



**CONTRATO INTERADMINISTRATIVO CVC-UNIVALLE 188 DE 2008**

**ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS Y ESCENARIOS DE RIESGO POR  
MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIONES Y CRECIENTES  
TORRENCIALES DEL ÁREA URBANA Y DE EXPANSIÓN DE LOS  
MUNICIPIOS DE BUGA, RIOFRÍO, DAGUA, EL CAIRO Y LA  
UNIÓN**

**RESUMEN GENERAL**

**MUNICIPIO DE EL CAIRO**

**Santiago de Cali, Septiembre de 2010**

## TABLA DE CONTENIDO

<i>PRESENTACIÓN</i>	3
<i>1. ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO</i>	4
1.1. INTRODUCCIÓN	4
1.2. OBJETIVOS	5
1.3. IMPORTANCIA	6
<i>2. ORGANIZACIÓN Y GRUPOS DE TRABAJO</i>	8
<i>3. DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</i>	10
<i>4. ESTUDIOS REALIZADOS</i>	12
4.1 HISTORICIDAD	12
4.2. TOPOGRAFÍA	13
4.3. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y CARTOGRAFÍA	14
4.4 GEOLOGÍA	17
4.5 GEOFÍSICA	18
4.6 HIDROLOGÍA	19
<i>5. AMENAZAS POR REMOCIÓN EN MASA</i>	20
5.1 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO Y ENSAYOS DE LABORATORIO	21
5.3. EVALUACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA	23
<i>6. VULNERABILIDAD Y ESCENARIOS DE AFECTACIÓN</i>	33
<i>7. SOCIALIZACIÓN</i>	38
<i>8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>	41
8.1 CONCLUSIONES	41
8.2 RECOMENDACIONES	43
AGRADECIMIENTOS	46

## **PRESENTACIÓN**

Es de gran satisfacción para la Universidad del Valle representada por el Observatorio Sismológico y Geofísico del Sur Occidente Colombiano, presentar este documento que resume de manera global el conjunto de actividades y resultados obtenidos en la realización de los estudios de consultoría del proyecto de “Zonificación de Amenazas y Escenarios de Riesgo por Movimientos en Masa, Inundaciones y Crecientes Torrenciales del Área Urbana y de Expansión de los Municipios de Buga, Riofrío, Dagua, El Cairo y La Unión”. Correspondiente al contrato interadministrativo CVC – UNIVALLE No.188 de 2008.

El estudio se constituye en un valioso e importante instrumento para el desarrollo de procesos orientados a la planeación del territorio y en lo concreto a los planes que deben seguir las municipalidades para la gestión del riesgo. En los diferentes estudios que lo componen se destacan aspectos históricos, topográficos, cartográficos, geológicos, geofísicos, geotécnicos, geomorfológicos, hidrológicos, e hidráulicos, necesarios para determinar el diagnóstico del estado en que se encuentra el territorio y efectuar los análisis de amenazas, vulnerabilidad y afectación, cuyos resultados permiten establecer lineamientos preliminares para la elaboración de los Planes de Emergencias y Contingencias de los Municipios, y por supuesto actualizar los Planes de Ordenamiento Territorial, según lo ordenan las leyes colombianas.

Este fue ejecutado por el Observatorio Sismológico y Geofísico del Sur Occidente Colombiano de la Universidad del Valle con la gestión y financiación de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC y la supervisión técnica de la firma Hidro – Occidente.

El resumen que presentamos a continuación corresponde específicamente a las actividades y resultados obtenidos durante la ejecución del proyecto en el Municipio de El Cairo.

## **1. ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO**

### **1.1. INTRODUCCIÓN**

La falta o el inadecuado nivel de conocimiento de las amenazas y riesgos en los municipios del Valle del Cauca y por supuesto, la ausencia de soporte para proyectar su ordenamiento territorial, llevó a que la CVC incluyera en el Plan de Acción Trienal 2007-2009 un proyecto en este sentido, es decir la realización de la zonificación de amenazas y escenarios de riesgo direccionada hacia los centros o cabeceras municipales que es donde se focalizan las mayores vulnerabilidades y situaciones de desastre o afectación.

De esta manera, se ha priorizado la acción de la CVC hacia las áreas urbanas de las cabeceras municipales, que han presentado estadísticamente mayor número de desastres, y sobre las cuales el estado del conocimiento es nulo o bastante deficiente.

