amenaza alta.

En principio, no se permite construir edificaciones, ni instalaciones para uso de personas o animales. En caso de que existan, las construcciones no pueden ser ampliadas ni reconstruidas. Las zonas de desarrollo planeadas deben ser de-clasificadas. Las transformaciones de edificios existentes se permiten, solamente si el riesgo es reducido (usando medidas apropiadas), pero dichas medidas no deben ser para incrementar el uso de la tierra. La evacuación sistemática de la población en las zonas de amenaza alta no tiene que ser prevista, pero deben tomarse medidas para, en caso de emergencia, garantizar la seguridad de la población (planes de evaluación).

#### Azul - Amenaza moderada.

En esta zona se permite construir edificaciones pero solo bajo ciertas condiciones. Ello implica que

pueden requerirse estudios adicionales (geológicos o geotécnicos) para obtener las licencias de construcción, o ameritará técnicas de construcción especiales (p. ej. en la cimentación), o medidas de protección adecuadas (p. ej. drenaje del terreno) o un conjunto de medidas particulares de planeación (p. ej. distancia mínima a un canal donde pueden avalanchas). Los objetos sensibles como hospitales o casas de adultos mayores, no se permiten en estas zonas; tampoco se permite la construcción de grandes obras de infraestructura. Las autoridades locales (ciudades, pueblos) pueden definir reglas adicionales (p. ej. densidad de construcción limitada).

*Amarilla - Amenaza baja.*

En estas zonas es posible construir pero los desarrolladores deben ser conscientes de las amenazas y riesgos. Las medidas preventivas que deben implementar se deben adecuar a la escala del terreno y de la pendiente completa de la ladera comprometida, las cuales pueden optar por reducir los daños potenciales o reducir las áreas de construcción. En estas zonas se recomiendan prestar especial atención a las excavaciones para edificios, por lo que ellas pueden generar problemas de inestabilidades.

*Amarillo blanca - Amenaza muy baja o residual.*

En estas zonas el riesgo está asociado con la potencial caída de rocas de muy baja probabilidad. Se permite la construcción de edificios “standard” sin requerimientos especiales, pero deben tomarse medida para objetos sensibles. Las infraestructuras que tenga potencial de daños indirectos deben evitarse. Por ejemplo tanques grandes de aceite.

**Niveles de amenaza ajustados al ordenamiento del territorio en Suiza**

<b>Nivel de amenaza</b>	<b>Descripción</b>	<b>Actuaciones</b>
Alto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Población en riesgo dentro y fuera de las construcciones. Es posible una destrucción rápida de las construcciones.</li> <li>• Eventos de intensidad baja pero con alta probabilidad de ocurrencia. La población está en riesgo principalmente por fuera de las construcciones o las edificaciones no quedarán habitables.</li> </ul>	Principio de prohibición.
Moderado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Población en riesgo de ser herida afuera de las edificaciones. El riesgo dentro de las casas se considera bajo. Se espera daño en las edificaciones pero no una destrucción rápida, mientras que la edificación haya sido adaptada a las condiciones actuales.</li> </ul>	Principio de restricciones al desarrollo
Bajo	La población esta en riesgo bajo de ser herida. Daños ligeros a las edificaciones es posible. Pueden que ocurran daños dentro de las edificaciones pero no en la estructura.	Principio de conciencia del riesgo
Bajo-residual Muy bajo	Muy baja probabilidad de una evento de alta intensidad	Conciencia del Riesgo residual
No danger	Sin daño o daños despreciables de acuerdo con la información disponible.	

Fuente: Lateltin et al 2005



De acuerdo con la reglamentación suiza, según la ley de ordenamiento territorial, estas zonas deben ser adaptadas de acuerdo con los planes de manejo existentes y requieren una actualización cada 10 años. De hecho, las zonas de amenaza tienen valor legal restringido hasta que son introducidos en los planes de manejo local y en los códigos de construcción con los requerimientos específicos. Es decir, hasta cuando sean aprobados por el concejo local o por pequeñas comunidades.

Los mapas de amenaza en Suiza, son actualizados y/o revisados cuando ocurren deslizamientos o avalanchas. Si ocurren efectos que no estaban contemplados en la zonificación, a partir de un análisis de lo ocurrido se evalúa la necesidad de actualizar el mapa. Eso puede significar cambiar el nivel de amenaza, las restricciones de uso del suelo o los requerimientos técnicos para la construcción de edificaciones nuevas.

#### **5.4.2 Hong Kong**

En contraste con el caso de Suiza, gran parte de Hong Kong se levanta sobre una superficie montañosa y ha tenido un impresionante crecimiento de la población en los últimos tres décadas. De acuerdo con Cascini *et al* (2005) este crecimiento junto a el uso intensivo del suelo y la falta de planeación, hizo que se construyeran edificaciones y otras estructuras en zonas de ladera con pendientes entre moderadas y altas.

Con el fin de mitigar los riesgos, a finales de la década de 1970 se creó la Oficina de Control Geotécnico (GCO). Uno de los primeros programas que lideró esta oficina, tenía por objetivo el desarrollo de estudios geotécnicos a escala regional (1:20.000) y a escala de distrito (1:2.500). A nivel regional el territorio se dividió en 11 áreas de 50 a 100 km<sup>2</sup> y, a nivel local, se hicieron evaluaciones geotécnicas en áreas de 2 a 4 km<sup>2</sup>. Dentro de los mapas que se produjeron destacan dos mapas que de acuerdo con Brand (1988) se pueden considerar como mapas de amenaza para la planeación urbana y el desarrollo. Estos eran, el “Mapa de limitaciones generalizadas para la ingeniería” para el nivel nacional y se hizo el “Mapa geotécnico de usos del suelo”, para el nivel distrital.

Para la década de 1990 Hong Kong ya contaba con buena cantidad de datos disponibles y detallados, para hacer un análisis de estabilidad de las laderas. Realizaron las primeras estimaciones de la amenaza a partir del factor de seguridad de las laderas y la lluvia para periodos de retorno de 10 años. El riesgo se estimó en tres categorías: alto, bajo y despreciable, en función de los daños económicos y las vidas humanas perdidas (Cascini, *et al*, 2005). Desde entonces, la evaluación del riesgo por movimientos en masa, ha sido mejorada sucesivamente, y el gobierno ha producido numerosos guías, evaluaciones del riesgos y estudios técnicos. A continuación se presenta una lista seleccionada de algunos de los documentos técnicos que consideramos relevantes, para los propósitos de este informe.

- **GEO Report No. 75. Es una guía sobre los niveles de riesgo aceptable/tolerable.**

##### **Riesgo individual.**

Para nuevos desarrollos el nivel de riesgo no debe exceder  $10^{-5}$  por año. Para desarrollos existentes, esta guía propone que el máximo nivel de riesgo individual sea  $10^{-4}$  por año. Se recomienda que

estos umbrales sean aplicados a la población mas vulnerable.

### **Riesgo social.**

Para la evaluación del riesgo social, proponen usar el método desarrollado por el gobierno de Hong Kong de Potentially Hazardous Installation (PHI) con algunos cambios. Esto son:

- Se debe eliminar el límite inferior de línea de aceptabilidad. El principio de riesgo “tan bajo como sea factible” debe ser aplicado para todos los riesgos que caen por debajo de la línea de “no aceptable”. Esto es consistente con lo reglamentado en países como Holanda, donde la línea de “mas bajo aceptable” ha sido eliminada.
- El límite tolerable de muertos (por un solo evento) debe ser ampliado a un rango de 1000 para PHI hasta 5000 muertos. El primer rango debe cortar la línea de “no aceptabilidad” y el segundo debe cortar la línea de no aceptable.

### **Aplicación de criterios.**

Para aplicar estos criterios es necesario definir el área objeto de estudio. Estas guías proponen The study proposes an approach whereby a 500m length of natural terrain (which presents risk to the community) should be considered as the basis for the QRA. El estudio propone una zona de consulta la cual se extiende 150 metros desde la base de la ladera y que incluye los taludes propiamente. Cualquier desarrollo dentro de la zona de consulta, que tenga incremento de la población, requiere un estudio de Evaluación Cuantitativa del Riesgo..

- **GEO Report No. 138, el cual provee una guía sobre los estudios de amenaza por movimientos en masa.**

El objetivo de esta guía es proveer recomendaciones técnicas para evaluar la ubicación, tipo y magnitud de los movimientos en masa que puedan afectar los desarrollos urbanísticos y para determinar el evento de diseño y formular una estrategia de mitigación, en sitios donde se ha identificado la amenaza.

El manejo del riesgo por movimientos en masa se basa en dos principios. Los nuevos desarrollos no deben incrementar el riesgo global por lo que deben desarrollarse las acciones de mitigación necesarias cuando hay amenazas y no deben hacerse sujetos a amenazas severas. Para los desarrollos existentes que están en inminente peligro, se deben emprender acciones urgentes.