Las cabeceras de Buga, Riofrío, Dagua, El Cairo y La Unión han sido incluidas en el presente proyecto, con el fin de que mancomunadamente con sus administraciones municipales, y bajo la ejecución del Observatorio Sismológico y Geofísico de la Universidad del Valle, entidad de carácter científico y con experiencia en este tipo de estudios, se obtengan las herramientas de juicio necesarias para la planificación del territorio.

Por tanto, el presente resumen incluye de manera global las diferentes actividades y resultados del proyecto correspondientes al periodo de ejecución de procesos en el Municipio de El Cairo.



## 1.2. OBJETIVOS

### General

- Realizar estudio de zonificación de amenazas y escenarios de riesgo por movimientos en masa, inundaciones y crecientes torrenciales del área urbana y de expansión de los municipios de Buga, Riofrío, Dagua, El Cairo y La Unión pertenecientes al Departamento del Valle del Cauca.

### Específicos

- Recolectar y clasificar la información existente en cada municipio para la realización del estudio de zonificación de amenazas por movimientos en masa, inundación y avenidas torrenciales.
- Realizar el levantamiento cartográfico detallado de cada municipio bajo estudio.
- Preparar la información cartográfica y geográfica de cada uno de los cinco municipios de estudio conforme las políticas y estándares que tiene establecida la CVC para garantizar que la información generada en el estudio pueda ser incorporada al SIG de la CVC.
- Realizar la evaluación y modelamiento de la susceptibilidad a movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales.
- Elaborar mapas de amenaza a movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales en los municipios señalados, considerando las lluvias y los sismos como factores detonantes.
- Realizar estudio de zonificación de escenarios de afectación o daño (riesgo) por movimientos en masa, inundación y crecientes torrenciales para las cabeceras municipales de Buga, Riofrío, Dagua, El Cairo y La Unión.
- Determinar los modos y niveles de afectación y daño de los elementos expuestos en las zonas de amenaza alta y media de los municipios considerados.
- Formular de manera general algunos lineamientos y esquemas particulares para elaborar los planes de prevención y atención de desastres y de contingencia y emergencia para cada municipio a partir de los resultados de los estudios de amenaza y escenarios de afectación o daño.
- Socializar los resultados del estudio en cada municipio considerado
- Elaborar informes parciales y final del estudio.

### 1.3. IMPORTANCIA

Colombia por su relieve, topografía y características geográficas, geológicas, climáticas e hidrológicas, es un país expuesto a la ocurrencia e impacto de fenómenos naturales que actúan asociados con severos procesos de erosión causantes de movimientos en masa.

En la misma dinámica, el territorio nacional es afectado por agudos procesos invernales que asociados con diversos factores sociales y ambientales son la causa de inundaciones y avenidas torrenciales que dejan cada año cuantiosas pérdidas. Lo anterior, sumado a la compleja situación de vulnerabilidad en la que permanece gran parte de la población colombiana constituye verdaderos escenarios de afectación en grandes ciudades, ello es la razón fundamental para que en Colombia existan preocupantes escenarios de potenciales desastres, situación que en el pasado ha dejado rastros de caos y atraso en el desarrollo de las ciudades y los municipios afectados.

El presente estudio es de gran trascendencia para el futuro y la sostenibilidad de los municipios, porque por una parte proporciona la información y la visión actualizada del estado en que se encuentran los cinco municipios y por otra parte, implementa una serie de técnicas, modelos y metodologías de última generación en la recolección de información y en la sistematización de la misma, con las cuales se pudieron establecer con alto grado de aproximación las amenazas, la susceptibilidad, la vulnerabilidad y los posibles escenarios de riesgo en que se encuentra la población y las estructuras, ello constituye material suficiente y válido para que a partir de los estudios, los municipios elaboren o actualicen los Planes de Ordenamiento Territorial (POT), los Planes de Desarrollo Sectorial (PDS), los Planes de Gestión del Riesgo y los Planes de Emergencias y Contingencias (PLEC) como instrumentos de planificación esencial en el corto y mediano plazo para la toma de decisiones sobre el futuro económico y social de los municipios, el departamento y la nación.

La información que aporta cada uno de los diferentes estudios que integran este proyecto constituye fuente obligada y permanente de consulta por parte de las autoridades municipales, los organismos directamente comprometidos con la prevención y atención de desastres y la comunidad en general, ya que en ella podrán encontrar fuentes serias, actualizadas y detalladas que les ayudarán en la solución de temas cruciales como la gestión del riesgos, la participación pública, privada y

comunitaria en el desarrollo de los planes de emergencias y contingencias y por supuesto, el fortalecimiento de las capacidades de la comunidad en general.

Finalmente se puede decir, con mucha responsabilidad y orgullo que el estudio realizado por la Universidad del Valle, constituye un aporte muy significativo en cuanto a las metodologías planteadas y aplicadas para la determinación de amenazas, vulnerabilidad y afectación, ya que son el resultado de la labor investigativa y de consultoría realizada por un grupo muy calificado de expertos que se constituye en una guía y referencia típica de cómo proceder para enfrentar este tipo de problemáticas y que puede servir de parámetro para realizar estudios similares en otros municipios y regiones del país.

## 2. ORGANIZACIÓN Y GRUPOS DE TRABAJO

Durante el desarrollo del presente estudio se contó con la participación de un importante grupo de investigadores, expertos en las diferentes temáticas que integran el estudio, quienes aportaron su experiencia y dedicación en el desarrollo de las diferentes actividades, tal como aparece a continuación:

### Participantes:

#### Entidad Gestora y Financiadora

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC

Directora: María Jazmín Osorio Sánchez

Director Técnico Ambiental: Julián Gerardo Benítez Sepúlveda

Supervisores de Interventoría:

- Harbey Millán
- Olga Patricia Villa

#### Entidad Ejecutora:

Universidad del Valle – Observatorio Sismológico y Geofísico

Rector: Iván Enrique Ramos Calderón

Director Observatorio: Elkin Salcedo Hurtado

#### Administración del proyecto

Director: Elkin Salcedo Hurtado

Coordinador Técnico: Jaime Rojas Muñoz

Asistente Administrativo: Karina Castillo

Auxiliar administrativo: Yenifer Quiñonez

### Grupos Temáticos

Sistemas de Información Geográficos:

- Edda Cifuentes
- Jiber Antonio Quintero Salazar
- Viviana Barrero Varela

Historicidad

- Luz Ángela Mazuera
- Nathaly de los Ángeles Mazo

Hidrología

- Henry Jiménez
- Fabián Barroso
- Juan Pablo Urrego
- Victoria Solarte
- Jhonny Humberto Garcés
- Tulio Enrique Bonilla
- Simón Andrés Giraldo

Geotecnia

- C. I. Ambiental Ltda.
- Lorena Beltrán
- Natalia Peña Galvis

Geología y Geofísica

- Gabriel Paris
- Magnolia Aponte Reyes
- William Vargas

- Daniel Ramírez

#### Topografía y Cartografía

- Jhon Jairo Barona
- Héctor Fabio Fernández
- Jazmín Alicia Buitrago Peña
- José Julián Castrillon Villada
- José Ricardo Castro Borja
- Julián Andrés Escobar

#### Vulnerabilidad y Escenarios de Afectación

- Olga Lucia Baquero
- Andrés Felipe Torres Cruz
- Jorge Andrés Vélez Correa
- Nathaly de los Ángeles Mazo
- Carolina Mosquera Antury

#### Socialización

- Jorge Andrés Vélez Correa
- Johan Mauricio Garzón Rojas

#### **Supervisión Técnica**

##### Hidroccidente

Gerente: Carlos Madriñan

Director Supervisor: Hernán Lara

Profesional: Giradu Cifuentes

Experto: Samuel Almeida

### 3. DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El municipio de El Cairo se encuentra localizado en la Cordillera Occidental, al NW del departamento del Valle del Cauca, cuyo acceso se efectúa a través de la vía pavimentada que de la población de Ansermanuevo, conduce hacia Albán y finalmente al Cairo. La cabecera Municipal se encuentra ubicada al norte del departamento del Valle del Cauca entre las siguientes coordenadas: 04° 46' 00" latitud norte y 76° 13' 30" longitud oeste.

Limita al norte con el municipio de El Águila, al occidente con el departamento del Chocó, al sur con el municipio de Versalles y al oriente con los municipios de Argelia y Ansermanuevo. A la fecha posee una población aproximada de 8763 habitantes en un área de 283 kms<sup>2</sup>, repartidos en población urbana: 2.912 (31% del total del municipio) y población rural: 6.444 habitantes (69%).