Se proponen tres métodos de evaluación de la amenaza y del riesgo que pueden ser usados de manera individual o colectiva. Primero, está el método del “Factor de seguridad”. Es el estudio de estabilidad de laderas y del diseño de las medidas necesarias para garantizar la estabilidad del talud. La guía de referencia es el Geotechnical Manual for Slopes (GCO, 1984), desarrollado por el gobierno de Hong Kong. la evaluación cuantitativa del riesgo y el evento de diseño. Segundo, el método de la evaluación cuantitativa de riesgo. Este método evalúa la probabilidad y consecuencias de los movimientos en masa y determina las medidas de mitigación necesarias. Es una metodología que permite medir la importancia relativa de los diferentes parámetros y las incertidumbres asociadas; permite determinar la aceptabilidad del nivel de riesgo al compararla con guías establecidas. Provee además una base común para aplicar el principio del riesgo “tan bajo como sea factible”.

### **Modelos de deslizamientos.**

Esta guía clasifica la amenaza por movimientos en masa según el mecanismo de transporte, la naturaleza del material desplazado y la topografía. Para Hong Kong se definieron 5 modelos de movimientos en masa que aplican para la mayoría de los sitios. Cada uno de los modelos debe ser considerado en el estudio de un sitio, y de manera razonable se pueden descartar algunos en la primera fase de los estudios. Los modelos que se definan para un sitio pueden variar en función de información adicional disponibles. Los modelos para Hong Kong son: deslizamiento en pendiente abierta, flujo de escombros canalizado, deslizamiento de gran profundidad, caída de rocas y caída de boulders.

### **Estrategias de mitigación.**

La guía propone dos tipos de estrategias de mitigación, pasivas y activas. Las pasivas pueden ser ejecutadas por medio de la planificación del suelo, reglamentos estatutarios y restricciones de desarrollo. Hong Kong introdujo desde 1973 las restricciones de construcción para nivel intermedio con el fin de asegurar la estabilidad de las laderas en los distritos. Las medidas incluyen cerrar o relocalizar las instalaciones en zona de riesgo, proveer un espaciamiento apropiados en la parte superior del desarrollo o en cercanías de los sistemas de drenajes. Las medidas pasivas incluyen todas las intervenciones físicas sobre los taludes con el fin de estabilizar los taludes.

## **6. INSUMOS PARA EL REFINAMIENTO DEL MODELO DE AMENAZA Y/O SUSCEPTIBILIDAD**

En este capítulo se da cuenta de los resultados preliminares de la recolección y síntesis de los estudios técnicos llevados a cabo por el DAPM para la zonificación de la amenaza por movimientos en masa. Esta actividad tiene como objetivo seleccionar los criterios metodológicos que permitan refinar el modelo de amenaza por movimientos de masa actual del municipio y el cual, corresponde a la actualización realizada por el equipo del DAPM en el 2010 para la actualización del POT de la ciudad de Cali.

### **6.1 Síntesis de metodologías para la amenaza por movimientos de masa**

La zonificación de la susceptibilidad y/o amenaza es una herramienta usada en casi todos los lugares del mundo, donde existe la propensión a los movimientos de masa. Se han elaborado diversas técnicas para desarrollar la zonificación, teniendo en cuenta factores como la escala de trabajo, la relación costo-beneficio, el objeto del estudio, información disponible, tiempo requerido, precisión de los resultados, capacidad de análisis, experiencia de los investigadores, etc.

Los fenómenos de inestabilidad de laderas están relacionados con una gran variedad de factores del medio físico e interacciones con el hombre. Por lo tanto, la evaluación de la susceptibilidad y/o amenaza por movimientos de masa requiere un detallado inventario de los procesos de inestabilidad, el estudio de estos procesos en relación con su marco ambiental, el análisis de los factores de susceptibilidad y disparo y, la representación espacial de los factores y de los procesos de inestabilidad (Mora y Vahrson, 1993; Soeters and Van Westen, 1996). La selección de los datos de entrada es de gran importancia y depende, entre otras cosas, de la escala de trabajo, que a su vez define la cantidad de datos y la técnica de análisis por utilizar. Los datos de entrada pueden ser divididos en cinco grupos básicos: geomorfología, topografía, geología, uso del suelo e hidrología. Estos pueden variar de acuerdo con las características de las diferentes condiciones medio ambientales.

#### **Técnicas para el análisis de la amenaza por movimientos en masa.**

Un mapa ideal de amenaza por movimientos de masa, debería proveer información sobre la probabilidad de ocurrencia espacial y temporal, tipo, magnitud, velocidad, distancia de recorrido, y límite de regresión de los movimientos de masa en cierta área de interés (Suárez, 1998). Las diferentes técnicas actualmente en uso proveen una evaluación de la susceptibilidad y/o amenaza con base en el estudio de las condiciones naturales de una área y en el análisis de los posibles factores involucrados en los procesos de inestabilidad.

Van Westen (1993) citado por Soeters and Van Westen (1996), revisó diferentes aproximaciones metodológicas, las cuales se resumen a continuación.

- ***Inventario de movimientos de masa.***

Es el método más directo para la zonificación de la susceptibilidad y/o amenaza, con base en la ocurrencia de movimientos de masa en un área. Se puede realizar por fotointerpretación de fotos aéreas, trabajo de campo o base de datos históricos del área de estudio. El producto final debe ser la distribución espacial de los movimientos, representados por áreas afectadas o puntos.

Proveen información por un periodo corto de tiempo y no dan ninguna idea de los cambios temporales en la distribución de movimientos de masa. e pueden clasificar en análisis de distribución de movimientos de masa; análisis de densidad usando mapas de isodensidades y análisis de actividad, si se dispone fuentes de información multitemporales.

Estos inventarios son la base de cualquier estudio de zonificación de susceptibilidad y/o amenaza, aunque su aplicación a escala regional es limitada (Soeters and Van Westen, 1996; Millán, 1998).

- ***Aproximación heurística.***

Con base en la opinión de un experto. Combina un inventario de movimientos de masa con su marco geomorfológico como el principal factor de entrada en la evaluación. La calidad de la zonificación depende del conocimiento que se tenga de la zona de estudio y de la experiencia de los investigadores. Se puede aplicar a cualquier escala, pero es mas útil a escalas nacional y regional. Se clasifican en dos tipos de técnicas:

- Análisis geomorfológico: conocido como método directo. La susceptibilidad y/o amenaza es determinada directamente en el campo por las observaciones del experto, con base en su experiencia personal y uso de razonamiento por analogías. Tiene un alto nivel de subjetividad, baja repetibilidad y el error depende del conocimiento que se tenga de la zona de estudio. Tiende a ser usados en escalas grandes y se vuelven impracticables en estudios de zonificación a escalas menores, por la complejidad de la toma de las decisiones. Se les conoce también como técnicas de evaluación empírica (Hartlen y Viberg, 1988) o Metodologías de Cartografía Directa (Cuervo, 1999).

- Combinación cualitativa de mapas: usa el conocimiento del experto para asignar pesos a una serie de mapas-parámetro. Las condiciones del terreno son representadas por la suma de los pesos y la evaluación del grado de zonificación se realiza por clases. Esta técnica ha sido muy popular, pero la desventaja es la determinación exacta del peso para cada mapa parámetro, que requiere un conocimiento detallado de los factores en la zona de estudio (Soeters and Van Westen, 1996; Millán, 1998). Se los conoce también como métodos de cálculo de peso de los factores (Gee, 1992) o metodologías de cartografía indirecta (Cuervo, 1999).

Un avance de estas técnicas es el de las evaluaciones semicuantitativas, que incluyen análisis aritméticos e interpretaciones cualitativas de los diferentes parámetros (Millán, 1998), conocidas también como modelos de Caja Gris (Grey Box) (Carrara, 1983). Tienen la ventaja de poder ser aplicadas en regiones con insuficiente información, pero no es recomendable aplicar metodologías de este tipo con los valores preestablecidos de otros estudios, sino obtenidos del conocimiento del área específica de estudio (Vargas, 1999).

- ***Análisis estadísticos.***

La combinación de factores que generan los movimientos de masa en el pasado se hace estadísticamente y se generan predicciones cuantitativas. El inventario de movimientos de masa es la base del estudio. Su aplicabilidad se encuentra en estudios de escala intermedia a grande y tiene la ventaja de su alta reproducibilidad y objetividad, o que permite verificar los resultados. También se conocen como modelos de Caja Negra (Black Box) (Carrara, 1983) o técnicas de evaluación relativa (Hartlen y Viberg, 1988). Existen dos tipos de técnicas para realizar análisis estadísticos:

- Análisis estadístico bivariado: depende de la distribución de movimientos de masa; la asignación de pesos se hace a partir de correlaciones con la densidad de movimientos de masa. Con base en la

suposición de que la importancia de los principales factores (variables - parámetro) sobre la estabilidad de una zona pueda ser cuantificada por el cálculo de la densidad de movimientos de masa. La base del método es el cálculo de densidad de movimientos de masa para cada variable -parámetro. Entre las técnicas usadas para el cálculo de los pesos están: método de susceptibilidad a movimientos de masa, método de valor de información, y método de evidencia de peso.