Se encuentra a una altura de 1850 msnm, con temperatura promedio de 18° C. Presenta dos ríos importantes que no cruzan el casco urbano que son: Las Vueltas y Bonito. Su atractivo turístico es el Bosque natural Las Amarillas, en la serranía de los Paraguas. La actividad económica del municipio de El Cairo es muy diversa, sobresaliendo el agroturismo, el ecoturismo, la ganadería y el cultivo de productos como: café, plátano, frijol, hortalizas y frutales, entre otros. (Figura 1)

El Cairo se encuentra ubicado sobre una meseta asociada a un remanente erosivo de la gran zona de la cordillera Occidental que se vio influenciada por el proceso de peniplanación. La geología de El Cairo corresponde a las rocas de la formación Cisneros que infrayacen la cabecera municipal y sus alrededores. Sus principales unidades superficiales corresponden a afloramientos de roca ligeramente meteorizada a muy meteorizada y a suelos residuales; respecto a los afloramientos, se puede decir que son escasos y por lo común predominan a lo largo de los taludes de las carreteras de acceso al municipio, además, los suelos residuales limo-arcillosos, cubren casi la totalidad de la zona comprendida por el presente estudio.

El sistema estructural en el área de estudio corresponde al sistema de fallas de dirección N a N20°E. Dicho sistema comprende la falla de Cali-Patía. Un segundo sistema notable en la región, corresponde a las fallas transversales que tienen una dirección que varía entre N40°-50°W, hacia la región de El Cairo, dichas fallas transversales tienen unos 60° a 70° de dirección al NW. Un rasgo estructural notable es la falla de Garrapatas, transversal al sistema NNE, situada al sur, cuyas fallas satélites se extienden hacia la región de El Cairo.

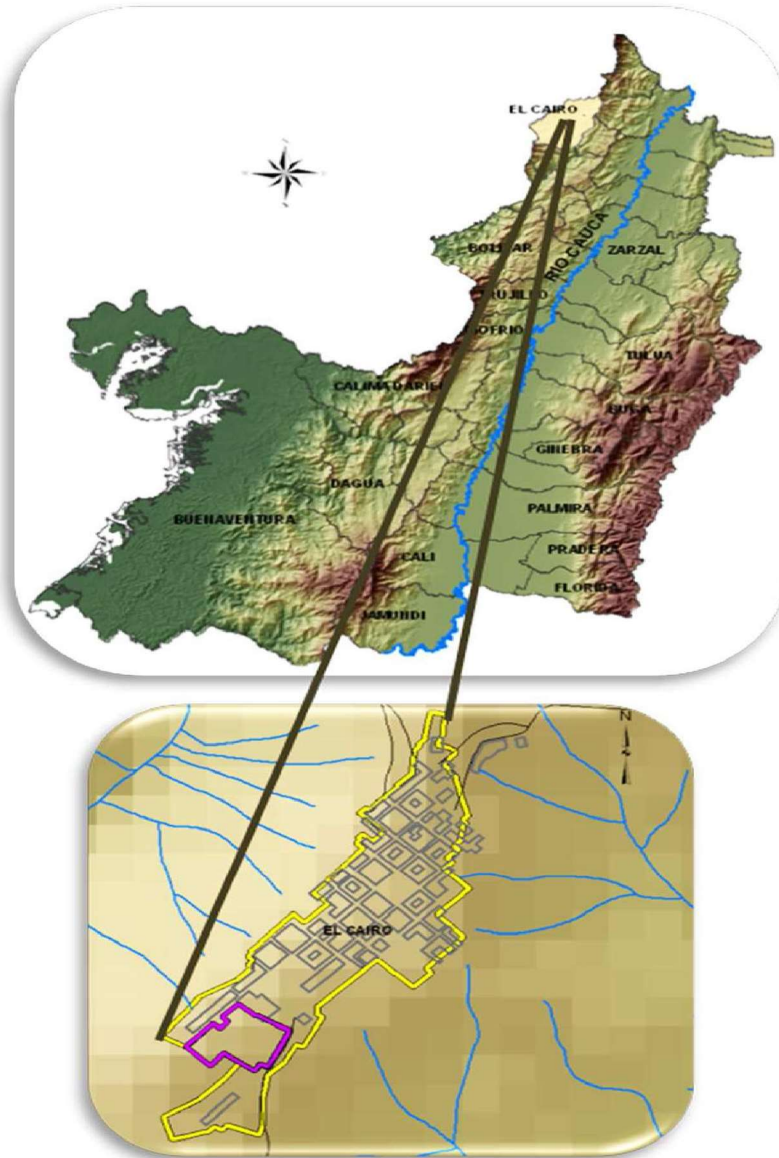


Figura 1. Localización Municipio de El Cairo

## **4. ESTUDIOS REALIZADOS**

### **4.1 HISTORICIDAD**

Tuvo como objetivo recolectar y relacionar la historicidad de todo tipo de eventos naturales ocurridos en épocas pasadas en la cabecera municipal de El Cairo, mediante la consulta e investigación de información existente en diversas fuentes como: periódicos, documentos del CLOPAD del municipio, informes de instituciones tales como la CVC y el Cuerpo de Bomberos Voluntarios, como también el recorrido y visita por la zona de estudio. El estudio se encaminó a evidenciar los factores de ocurrencia de los eventos, su frecuencia y sus consecuencias. El grupo realizó un registro histórico de los eventos acaecidos en las dos últimas décadas.

Para efectos de la sistematización de la información y registros encontrados y las fuentes bibliográficas históricas correspondientes, se elaboraron unas fichas para su organización archivística y fueron complementadas y analizadas al contrastarse con otras fuentes, tales como: los testimonios, las actas y los oficios del CLOPAD y los documentos y las fotografías de Corposerraniagua.

Los principales resultados del estudio de historicidad incorporan el inventario de eventos ocurridos durante los últimos 30 años, asociados especialmente con fenómenos de remoción en masa, específicamente 20 eventos de deslizamiento reportados con un saldo de una persona muerta y 6.200 damnificados en el periodo seleccionado. Lo anterior permitió elaborar el mapa de eventos históricos correspondientes a deslizamientos en la zona rural y sectores aledaños al casco urbano. Se destacan de manera especial la cárcava de Tejares, como escenario crítico de deslizamientos y el taponamiento de vías de acceso durante los periodos de invierno.



## 4.2. TOPOGRAFÍA

Los puntos de control fotogramétrico proporcionan una referencia de coordenadas del marco geográfico del área cubierta por las fotografías. La adecuada distribución de estos puntos sobre las fotografías permite que en el proceso de aerotriangulación se establezcan relaciones fuertes en una red consistente de triángulos, arrojando como resultado modelos fotogramétricos correctamente ajustados y por ende la información que se extraiga de estos conserva alta precisión y mínima distorsión en toda el área útil de las fotografías.

En el municipio de El Cairo se seleccionaron 11 puntos de control que dan cobertura a la totalidad de la zona útil de restitución. Estos puntos se identificaron en el terreno y se posicionaron por periodos acordes con la precisión del trabajo que oscilan entre 1 y 3 horas de observación; el acceso hasta los mismos se efectuó en campero en las zonas con carretables transitables y a caballo en las zonas de mayor dificultad. Los resultados obtenidos en los levantamientos se montaron sobre el Ortofotomosaico con el fin de verificar su coherencia con el sistema de coordenadas de la restitución, dado que estos levantamientos se utilizaron para complementar y densificar la información restituida.

### **Levantamiento Topográfico**

Los levantamientos topográficos realizados en el municipio de El Cairo, se hicieron con equipos de alta precisión, se presentan en un solo plano con la identificación de las zonas donde se llevaron a cabo los levantamientos y los resultados de estos. La zona de la cárcava tejares se presenta en otro plano.

Los resultados obtenidos en los levantamientos se montaron sobre el Ortofotomosaico con el fin de verificar su coherencia con el sistema de coordenadas de la restitución, dado que estos levantamientos se utilizaron para complementar y densificar la información restituida (Figura 2).



Figura 2. Superposición de los levantamientos topográficos en el ortofotomosaico

#### **4.3. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y CARTOGRAFÍA**

La información cartográfica recopilada y disponible en formato digital es la correspondiente al Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio y la suministrada por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC-. Esta información contribuyó a la creación del mapa cartográfico base usado por los diferentes grupos temáticos del proyecto para el levantamiento de su información.

Los productos cartográficos desarrollados obedecen a las políticas y estándares establecidos tanto a nivel nacional por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, como por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC.

La cartografía generada durante el tiempo de ejecución del estudio corresponde al uso del suelo urbano y cobertura de la zona de estudio, historicidad, procesos morfodinámicos, geológico, unidades superficiales, isoyetas mensuales multianuales, puntos de infiltración, muestreos geotécnicos, líneas geofísicas, levantamientos topográficos, modelo digital de elevación y límites de manzanas, esta se constituye en la principal fuente de resultados en los diferentes estudios

realizados en el proyecto. A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de los mapas y procesos correspondientes al trabajo de SIG y cartografía.