- **Análisis estadístico multivariado:** se fundamenta en la presencia o no de factores de inestabilidad en cada unidad morfométrica. La matriz resultante es analizada por regresión múltiple o análisis discriminantes. No se basa en la experiencia del experto y se pueden esperar buenos resultados en

zonas homogéneas o con poco movimientos de masa, debido principalmente a la gran y detallada información requerida y a la necesidad de complejos cálculos estadísticos. Los análisis pueden hacerse por regresión múltiple y análisis discriminante, La implementación de los Sistemas de Información Geográfico ha facilitado el uso de esta técnica (Soeters and Van Westen, 1996; Millán, 1998; Vargas, 1999).

- ***Aproximación determinística.***

Son métodos indirectos, que emplean modelos físicos de estabilidad de laderas para evaluar la susceptibilidad y/o la amenaza. Son aplicables sólo cuando las condiciones geológicas y geomorfológicas son homogéneas sobre el área de estudio y los tipos de movimientos de masa son simples. La ventaja de esta técnica es que está basada en análisis cuantitativos. El principal problema es su alto grado de simplificación. Generalmente requiere el uso de modelos hidrológicos. No obstante la cantidad de información detallada que requieren, su uso se ha incrementado, debido a la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica, que permiten la manipulación de gran cantidad de datos y rapidez en los cálculos, facilitando su aplicación a escalas regionales (Soeters and Van Westen, 1996; Millán, 1998). También se conocen como modelos de Caja Blanca (White Box) (Carrara, 1983).

- ***Análisis probabilísticos o de frecuencias de movimientos de masa.***

Consisten en determinar la probabilidad o recurrencia de los movimientos en un lugar y en un periodo de tiempo dado. El cálculo se realiza con la ayuda de la modelación de los factores presentes en la formación de los movimientos de masa ocurridos en el pasado con características similares (Millán, 1998). También se conocen como técnicas de evaluación absoluta (Hartlen y Viberg, 1988).

- ***Metodología de taludes naturales.***

Se enmarca dentro del campo natural de la macrogeotecnia y constituye un conjunto metodológico que permite la determinación y cálculo de parámetros geomecánicos y de estabilidad, a partir de información detallada. Permite el cálculo directo del factor de seguridad y su correspondiente probabilidad de falla. Se aplica a diferentes escalas, siempre y cuando la información requerida esté disponible (Millán, 1998). También se conocen como técnicas por monitoreo (Hartlen y Viberg, 1988) o métodos de evaluación de inestabilidad de taludes (Gee, 1992). Existe diversidad de métodos para el cálculo del factor de seguridad, como el método de tajadas, de talud infinito, del bloque deslizante y el de elementos finitos (Cuervo, 1999).

### **Selección de la técnica para el análisis de la amenaza por movimientos en masa.**

La técnica a usar en un estudio depende entre otras cosas de el ambiente geomorfológico de la zona, las evidencias de procesos morfodinámicos, el nivel de detalle de la información disponible de los factores involucrados, la precisión deseada, la relación costo - beneficio y la escala de trabajo.

## **6.2 Antecedentes del modelo de zonificación disponible en 2013**

La zonificación de la amenaza a movimientos en masa incluida en el DTS-RAPOT, 2013, es el resultado de una serie de estudios realizados por el DAPM a lo largo de casi 20 años (ver Anexo 5 “Listado de estudios realizados por DAPM para la construcción del mapa actual de amenaza”). El primer estudio referenciado es el de INCOL para DAPM realizado en 1993, que tenía por objetivo diseñar las obras de mitigación de riesgos por movimientos en masa en la Comuna 20. Dicho estudio es antecedido por uno elaborado conjuntamente por CVC y EMCALI en 1989, el cual presenta un mapa con la ubicación de movimientos en masa.

Con el fin de recuperar la memoria histórica de la construcción del mapa actual de amenaza por movimientos en masa se realizó una entrevista al geólogo Andrés Prieto. A continuación se presenta la síntesis.

### **Estudios previos al año 2000.**

Para la formulación del POT del 2000, se realizó una integración de los estudios detallados realizados por el DAPM y el estudio de EMCALI – CVC (1989). La integración consistió en la definición de las categorías de amenaza (muy alta, alta, media y baja); los resultados de los diferentes estudios se integraron y compatibilizaron con las categorías mencionadas. Hay que aclarar que los estudios fueron realizados a escalas similares, lo que facilitó la integración.

Para ese época la zonificación cubría sólo una parte del área de ladera. Esto es, toda la ladera urbana y unos sectores de la ladera rural. No se cubrieron los corregimientos de Pance (excepto la parte baja), Villacarmelo, Los Andes, El Saladito y una parte del corregimiento de Golondrinas. Tampoco se cubrieron unos sectores urbanos de la área rural: barrios El Mortiñal, Brisas de los Cristales y Altos Santa Isabel, ubicados en parte alta de la comuna 19.

Los terrenos del PNN Farallones no han estado sujetos a zonificación de la amenaza dadas las restricciones que implican los parques naturales, en los cuales no se permite la ocupación.

La zonificación de los estudios de amenaza ha tenido siempre unos criterios comunes. Todos los estudios que se han realizado desde 1989 han respondido las mismas preguntas.

- ¿Cuál es la zona que hay que reubicar? Es decir, sitios donde el problema de inestabilidad es tal, que hay que reubicar las viviendas. Para el POT del 2000, estas zonas estaban en la categoría de Zona de Amenaza Muy Alta. La otra pregunta.
- ¿En que zonas se pueden hacer intervenciones para reducir los riesgos?. Estas se llamaron de diferentes formas, por ejemplo, zonas de riesgo mitigable o zonas de amenaza media. Pero obedecen a una definición común.

### **Estudios posteriores al año 2000.**

A partir del estudio de actualización de la zonificación de la amenaza para las comunas 2, 18 y 19, realizado por INCOL-GEICOL del 2003, no se realizó ningún acto administrativo que modificara la zonificación de la amenaza del POT 2000. Dentro del estudio se identificaron y diseñaron obras tipo de mitigación en las tres comunas. Por ejemplo, se diseñaron canaletas marginales a vías y muros de contención.

Con el estudio del 2005 realizado por la Corporación OSSO se llenaron los vacíos de información en el

área rural. El estudio cubrió las áreas de Pance, Villa Carmelo, un sector alrededor de la comuna 1, corregimiento El Saladito y la Corona de los Cerros II (un área de régimen diferido definida por el POT-2000). Este se ubica al occidente de la Comuna 20. Se cubrió el asentamiento Brisas de los Cristales.

En el año 2005 INGEOMINAS realizó un estudio de zonificación de la amenaza en el marco de la microzonificación de la amenaza sísmica. Aunque la escala del modelo resultante, 1:20.000, no tiene el nivel de detalle necesario, el DPAM se apoyó en estos resultados para llenar algunos vacíos de información o donde no se tenía una visión completa de algunos sectores.

El mapa de zonificación de la amenaza por movimientos en masa ha sido sujeto de constantes actualizaciones, ya que los procesos de ocupación del territorio e intervención de las condiciones naturales del terreno (cambios de pendientes y cambios en la cobertura del suelo) pueden implicar cambios en la susceptibilidad. Una de las formas de actualización de la zonificación de la amenaza en Cali, es en respuesta a un reporte de un deslizamiento por parte de la comunidad. El DAPM realiza una visita de inspección técnica. En algunos casos, los resultados hacen necesario realizar modificaciones del mapa de amenaza para un sector. En los casos que ha sido necesaria hacer la modificación, siempre ha habido un incremento del nivel de amenaza (hasta ahora no ha ocurrido que después de las inspecciones el nivel de la amenaza disminuya). La forma de actualización de la zonificación de la amenaza es a través de proyectos específicos de validación y actualización del modelo, como se describe a continuación,

Entre los años 2008 y 2010 el DAPM llevó a cabo la actualización de la zonificación por movimientos en masa (DAPM, 2010). La metodología de actualización partió de la revisión en terreno de las zonas de amenaza alta y muy alta, considerando las intervenciones que habían llevado a cabo las secretarías de Vivienda y de Infraestructura y Valorización, EMCALI y el DAGMA. Por un lado, se buscaba establecer el funcionamiento de las obras construidas y, por otro, los efectos por el incremento de la ocupación informal sobre la zonificación de la amenaza. Esta actualización se centró en la parte urbana de la ladera: corregimiento de Montebello y en el límite del corregimiento de la Buitrera con la comuna 18.

La zonificación contenida en el RA-POT (2013) se realizó con los mismos criterios de integración del POT-2000. Se conservaron las mismas categorías de amenaza, y los resultados de los estudios adelantados después del año 2000 se integraron a la categorización. Vale la pena aclarar que los estudios no se traslapan en el espacio, cubren partes del territorio diferentes.

### **6.3 Metodologías de zonificación de los estudios previos**

Debido a la variedad de metodologías disponibles para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa, una de las primeras tareas planteadas fue la revisión de los estudios para conocer el enfoque metodológico aplicado en términos de escala, variables incorporadas, evaluación de cada variable, desarrollo del modelo y estrategia de validación del modelo con el objetivo de verificar si son comparables entre sí. A continuación se resumen los principales elementos identificados en cada estudio.