### **Mapa Básico**

El mapa básico de la zona urbana y de expansión del municipio de El Cairo se presenta en escala de impresión 1:2500, y se realizó a partir de la información cartográfica a escala 1:2000, producto de restitución fotogramétrica de las fotografías aéreas disponibles y más recientes adquiridas en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi a escala 1:10200 correspondientes a las 256, 257, 258 y 259 de la línea de vuelo C-2732 F-1 del año 2004, escaneadas a una resolución de 15 micrones.

### **Mapa Geológico Integrado**

Se elaboró el mapa geológico integrado con las unidades superficiales, procesos morfodinámicos, estructuras geológicas y geomorfología, a partir del trabajo de campo del grupo de Geología, la representación geométrica de estas temáticas se hizo a partir de la esquematización realizada por el grupo sobre cartografía a escala 1:2.500.

En la temática de Geología, se tuvo en cuenta la unidad geológica correspondiente a la plancha 223 de Ingeominas a escala 1:100.000, la cual corresponde a un sólo polígono envolvente de la zona de estudio y unas unidades esquematizadas por el grupo de Geología al igual que la falla presente en la zona.

Este mapa es realizado en el sistema de referencia MAGNA sobre la base cartográfica a escala 1:2.000, y está impreso a escala 1:2.500.

### **Mapa de Uso de Suelo Urbano y Cobertura**

Este mapa es el producto del trabajo de campo del grupo de Hidrología, el cual tomó como base el mapa de uso de suelo urbano del EOT, actualizando los usos sobre cartografía base a escala 1:5.000, para la zona urbana y de expansión del municipio. Para la definición de cobertura de suelo de las zonas adyacentes a la zona urbana y de expansión, se realizó una identificación previa sobre la ortofoto, digitalizando los polígonos correspondientes a diferentes coberturas, las cuales fueron corroboradas y actualizadas en campo por el grupo de hidrología, con lo cual se creó esta capa de información y se integró a la de uso de suelo urbano.

Este mapa es realizado en el sistema de referencia MAGNA sobre la base cartográfica a escala 1:2.000, y está impreso a escala 1:2.500.

### **Mapa de Pendientes**

A partir de las curvas de nivel de las planchas 1:5000, se generó el modelo digital de elevación para la zona de estudio, que se tomó como insumo para la generación de un mapa raster de pendientes en porcentaje clasificado teniendo en cuenta los parámetros definidos por CVC para esta temática. Para el análisis geológico fue necesaria la clasificación de este tema en pendientes superiores a 30 grados. Estos dos mapas de pendientes se utilizaron en el análisis preliminar del grupo de Geología.

### **Mapa de Isoyetas Mensuales Multianuales y Mapa de Precipitaciones Máximas con periodos de 24, 48 y 72 horas.**

Para la generación de estas Isoyetas, el grupo de Hidrología recopiló la información necesaria de las estaciones, las cuales se encontraban en coordenadas geográficas, y fue necesario hacer la conversión a coordenadas planas, tomando como Dátum de coordenadas geográficas el de Bogotá y origen de proyección el Oeste.

Con la información compilada, el grupo de hidrología generó las isoyetas mensuales, anual e isolíneas con valores de precipitación máxima de periodos de 24, 48 y 72 horas cada uno con tasas de retorno de 10, 30 y 100 años en el sistema de referencia con dátum Bogotá, por tanto se procedió a realizar la conversión a coordenadas geográficas y la transformación a dátum Magna para la conversión a coordenadas planas Gauss Kruger con origen de proyección oeste. Esta información fue generada como geometría de tipo línea y fue necesario generar entidades con geometría de tipo polígono para representar regiones con promedio de precipitación entre isolíneas.

Los mapas de isoyetas mensuales y anual se realizaron sobre la base cartográfica de la CVC a escala 1:25000 a nivel de la cuenca de Garrapatas, previamente migrada al dátum Magna, e impresos a escala 1:100000. Los mapas de precipitaciones máximas de 24, 48 y 72 horas se presentan con las tasas de retorno de 10, 30 y 100 años en tamaño 42x50 cm a escala 1:12500, en el sistema de referencia Magna.

## **Ortofotomapa**

En el procesamiento de las fotografías aéreas adquiridas en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, se realizó el proceso de ortocorrección para eliminar los errores propios de la geometría de las imágenes, generando una ortofotografía en la cual se integró la información generada correspondiente a vías, red hídrica, manzanas y toponimia conformando de esta manera el ortofotomapa.