*1. Proyecto de manejo de aguas y control de erosión en las cuencas de las quebradas Fatima, Portillo, Santa Mónica, El Bosque y Menga”. Estudio Geológico, Convenio CVC – EMCALI No 530 de 1988.*



Área de estudio	Escala	Variables
<p>Estribación oriental de la cordillera occidental, sector noroccidental de Cali. Cuencas de las quebradas Fatima, Portillo, Santa Mónica, El Bosque y Menga.</p> <p>Comuna 18: asentamiento Alto Jordan, Alto Nápoles, Polvorines, Los Chorros).</p> <p>Comuna 19: Asentamiento Mortiñal, Bellavista.</p>	1: 5000	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pendientes naturales del terreno</li> <li>• Formaciones geológicas superficiales</li> <li>• Cobertura vegetal</li> <li>• Uso actual del suelo</li> <li>• Fracturamiento (Geología estructural)</li> <li>• Procesos erosivos</li> </ul>

#### Definición de categorías.

Zona de amenaza	Descripción
<b>Zona inestable e irrecuperable</b>	Ubicadas sobre rocas sedimentarias desestabilizadas por la intervención minera con pendientes entre el 12 y 75% en rocas falladas y mayores al 50% cuando no están falladas. La cobertura vegetal conformada por rastrojo bajo y pastizales con abundante actividad minera subterránea.
<b>Zona inhabitable</b>	Ubicadas sobre rocas sedimentarias desestabilizadas por la intervención minera con pendientes entre el 12 y 75% sin importar el grado de fracturamiento y que presenta problemas de erosión moderada con bosques secundario, rastrojo alto, pasto natural enmalezado y pasto degradado. Zonas no aptas para el asentamiento urbano.
<b>Zonas inhabitables de protección</b>	Zonas con problemas ligeros de erosión con pendientes intermedias y cobertura vegetal conformada por bosque secundario, rastrojo alto y bajo sometidos a quemas y pastizales naturales degradados.
<b>Zonas urbanizables</b>	Zonas con pendientes menores al 25% sin problemas erosivos o erosión natural y/o laminar ligera.
<b>Zonas urbanizables con restricción</b>	Zonas que no presentan problemas graves de erosión en la actualidad pero dadas sus características básicas, pueden desestabilizarse fácilmente.

Nota: estas no son categorías de amenaza propiamente, a partir de un conocimiento de las condiciones de amenaza, son categorías de posibilidades de urbanización y protección.

*2. Diagnóstico sobre Amenazas Naturales en las Comunas 1 y 19. Planes Ltda para DAPM. Noviembre de 1994.*

Area de Estudio	Escala	Variables
La Comuna 1 y 19 en el noroccidente de la ciudad de Cali. Comprende los sectores: La Legua, Vistahermosa, Palermo, Terron colorado, Aguacatal, bellavista, sector El Bosque Municipal, El Mortiñal, Santa Rita, Santa Teresita, Arboledas y Sector Patio Bonito. (Mameyal- C19?)	1: 2000	<ul style="list-style-type: none"><li>• Condiciones geologicas</li><li>• Pendientes naturales</li><li>• Procesos erosivos que afectan los terrenos (tipo de riesgos naturales)</li><li>• Cobertura Vegetal y uso actual de suelo</li></ul>

Nota: Con base en la metodología de calificación numerica empleada por la firma INCOL Ltda para el DAPM

**Definición de categorías**

Este estudio realizó una aplicación de la metodología propuesta por INCOL S.A., a partir de la cual definió 3 categorías de riesgo; Bajo, Medio y Alto. Para efectos de validación, se revisaron en campo las areas de transición entre categorías con el objetivo de detallar los sitios de alto riesgo. Sin embargo, desde el punto de vista conceptual, la zonificación realizada a partir de este estudio corresponde a una evaluación de la susceptibilidad ante la ocurrencia de movimientos en masa.

*3. Diseño definitivo de obras para la mitigación de riesgos naturales en la comuna 20. Incol S. A. para DAPM. Diciembre de 1994.*

Area de Estudio	Escala	Variables
Comuna 20, localizada en el sector suroccidental de la ciudad de Cali.	1: 2 000	<ul style="list-style-type: none"><li>• Condiciones geologicas</li><li>• Pendientes naturales</li><li>• Unidades geomorfológicas</li><li>• Actividad hídrica</li><li>• Procesos erosivos que afectan los terrenos (tipo de riesgos naturales)</li><li>• Cobertura Vegetal y uso actual de suelo</li></ul>

## Definición de categorías

Zona de riesgo (*)	Descripción
<b>Alta</b>	Se conjugan principalmente los siguientes factores: Pendientes muy fuertes, Presencia de coluviones o zonas de falla, actividad hídrica natural y antropica significativa, uso inadecuado del suelo y procesos erosivos de gran magnitud.
<b>Moderado</b>	Se caracterizan por tener pendientes topográficas altas, suelos residuales de moderada consolidación, zonas de alta humedad o susceptibles a sufrir inundaciones, suelos sin ninguna cobertura vegetal o estériles y procesos erosivos como cárcavas, surcos y socavación de cauces y orillas.
<b>Bajo</b>	Zonas que en general presentan pendientes moderadas, condiciones geológicas buenas, la actividad hídrica es baja y los procesos erosivos son de menor importancia.
<b>Muy Bajo</b>	Estas zonas se pueden considerar estables y con un riesgo muy bajo a ser afectadas por fenómenos naturales. Son zonas planas, de condiciones geológicas muy buenas, actividad hídrica controlada y procesos erosivos naturales de poca magnitud.

Nota: (\*) definición original del estudio. Conceptual se refiere a las condiciones de susceptibilidad del área de estudio.

4. *Diseño Definitivo de Obras para la Reducción de Riesgos en la Comuna 1. Zonificación geotécnica de Patio Bonito y de la franja a lo largo de la vía al mar y de la variante de terrón colorado y uso potencial de áreas no ocupadas. JHL y Cía LTDA para DAPM. Diciembre de 1995. Tres volúmenes*

Área de Estudio	Escala	Variables
Sector de Patio Bonito (occidente de la comuna 1) y la franja localizada a lo largo de la vía al mar y de la variante de Terron Colorado.	1: 2000	Discusión de los parámetros. NO es zonificación, sino un estudio detallado de un sitio con procesos de inestabilidad identificados.

El Tomo II de este mismo estudio contiene el inventario de viviendas a reubicar en las comunas 1 (barrios Las Malvinas, Alto Aguacatal, Bajo Aguacatal, Palermo y Terron Colorado) y el sector de Patio Bonito. Esto se hace a partir de **ocho criterios** con base en el diagnóstico de las zonas de riesgos. Estos criterios deben responder a zona de susceptibilidad alta y moderada. El Tomo III Corresponde al diseño de obras de acuerdo a los resultados del Tomo II.

**5. Zonificación de amenazas naturales y usos del suelo en el Corregimiento de Montebello. DAPM. Febrero de 1997.**

Area de Estudio	Escala	Variables
Corregimiento de Montebello	1: 5 000	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formaciones geológicas superficiales</li> <li>• Pendientes naturales</li> <li>• Procesos erosivos que afectan los terrenos</li> <li>• Cobertura Vegetal y uso actual de suelo</li> </ul>

**Definición de Categorías:**

Zona de amenaza (deducido)	Descripción
<b>Alta</b>	Áreas cubiertas por coluviones con pendientes mayores al 35% y los sitios de canteras activas como abandonadas.

Este estudio categoriza zonas de riesgo en riesgo inminente – viviendas a reubicar, riesgo mitigable y bajo riesgos. Las zonas de riesgo inminente ubicadas en zonas de amenaza alta; zonas de riesgo mitigable, en el cual las viviendas se ubican en amenaza baja en pendientes entre 25 y 35% con evidencia de procesos erosivos y, zonas de bajo riesgo, sectores poblados que presentan pendientes menores del 25% sin evidencia de amenazas naturales.

Conceptualmente, no corresponde a un estudio de amenaza sino a un estudio de susceptibilidad por la ocurrencia de movimientos de masa.

**6. Zonificación de amenazas naturales e identificación de alternativas para la reducción de riesgo en las laderas de la comuna 18 y el corregimiento de La Buitrera. José Hilario Lopez y Compañía LTDA. Febrero de 1997.**

Area de Estudio	Escala	Variables
Las laderas de la Comuna 18, barrios Brisas de la Chorrera, Los Chorros I, Los Chorros II, La Esperanza, Alto Nápoles, Alto Jordán, Algarrobos, Alto Melendez, Las Palmas, Paleteros, Minas, Los Escombros, La Arboleda y Altos de Polvorines y el Corregimiento	1: 1 000	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formaciones geológicas superficiales</li> <li>• Pendientes naturales</li> <li>• Procesos erosivos que afectan los terrenos</li> <li>• Cobertura vegetal y uso actual de suelo</li> <li>• Intensidad de lluvias y probabilidad de ocurrencia de aguaceros en mm por día</li> </ul>

de La Buitrera en las estribaciones de la Cordillera Occidental.		<ul style="list-style-type: none"> <li>Precipitación media anual por año</li> </ul>
--	--	---

#### Definición de Categorías:

Zona de amenaza	Descripción
<b>Muy alta</b>	Áreas con pendientes mayores al 60% sobre suelos residuales derivados de arcillolitas en zonas dedicadas a la actividad minera y asentamientos subnormales en presencia de procesos erosivos muy severos a severos
<b>Alta</b>	Áreas con pendientes entre el 40 y 60% en presencia de suelos residuales en zonas dedicadas a la minería, asentamientos subnormales o zonas desprovistas de vegetación en presencia de procesos erosivos severos.
<b>Media alta</b>	Áreas con pendientes intermedias en aglomerados volcánicos meteorizados con asentamientos subnormales desprovistos de vegetación con ocurrencia de procesos erosivos severos a moderados.
<b>Media</b>	Pendientes intermedias entre el 25 – 40% sobre areniscas ligeramente meteorizadas ó aglomerados volcánicos meteorizados en presencia de cultivos, rastrojo bajo y pastos con la ocurrencia de procesos erosivos.
<b>Baja</b>	Pendientes menores al 10% sobre aluviones recientes y terrazas aluviales en zonas de rastrojo alto, bosque secundario joven y muy poca presencia de procesos erosivos.

#### 7. Zonificación de amenazas naturales en “El Mortiñal”. DAPM. Abril de 1997.

Area de estudio	Escala	Variables
Asentamiento El Mortiñal, en el flanco oriental del cerro de Cristo Rey al occidente del área urbana del municipio.	1: 1000	<ul style="list-style-type: none"> <li>Formaciones geológicas superficiales</li> <li>Pendientes naturales</li> <li>Procesos erosivos e hidrológicos</li> <li>Usos del Suelo</li> </ul>

#### Definición de Categorías:

Zona de Amenaza	Descripción
<b>Muy alta</b>	No definida

<b>Alta</b>	En general, áreas localizadas sobre rellenos con pendientes mayores al 60% que se encuentren afectadas por cualquier tipo de proceso erosivo o no se encuentre afectadas.
<b>Moderada</b>	Áreas localizadas sobre rellenos con pendientes menores al 60% que estén afectados por deslizamientos y/o erosión en surcos y reptación. También en áreas sobre coluviones o rocas sedimentarias afectadas por procesos erosivos independiente de la pendiente.
<b>Baja</b>	Áreas localizadas sobre rocas sedimentarias afectadas por erosión laminar o sin afectación de procesos erosivos independiente de la pendiente.

Nota: Esta zonificación corresponde a una zonificación de la susceptibilidad. No se considera ningún factor de disparo (como precipitación) para considerarse amenaza.

*8. Zonificación de amenazas naturales y del riesgo en el sector Brisas de los Cristales y en la Ladera Occidental de la Comuna 19. DAPM. Noviembre de 1997.*

Área de estudio	Escala	Variables
Zona de la ladera de la Comuna 19 y los corregimientos de Los Andes y La Buitrera.	1: 1 000	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formaciones geológicas superficiales</li> <li>• Pendientes naturales</li> <li>• Procesos erosivos que afectan los terrenos</li> <li>• Cobertura Vegetal y uso actual de suelo</li> </ul>

**Definición de Categorías:**

Zona de amenaza	Descripción
<b>Alta</b>	Zonas ubicadas en las áreas conformadas por rocas trituradas con estructuras inclinadas en dirección de la ladera y en pendientes fuertes (superiores al 60%) afectados por deslizamientos y/o reptación. También se incluyen depósitos recientes con pendientes mayores al 25% con presencia de deslizamientos activos. Otro factor que contribuye a aumentar la amenaza es la presencia de vertimientos de aguas servidas por parte de habitantes y la existencia de bocaminas y socavones dispersos dentro de la unidad sedimentaria.
<b>Moderada</b>	Restringida a los sitios donde existen cicatrices de antiguos movimientos, al igual que los lugares que presenten erosión concentrada o estratos buzando a favor de la ladera en pendientes moderadas a suaves, todos ellos sobre rocas sedimentarias. También se agrupan en esta categoría los horizontes de meteorización de roca volcánica en laderas con pendientes moderadas.
<b>Baja</b>	Se agrupan las rocas volcánicas sanas o con horizontes de meteorización sobre

	pendientes bajas y las sedimentarias con buzamientos en contra de la pendiente con un grado bajo de fracturamiento.
--	---

Nota: Esta zonificación corresponde a zonificación de la susceptibilidad. No se considera ningún factor de disparo (como precipitación) para considerarse amenaza.

9. Zonificación de amenazas naturales e identificación de alternativas para la reducción del riesgo en la porción Nororiental de la Comuna 1 y en 7 corregimientos del municipio de Santiago de Cali. SAYA Ltda para DAPM. Tomo I y II. 1998.

Área de Estudio	Escala	Variables del Modelo
Noreste del Municipio de Cali sobre el flanco oriental de la cordillera occidental. Cabeceras de los municipios de Los Andes, Las partes de los corregimientos de Pichinde, La Leonera y Felidia por fuera del Parque Natural Farallones de Cali. La totalidad de los corregimientos de El Saladito, La Elvira, La Castilla y La Paz y la porción nororiental de la Comuna 1 (Barrio Alto Aguacatal).	1: 10 000	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pendientes naturales del terreno</li> <li>• Formaciones geológicas superficiales</li> <li>• Cobertura vegetal y uso actual del suelo</li> <li>• Fracturamiento (geología estructural)</li> <li>• Precipitación media anual</li> <li>• Precipitación máxima en 24 horas</li> </ul>

#### Definición de categoría

Zona de amenaza	Descripción
<b>Muy alta</b>	No existe para la zona de estudio. No existen sectores donde se conjuguen los factores considerados críticos o es un problema de los intervalos de clasificación.
<b>Alta</b>	En general, producto de la combinación de suelos con deficientes condiciones de estabilidad (coluviones, rellenos y perfiles PM1, PM2 y PM3), usos de gran impacto como viviendas concentradas y cultivos, y pendientes superiores al 80% independientemente de las características del fracturamiento y precipitación. También se presenta en áreas con pendientes mayores al 50% en zonas de pastos naturales.
<b>Moderada</b>	Ocurre en áreas con pendientes inferiores al 50% y de la presencia de coberturas vegetales que brindan mayor protección al suelo, como bosques. También ocurre en corredores de fallas principales, tramos de las vías y caminos y zonas de bosques intervenidos.
<b>Baja</b>	No identificada en el estudio.

10. *Actualización de la zonificación de amenazas e identificación de alternativas para la reducción del riesgo en la ladera de las comunas 2, 18 y 19 del municipio de Santiago de Cali. Informe Final. Tomo Comuna 19. Unión Temporal Incol SA y Geicol. Junio de 2003.*

Area de Estudio	Escala	Variables
<p>Comunas 2: Sector noroccidental de la ciudad de Cali, combina zona de ladera y zona plana.</p> <p>Comuna 18: sector suroccidente de la ciudad de cali.</p> <p>Comuna 19: Sector Centro Occidente de la ciudad de Cali.</p> <p>(tomos individuales por comuna)</p>	1: 5000	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formaciones geológicas superficiales</li> <li>• Pendientes naturales del terreno</li> <li>• Procesos erosivos</li> <li>• Uso actual de suelo y cobertura vegetal</li> <li>• Precipitación máxima en 24 horas</li> <li>• Precipitación media anual</li> </ul>

#### Definición de categorías

Zona de amenaza	Descripción
<b>Muy alta</b>	Áreas con pendiente superior al 50% en depósitos de laderas poco consolidados, escombreras de minas en túneles de explotaciones mineras antiguas y alta densidad de viviendas y baja cobertura vegetal en presencia de deslizamientos activos y cicatrices de antiguos movimientos.
<b>Alta</b>	Zonas donde los procesos erosivos severos no son tan evidentes pero existe un equilibrio crítico desde el punto de vista de la susceptibilidad.
<b>Moderada</b>	Agrupar áreas con pendientes superiores al 60%, los procesos erosivos han presentado poco desarrollo y en algunos casos presentan evidencias de recuperación.
<b>Baja</b>	Se caracterizan por la pendientes moderadas a bajas con erosión laminar como proceso erosivo dominante.

Nota: Aplica la metodología de Hilario López y Cía (1997).



*11. Zonificación de la amenaza por movimientos en masa en tres corregimientos occidentales del municipio de Santiago de Cali. Corporación OSSO. Agosto de 2005.*

Area de Estudio	Escala	Variables
Corregimientos de Pance, Villa Carmelo, Los Andes y La Buitrera.	1: 2000 Para cada corregimiento 1: 25 000 Escala general	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formaciones geológicas superficiales</li> <li>• Pendientes naturales del terreno</li> <li>• Procesos erosivos</li> <li>• Uso actual de suelo y cobertura vegetal</li> <li>• Precipitación máxima en 24 horas</li> <li>• Precipitación media anual</li> </ul>

**Definición de categorías**

Este estudio definió cuatro categorías para la zonificación de la amenaza: muy alta, alta, moderada y baja sin descripción.