## **Modelo Digital de Elevación**

El modelo digital de elevación (MDE) es producto de la integración de las curvas de nivel generadas en el proceso de restitución fotogramétrica y los levantamientos topográficos realizados en el Municipio, éste MDE es utilizado como insumo para el grupo de geotecnia para los respectivos análisis para la determinación de la amenaza por fenómenos de movimientos en masa. El MDE es generado con resolución de 5 metros.

## **4.4 GEOLOGÍA**

El objetivo del grupo fue cartografiar a escala 1:2.000, las unidades litoestratigráficas, estructuras geológicas, suelos, formaciones superficiales y rasgos morfodinámicos del área del municipio, lo anterior con la intención de identificar los fenómenos de remoción en masa que afectan y han afectado la zona de estudio y las zonas donde pueden ocurrir nuevos eventos.

El estudio se inicio con la recolección y consulta de información bibliográfica geológica y de eventos naturales relacionados con fenómenos de remoción en masa ocurridos en el municipio de El Cairo, la existente en la CVC, el Ingeominas, en el Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio y también en empresas particulares y centros académicos; la metodología consistió también en el resumen de la información encontrada más relevante y el desarrollo de un detallado trabajo de campo, para lo cual se realizaron una serie de recorridos por toda el área del proyecto y así se pudo verificar directamente la información y la fotointerpretación preliminar realizada al municipio.

La cárcava Tejares se trabajo con cierto nivel de detalle para constatar el estado de la misma y se dejaron una serie de recomendaciones para prevenir su dinámica de movimientos. En diálogo con CVC y la interventoría del proyecto se recalco no hacer los estudios en detalle porque esta cárcava

ya ha sido objeto de muchos estudios y porque la magnitud de la misma implica unas inversiones económicas demasiado altas

Como conclusiones se resalta que el área de estudio presenta afloramientos muy escasos de la Formación Cisneros, que la tectónica es evidente sólo en los alrededores lejanos y los suelos residuales dominan gran parte de la cabecera municipal, los deslizamientos rotacionales son antiguos ya estabilizados y dominan la ladera oriental.

#### **4.5 GEOFÍSICA**

Tuvo como objetivo una exploración con métodos indirectos del casco urbano y de la cárcava Tejares (ensayos de refracción sísmica), con el fin de determinar la continuidad litoestratigráfica del sector, en las zonas de expansión previstas por el Municipio en el EOT, de acuerdo a los ajustes realizados. Se ejecutaron un total de 17 líneas de refracción sísmica, con una profundidad de exploración geofísica a 15 metros.

La metodología utilizada corresponde a recolección de información, levantamiento geológico detallado, toma en campo de los respectivos ensayos geofísicos (líneas de refracción sísmica), interpretación de los sismogramas obtenidos, cálculo de las velocidades y profundidades de los diferentes horizontes explorados, correlación geológica y geofísica.

Como conclusiones se resalta que la refracción sísmica definió 6 horizontes de velocidad, que de acuerdo a los resultados los tres primeros horizontes corresponden a suelo orgánico y residual.

La refracción sísmica nos define seis horizontes de velocidad a saber:

- **HORIZONTE A**, corresponde a los materiales transportados, alcanza profundidades máximas de 1.50 a 2.50 metros y velocidades menores de 400 pies/segundo, correlacionable con materiales de consistencia muy blanda.
- **HORIZONTE B**, se presenta en la mayor parte del área explorada, alcanza profundidades entre 2.00 a 3.50 metros con velocidades del orden de 400 a 700 pies/segundo, correlacionable con suelos residuales de consistencia blanda.
- **HORIZONTE C**, corresponde a materiales que alcanzan entre 3.00 a 7.500 metros de profundidad con velocidades del orden entre 700 a 1000 pies/segundo, correlacionables con

materiales de consistencia blanda-media, se presenta en toda la zona donde se encuentra asentada la población.

- HORIZONTE D, corresponde a materiales de consistencia media a media-dura con velocidades entre 1000 a 1600 pies/segundo, se presenta principalmente en zonas de ladera a profundidades mayores de 4.00 metros en promedio.
- HORIZONTE E, correlacionable con rocas meteorizadas pertenecientes a la Formación Cisneros, generalmente se presenta a profundidades mayores de 8.00 metros y velocidades del orden de 1600 a 2500 pies/segundo, su consistencia es dura.
- HORIZONTE F, correlacionable con rocas fracturadas pertenecientes a la formación Cisneros, solamente se identifico en los ensayos de refracción sísmica que se realizaron cerca a los cauces intermitentes, en las zonas de ladera alta no se definió, presenta velocidades de onda mayores de 2500 pies/segundo y los sitios donde se definió corresponden a profundidades mayores de 8.50 metros.