*12. Susceptibilidad a movimientos en masa en los Cerros Orientales de Santiago de Cali. Estudio de Microzonificación sísmica de Santiago de Cali. Ingeominas. Diciembre de 2005.*

Area de Estudio	Escala	Variables
Cerros orientales de Cali.	1:20000	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pendientes naturales del terreno</li> <li>• Formaciones geológicas superficiales</li> <li>• Unidad geomorfológica</li> </ul>

**Definición de categorías**

Zona de amenaza	Descripción
<b>Muy alta</b>	Corresponde a zonas de alto grado de fracturamiento, muy meteorizadas, afectadas por procesos activos de erosión y movimientos de masa, en donde los materiales son inconsolidados de baja resistencia al corte y alta capacidad de absorción de agua.
<b>Alta</b>	Representan zonas de grandes deslizamientos antiguos que registran reactivaciones locales o deslizamientos activos de tipo local, zonas de rocas muy fracturadas.
<b>Media</b>	Zonas con procesos erosivos moderados (erosión laminar y surcos), movimientos lentos y caídas de rocas de carácter local.
<b>Baja</b>	Se localizan en esta categoría, las colinas de piedemonte con pendientes ligeramente inclinadas a moderadas.
<b>Muy baja</b>	Incluye la mayor parte de los conos aluviales, planicies y terrazas fluviales.

Nota: este estudio corresponde a una estudio de susceptibilidad, como su nombre lo indica.

### **Síntesis.**

La revisión de los estudios de zonificación de la amenaza por movimientos de masa muestra de manera preliminar cierta grado de coherencia entre ellos, si bien, los realizados previos a 1995 son en su mayoría estudios de susceptibilidad y no de amenaza. El producto final de todos los estudios, más allá de la estimación de la amenaza, es la identificación de las áreas de riesgo inminente no mitigable, riesgos mitigable y riesgo bajo con las consideraciones para la ocupación y el desarrollo de estas áreas. En síntesis, se puede afirmar que:

- **Enfoque metodológico:**

Los estudios anteriores a 1997 son en su mayoría estudios de susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos de masa y de forma general, se puede decir que los estudios responden a una aproximación heurística, con base en el conocimiento experto, aplicando técnicas relacionadas con el análisis geomorfológico. Los estudios posteriores a 2000, más cercanos conceptualmente a la definición de amenaza, se realizan a partir de la combinación cualitativa de mapas.

Las escalas de trabajo de los estudios son detalladas y varían entre 1:1000 y 1:5000, principalmente para los productos finales. Algunas variables son analizadas a escala regional.

- **Clasificación de variables constitutivas del modelo de amenaza:**

Los modelos de amenaza tienen cuatro (4) variables en común: Formaciones geológicas superficiales, Pendientes naturales, Procesos erosivos que afectan los terrenos y Cobertura Vegetal-uso actual de suelo, siendo las formaciones geológicas superficiales y las pendientes naturales del terreno tienen la mayor importancia en la estimación de la amenaza.

A las pendientes naturales del terreno mayores a 60% se les asigna la mayor incidencia en la amenaza, con la excepción que pendientes menores (mayores al 35%) en presencia de suelos inestables o áreas con procesos erosivos. Por otro lado, los coluviones tienen la mayor influencia en la ocurrencia de movimientos en masa, así como rellenos antrópicos y escombreras. Los suelos residuales producto de la meteorización de rocas volcánicas también se destacan por su influencia en el modelo de amenaza.

El uso actual del suelo y la cobertura vegetal es una variable condicionante de las propuestas de mitigación y reducción del riesgo y como una variable de deterioro de las condiciones de una ladera. Se destacan las zonas donde existe minería o se ubican explotaciones abandonadas, las cuales se clasificaron en amenaza muy alta a alta así como las áreas donde se identificaron procesos de ocupación concentrada sin control o subnormales.

Las variables que no son comunes a los estudios son: Fracturamiento (geología estructural), Precipitación media anual y Precipitación máxima en 24 horas, estas últimas son usadas como factor de disparo donde el periodo de retorno usado es variable, pero oscila entre 2 a 5 años.

Los inventarios de procesos erosivos fueron usados de dos formas en los estudios. En muchos casos como una variable del modelo de amenaza (variable de deterioro) y en otros casos, como una variable de evaluación y calibración del modelo. Para el primer caso, las áreas donde se identificaron deslizamientos activos y/o cicatrices de deslizamientos se les asignó el mayor peso en el modelo de amenaza.

- **Categorías de la amenaza**

La mayoría de los estudios identificó 4 categorías para definir la susceptibilidad, la amenaza

y/o el riesgo, estas corresponden a Muy Alta, Alta, Moderada y Baja. Estudios como el estudio de JHL de 1997 e INGEOMINAS de 2005 que incluyeron una categoría adicional.

Independientemente, del tipo de estudio (amenaza, riesgo o susceptibilidad) se encontró coherencia en la definición de la categoría, y como varios de los estudios revisados discuten, las áreas problemáticas corresponden a las de transición de una categoría a otra.

Estas se pueden resumir en la descripción de categorías del modelo de amenaza vigente en los documentos soporte del POT 2000.

– **Validación de los modelos**

Los resultados de los modelos de susceptibilidad ó amenaza fueron validados en su gran mayoría con recorridos de campo y reconocimiento experto contrastando con áreas con movimientos de masa identificados. En algunos casos, la validación se realizó inicialmente con la combinación de un inventario de movimientos en masa con el resultado de la zonificación para luego, verificar en campo, los áreas que no resultaron consistentes y de esta manera, ajustar el mapa.

### **6.3 Actualización de la amenaza por movimientos en masa para el municipio de Santiago de Cali, DAPM 2013.**

Este proyecto realizado por el DAPM en el marco de los objetivos del Plan de Desarrollo 2008 – 2011 se enfocó en una revisión y actualización del conocimiento disponible sobre la distribución de la amenaza por movimientos de masa en las comunas 1, 18, 20, en las laderas de las comunas 2 y 19 y en los corregimientos de Montebello y La Buitrera, a partir de la incorporación de información sobre intervenciones recientes sobre el territorio y la integración del modelo disponible en el POT 2000 y los estudios posteriores, priorizando las zonas clasificadas en amenaza Muy Alta y Alta. La definición de la categoría de amenaza se mantuvo respecto a la definición de categorías del POT 2000, las cuales son:

**Amenaza Muy Alta:** zonas caracterizadas por la presencia y combinación de dos o más factores críticos como pendientes superiores al cincuenta (50%) por ciento, gran actividad hídrica (aguas de escorrentía y residuales que corran por las laderas), depósitos de ladera (coluviones) poco consolidados y saturados, depósitos de escombros, suelos arcillosos profundos y procesos erosivos de gran magnitud, entre otros. Son zonas no ocupables.

**Amenaza Alta:** Son áreas en “equilibrio crítico” desde el punto de vista de estabilidad. Los factores dominantes para la generación de movimientos en masa aún no presentan niveles tan extremos como en las zonas de amenaza Muy Alta. La posibilidad de intervenir estos factores es bastante limitada. Son zonas cuya ocupación tiene grandes restricciones.

**Amenaza Media:** zonas que presentan problemas similares a las de amenaza Alta. Se diferencian en que aquí los factores de peligro no alcanzan niveles que impidan su efectiva intervención de manera relativamente sencilla y a costos aceptables. La ocupación de estas áreas requiere, de un cuidadoso control de los factores de inestabilidad.

**Amenaza Baja:** Terreno donde los factores naturales que inciden en la generación de movimientos en masa no alcanzan niveles críticos (p.e. las pendientes son inferiores al treinta y cinco (35%) por ciento y los suelos son consolidados y bien drenados). La aplicación de las prácticas normales de ingeniería

para la urbanización proporciona la seguridad requerida para ocuparlas.

#### **6.4 Criterios para validar la zonificación de movimientos de masa existentes**

La evaluación integrada de base de datos de deslizamientos en Cali, revisión de estudios previos y el conteo huellas de movimientos en masa (MM), a partir de modelos digitales del terreno realizados para este Informe Final de la Fase I, permiten concluir lo que en gran parte ya había sido expuesto en el Informe de Avance.

El conjunto de información revisada y generada datos muestra un grado de coherencia aceptable con la cartografía de categorías de amenaza y riesgo preliminares preparados por el DAPM para la revisión y ajuste, en curso, del POT con la CVC. Sin embargo, como es entendible debido a las escalas de trabajo y recursos con los que hasta ahora ha contado el Municipio para la cartografía y zonificación de amenazas y riesgos, pero también porque zonas de baja o media amenaza no excluyen que ellos ocurran, se cuenta con reportes de movimientos en masa en las categorías baja y media de la zonificación realizada, que en gran parte se explican por los procesos causales antrópicos expuestos en nuestras hipótesis 2 y 3: urbanización inadecuada e infraestructura lineal, como vías y conducciones de acueducto y alcantarillado deficientes o antitécnicas.

El avance de la urbanización en laderas, especialmente en el piedemonte urbano da cuenta de un conjunto de registros de daños asociados a MM en viviendas e infraestructura y es coherente con las áreas de amenaza muy alta y alta documentados en la cartografía del DAPM.

En La Buitrera, Montebello y Pance, también en El Saladito y La Elvira – La Castilla, las zonas de amenaza alta y muy alta coinciden con procesos de MM identificados y reportados.

En términos generales predominan los reportes en las siguientes áreas:

- Siloé y barrios aledaños como San Francisco y el sector Tierra Blanca
- La Buitrera
- Terrón Colorado, vía al mar y Aguacatal
- Los Chorros
- Montebello – Golondrinas y Altos de Menga
- Sitios de minería de carbón en La Buitrera, Los Chorros y Siloé.

Para la validación y eventual perfeccionamiento del modelo de amenazas por MM actualmente disponible durante la Fase II del estudio se proponen los siguientes criterios y procedimientos:

- a). Comparación estadística de MM históricos geo referenciados por tipo de categorías de amenaza
- b) Idem, por huellas de MM a partir de modelos digitales del terreno
- c) Inspecciones de campo, especialmente para validar o mejorar las hipótesis de aumento de los MM asociados a crecimiento de áreas urbanizadas en el piedemonte urbano y crecimiento de población/vivienda en el área rural y evaluación de MM asociados a estructuras viales e hidráulicas.
- d) Definición de escala o escalas de trabajo en función de tiempo, recursos e información disponible y

posible de levantar en campo.

El literal anterior tiene que considerar las implicaciones de los MM en términos de riesgo. Por ejemplo, un MM de 10 metros cúbicos en una zona despoblada, Vs uno similar sobre una vivienda.

## **7. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y EL RIESGO**

En la literatura es posible encontrar diferentes métodos aplicados para la estimación de la vulnerabilidad y el riesgo, hablamos de métodos que pueden ser cuantitativos y cualitativos, ambos dependiendo estrictamente del nivel de resolución de los datos en términos de la escala, variables incorporadas de entrada tanto para las variables expuestas en el territorio para definir la vulnerabilidad, como para los modelos de amenaza usados en la estimación del riesgo.

Es por eso que la evaluación de las metodologías y los criterios de selección, se basaran en el nivel y disponibilidad de los datos de entrada necesarios para realizar la evaluación.

### **7.1 Revisión de literatura sobre evaluación de vulnerabilidad y riesgo**

#### **Guideline for landslide susceptibility, hazard and risk zoning**

Autor: Australian Geomechanics Society Landslide Zoning Working Group  
Journal and News of the Australian Geomechanics Society  
Volume 42 No 1 March 2007

Aquí se presenta la guía australiana para la zonificación de la amenaza y el riesgo publicada por la Sociedad Australiana de Geomecánica.

#### **Deslizamiento**

Implica los deslizamientos ocurridos o conocidos y los potenciales, que un profesional podría predecir de manera razonable con base en la geología, la geometría y el proceso de formación del talud. Estos deslizamientos potenciales serán de diversas probabilidades de ocurrencia.

#### **Riesgo.**

Es definido como una medida de la probabilidad y la severidad de los efectos sobre la salud, la propiedad y el medio ambiente. Se puede estimar como el producto de la probabilidad y las consecuencias, o también por comparación de la probabilidad y las consecuencias, sin necesidad de hacer el producto. Hay dos definiciones específicas:

- Riesgo de pérdida de vida.  
Probabilidad anual que una persona perderá su vida en función de la amenaza, de la probabilidad espacio temporal y la vulnerabilidad de la persona.
- Riesgo de pérdida de propiedad.  
Probabilidad anual de las consecuencias o la pérdida anualizada de los elementos en riesgo, su probabilidad espacio temporal y la vulnerabilidad.

#### **Elementos en riesgo.**

Población, edificios, infraestructura, actividades económicas, instalaciones de servicio público, rasgos

del medio ambiente en el área potencialmente afectada por deslizamientos.

### **Vulnerabilidad.**

El grado de pérdida de un elemento o conjunto de elementos en el área afectada por 1 deslizamiento. Se expresa en una escala de 0 a 1.

- Para personas, será la probabilidad que una persona pierda su vida, dadas las personas que están en el área afectada por el deslizamiento.
- Para las propiedades, será el valor del daño relativo al valor de la propiedad.

### **Métodos para evaluar la probabilidad espacio-temporal**

#### **Método básico.**

Riesgo de pérdida de vida.

En áreas residenciales suponer que la probabilidad espacio-temporal es 1.0. Para otro tipo de desarrollos como fábricas y escuelas, realice una evaluación aproximada de la probabilidad espacio temporal a partir del patrón de uso de los edificios más probable. En el caso de pérdida de vidas en vías y ferrocarriles y otras situaciones, donde la población es transitoria, realice una evaluación aproximada de la probabilidad espacio-temporal de los volúmenes de tráfico y velocidades.

*Riesgo de pérdida de la propiedad.*

Para edificios la probabilidad espacio temporal es 1.0 Para vehículos, estime una probabilidad espacio-temporal aproximadas en función de los volúmenes de tráfico y las velocidades.

#### **Método intermedio.**

Riesgo de pérdida de vida.

Para todas las situaciones estime la probabilidad espacio-temporal teniendo en cuenta la naturaleza del desarrollo, patrones de horario de trabajo, existencia de sitios protegidos, tráfico e intensidad del deslizamiento.

*Riesgo de pérdida de la propiedad.*

Igual que en el caso del método básico pero en mayor detalle. Puede por ejemplo incluir la variabilidad de las trayectorias en la caída de rocas.

Método Sofisticado.

Evaluaciones con mayor detalle y criterio sobre la variabilidad espacio temporal de la probabilidad.

### **Evaluación de la vulnerabilidad.**

Generalmente es evaluada por métodos empíricos para las personas y las propiedades usando información pública disponible.

### **Preparación de los mapas de zonificación del riesgo.**

Estos mapas se preparan con base en la zonificación de la amenaza, la probabilidad espacio-temporal de los elementos en riesgo y la vulnerabilidad. La guía sugiere realizar mapas separados para la pérdida de vidas humanas y los daños a la propiedad. Deben estar a la misma escala que el mapa de amenaza y deben mostrar la topografía y la información catastral, junto a la clasificación del riesgo.

El riesgo de pérdida de vida debe expresarse como riesgo individual (probabilidad de que 1 persona

pierda su vida). Para el riesgo de pérdida de propiedad, el mapa debe mostrar pérdidas anualizadas (\$/año) pero el informe debe mostrar todas las parejas de probabilidad anual de pérdida y valor (p. ej. probabilidad anual 0.001 de perder \$ 10 millones).

Para los nuevos desarrollos se tendrá que hacer una evaluación de los elementos en riesgo que implica. El riesgo será único. En caso de haber 2 o más amenazas por deslizamiento (p. ej. caída de rocas y deslizamiento superficial) los riesgos se deben sumar, sin embargo es útil mostrar los mapas de riesgo para cada tipo de deslizamiento, y también el mapa total de riesgo.

### **Marco para la evaluación cuantitativa del riesgo. Revisión.**

*Jordi Corominas.*

*Departamento de Ingeniería Geotécnica y Geociencias.*

*Escuela de Ing. Civil de Barcelona.*





Esta metodología parte de las mismas definiciones utilizadas en la guía australiana presentada arriba. Riesgo, elementos en riesgo, vulnerabilidad y zonificación. A diferencia del trabajo de los australianos, el autor profundiza en tratamiento de la vulnerabilidad, lo que realiza a partir de una revisión de literatura.







Tres elementos diferencian la vulnerabilidad de elementos expuestos del mismo tipo:

- La incertidumbre sobre la magnitud y frecuencia esperadas.
- La vulnerabilidad depende del tipo de mecanismo de deslizamiento. (Ver siguiente Figura).
- Los daños dependen de la ubicación relativa del elemento expuesto al deslizamiento.

Para la evaluación de la vulnerabilidad tiene en cuenta la definición de Van Western et al. el 2005. Dice que la resistencia de una edificación puede ser suficientemente alta para resistir el impacto de rocas, pero puede no ser suficiente para evitar el desarrollo de grietas por tensión debido a los desplazamientos diferenciales producidos por los deslizamientos traslacionales.

### **Vulnerabilidad diferencial frente a los deslizamientos**

<b>Tipo de deslizamiento</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>
Impacto de mas de roca grande		
Impacto de bloques		

Impacto de una masa de deslizamiento		
Pérdida de la capacidad de soporte por		
Asentamiento diferencial por movimientos lentos		

Tomado de Wan Westen y otros 2006

Para la evaluación de la vulnerabilidad el autor sugiere el uso de la metodología de Dai et al (2002). Esta plantea partir de un análisis cruzado de las características de las edificaciones y las características del deslizamiento. Como se muestra en la siguiente tabla.

### Características de las edificaciones y del deslizamiento

		Edificaciones en riesgo			
		S	L	M	H
Características del deslizamiento	T				
	M				
	S		Vulnerabilidad		
	V				
	R				

T – Tipo de falla

M – Mecanismo de falla

S – Escala

V – Velocidad

S – Runout distancia

S – Casa

L – Edificación de poca altura

M – Edificio de varios pisos

H – Edificio alto

Tomado de Dai *et al* 2002

El valor de la vulnerabilidad se toma con evaluaciones empíricas como se muestra en la siguiente tabla.



En la cual se comparan el tamaño del deslizamiento y la distancia de la edificación al deslizamiento. Para todas las combinaciones se establecen los porcentaje de daños (de 0 a 1).

### **Determinación de la vulnerabilidad**

Vulnerabilidad		Distancia al deslizamiento (m)			Naturaleza			...
		< 10	10 – 50	> 50				
Escala M3	< 1000	0,3	0,2	0,1				
	1000 – 10000	0,4	0,3	0,2				
	10000 – 100000	0,6	0,5	0,4				
	> 100000	1	0,9	0,8				

Tomado de Dai *et al* 2002

### **Amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundaciones en el Valle de Aburrá. Formulación de Propuestas de gestión del riesgo.**

Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. 2007.

Municipio de Medellín, Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Municipio de Envigado, Corantioquia.

El proceso metodológico realizado en este proyecto requiere la evaluación de cuatro tipos de vulnerabilidad en cuanto a su dimensión: física, social, económica y cultural (la descripción de las variables requeridas para definir cada vulnerabilidad en relación a indicadores y la escala se muestra en el Anexo 6). Como resultado de los cruces, se clasifican en rangos para definir cualitativamente la vulnerabilidad en clases : bajo, medio bajo, medio, medio alto y alto. Esta evaluación es completa, pues incorpora además de elementos físicos, los elementos sociales y culturales lo que permite un diagnóstico mucho más detallado de las condiciones de vulnerabilidad.

### **Estimación del riesgo.**

El objetivo final de la estimación del riesgo es identificar las zonas con mayores condiciones de riesgo y definir las zonas prioritarias donde se requiere evaluación detallada de la vulnerabilidad, todo con el fin de obtener elementos más elementos para la gestión de los riesgos. El interés también está en hacer una reflexión entre los resultados, zonas con condiciones de riesgos, y las categorías vigentes de riesgo recuperable y riesgo no recuperable. La evaluación busca identificar las zonas de riesgo con mayores restricciones para la urbanización y aquellas zonas que presentan mayor fragilidad.

### **Cruce entre amenaza y vulnerabilidad**

Para el cálculo del riesgo, se realiza un análisis cualitativo cruzado de los resultados de la evaluación de la vulnerabilidad con las amenazas evaluadas.

La metodología aplicada realiza el cruce de la zonificación de la amenaza (con las restricciones propias de cada zona) con los tipos de vulnerabilidad. Esto dio como resultado cinco categorías de riesgo

desde R1, las menos crítica, hasta R5, las mas crítica. Al hacer el cruce fueron tenidas en cuentas las particularidades de cada amenaza en relación con cada una de las categorías de vulnerabilidad. La aplicación de esta metodología se facilita para los movimientos en masa, ya que el mapa de amenaza tenía una gradación de la probabilidad de ocurrencia y las restricciones al uso están definidas para todos los casos. Se da una especial importancia a la vivienda. En la tabla siguiente se presenta el cruce entre la amenaza y la vulnerabilidad.

## **7.2 Selección de metodología**

De acuerdo a la evaluación de la información suministrada por IDESC y DAPM y el conocimiento que se tiene de la existencia de otras variables socio-económicas, culturales, y también del enfoque de gestión de riesgo necesario para cumplir con los lineamientos de la normatividad vigente en lo relacionado con la ley 1523 de 2012, se decidió que la metodología debe ser cuantitativa y que abarque no solo el componente físico y funcional de los elementos expuestos sino que además involucre el componente social de la población.

Con base en estos criterios y la revisión de la literatura se propone que para realizar la evaluación de vulnerabilidad y riesgos por movimientos en masa para el municipio de Cali, se aplique la metodología desarrollada por la Universidad Nacional de Colombia para evaluar la **Amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundaciones en el Valle de Aburrá**.

## **8. BIBLIOGRAFÍA**

AGS (2007). Guideline for Landslide Susceptibility, Hazard and Risk Zoning for Land Use Management. Australian Geomechanics Society, Australian Geomechanics, Vol 42, No1.

Aguilar, V. y Mendoza D. (2002). Aproximación a un modelo de susceptibilidad a movimientos de masa en el Eje Cafetero, Colombia. Tesis de grado para optar al título de Ingeniería Topográfica. Universidad del Valle, Cali.

Cruden, D.M., & Varnes, D.J. (1996), "Landslide Types and Processes", Ch.3 in "Landslides. Investigation and Mitigation", Eds Turner, A.K. and Schuster, R.L. Special Report 247, Transport Research Board, National Research Council, Washington D.C. Extracts reprinted above by kind permission of the authors and publishers. Copies of the publication can be obtained from "Transport Research Board, National Research Council, 2101 Constitution Avenue, N.W., Washington D.C. 20418, USA.

Dai, F.C, Lee, C.F., Ngai, Y. Y. (2002). Landslide risk assessment and management: an overview. In: Engineering Geology 64:65 – 87p.

Medina, J. (1991). Fenómenos Geodinámicos. Estudio y Medidas de Tratamiento. Tecnología Intermedia ITGD. Perú, 87 p.

Millan N, J.A. (1998). Procedimiento para la Evaluación de la Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa en Santa Fe de Bogotá – Colombia. Bogotá: INGEOCIM.

Mora , C. S. y Vahrson, W. G. (1993). Determinación a Priori de la Amenaza de Deslizamientos Utilizando Indicadores Morfodinámicos. Rev. Tecnología ICE, Vol.3, No.1, 32 – 42 p.

Soeters, R. and Van Westen, C. J. Slope Instability Recognition, Analysis and Zonation. (1996). In: Landslides: Investigation and Mitigation. Transportation Research Board Special Report 247.

Suarez, J. (1998). Deslizamientos y Estabilidad de Laderas en Zonas Tropicales. Bucaramanga: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, Ingeniería de Suelos Ltda..

Schuster, R.L., (1996). Socioeconomic significance of landslides. In: Turner, A.K., Schuster, R.L. (Eds.), Landslides: Investigation and Mitigation, Special Report 247, Transportation Research Board, National Research Council. National Academy Press, Washington, DC, pp. 12 – 35.

Vargas, C.G. (1999). Guía Técnica para la Zonificación de la Susceptibilidad y la Amenaza por Movimientos de Masa. Cooperación Colombo - Alemana. Proyecto Río Guatiquía PRG. Villavicencio, 197 p.

Varnes, D.J. (1978). Slope Movement Types and Processes. In Special Report 176: Landslides: Analysis and Control (R.L. Schuster and R.J. Krizek, eds.), TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.11-33.

Villota, H. (1991). Geomorfología Aplicada a Levantamientos Edafológicos y Zonificación Física de las Tierras. IGAC, Bogotá.

Dejamelas aquí... yo al final organizo alfabeticamente mis referencias y verifico que las tenga todas.

ERM-Hong Kong, Ltd (1998). GEO Report No. 75. Landslides and Boulder Falls from Natural Terrain: Interim Risk Guidelines. Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering and Development Department, 183 p.

GEO (2003). Geoguide 5. Guide to Slope Maintenance (3rd Edition). Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department, 132p.

Ng, K.C., Parry, S., King, J.P, Franks, C.A.M. and Shaw R. (2003). GEO Report No. 138. Guidelines for Natural Terrain Hazard Studies. Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department, 138 p.

DAPM, 2013 Documento de Revisión y Ajuste del Plan de Ordenamiento Territorial. Versión agosto 2013.

Cascini, L., Bonnard, C., Corominas, J., Jibson, R., Montero-Olarte, J., 2005, Landslide hazard and risk zoning for urban planning and development, in Hungr, O., Fell, R., Couture, R., and Eberhardt, E.

(editors), Landslide Risk Management, Proceedings of the International Conference on Landslide Risk Management, Vancouver, Canada. A.A. Balkema Publishers, London, p. 199-235

Brand, E.W. 1988. Special Lecture: Landslide risk assessment in Honk Kong. *Proc. V Int. Symp. on Landslides, Lausanne*, Vol.2: 1059-1074

Lateltin O, Haemmig, C; Raetzo, H. y C. Bonnard (2005) Landslide risk management in Switzerland. *Landslides* (2005) 2: 313–320

Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. (2007). Amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundaciones en el Valle de Aburrá. Formulación de Propuestas de gestión del riesgo. Libro III. Vulnerabilidad y riesgo. 281 pp. Convenio U. Nacional – Municipio de Medellín.