De acuerdo a los resultados obtenidos se deduce que los tres primeros horizontes (A, B, C) corresponden al suelo orgánico y residual, infrayaciendo se presenta un material entre residual y meteorizado correspondiente al horizonte D, seguidamente se identifico la roca meteorizada (horizonte E) y finalmente la roca fracturada (horizonte F).

Los resultados geofísicos nos indican la litología típica del sector y a su vez nos deduce que las laderas de la cabecera municipal son susceptibles a los fenómenos de remoción en masa de acuerdo a sus valores de velocidad, indicándonos materiales de consistencia muy blanda, blanda, media-blanda y media.

#### **4.6 HIDROLOGÍA**

El objetivo del estudio de hidrología fue analizar el uso del suelo, el movimiento del agua en el suelo y la hidrología de la región, mediante pruebas de infiltración y el estudio de perfiles de suelo, para lo cual se realizó la recopilación de la información existente de la zona de estudio y de estaciones cercanas al Municipio a cargo de instituciones como la CVC, CENICAÑA, CENICAFÉ e IDEAM, además se realizaron dos salidas de campo. Como resultado de las actividades anteriores se presenta, el análisis temporal y espacial de la precipitación y se determinaron las precipitaciones máximas, el régimen de humedad y generaron algunos mapas con las isoyetas mensuales multianuales para el municipio.

## 5. AMENAZAS POR REMOCIÓN EN MASA

La frecuente ocurrencia de fenómenos de remoción en masa en el municipio de El Cairo se encuentra documentada en las diversas fuentes consultadas y referenciada en estudios realizados con anterioridad, sobre todo en lo que corresponde a la cárcava de Tejares, lo cual se encuentra validado en el estudio de historicidad y en los propios estudios de amenaza que se realizaron en el proyecto.

Para el municipio de El Cairo se contempla el estudio de amenaza por fenómenos de remoción en masa, en primera instancia, por la solicitud expresa de la CVC en los términos de referencia del proyecto (Tabla 1) y en segundo lugar por el registro de deslizamientos ocurridos en la municipalidad.

*Tabla 1.* Tipo de amenazas a estudiar en cada municipio propuesto por CVC

MUNICIPIO	TIPO DE EVENTO			Área de Estudio (Ha.)
	Movimientos en Masa	Crecientes Torrenciales	Inundaciones	
BUGA				1200
RIOFRIO				40
DAGUA				70
EL CAIRO				130
LA UNION				350

**Movimiento en Masa**
 **Avenidas Torrenciales**
 **Inundaciones**



Los fenómenos de remoción en masa están asociados a la caída y movimiento de grandes masas de material en forma rápida ó lenta y localizada, estos pueden ocurrir por causas naturales influenciadas por factores que aceleran el proceso, tales como sismos, lluvias o en el peor de los casos por ambos. Sin embargo, las actividades humanas también pueden ser factores aceleradores de estos fenómenos.

Por lo general los movimientos en masa toman nombres diversos como, deslizamientos, derrumbes, hundimientos, desprendimientos, aludes y desplomes, los cuales dependen de diversos factores, siendo entre otros el grado de saturación de los suelos, la velocidad del desplazamiento, la profundidad de la masa desplazada, el grado y longitud de la pendiente del terreno.

Los estudios de geotecnia realizados inicialmente se basaron en la exploración del subsuelo por medio de tomas de muestras de una serie de apiques y perforaciones y su posterior análisis de laboratorio, que se complementó con información recolectada en otro tipo de estudios como lo fueron los de geología y geofísica, para pasar a la fase de la evaluación de la susceptibilidad y el posterior análisis de la amenaza, como se describe en los numerales siguientes.

### **5.1 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO Y ENSAYOS DE LABORATORIO**

Se realizó el plan de exploración del subsuelo, con el fin de identificar y caracterizar tanto espacialmente como en profundidad las propiedades geomecánicas del material aflorante y obtener los perfiles estratigráficos y la profundidad del material inestable en la zona de estudio. Se realizaron once apiques, complementados con tres sondeos mecánicos, los cuales estuvieron localizados de tal manera que abarcaran la totalidad de la zona de estudio (Figura 3).

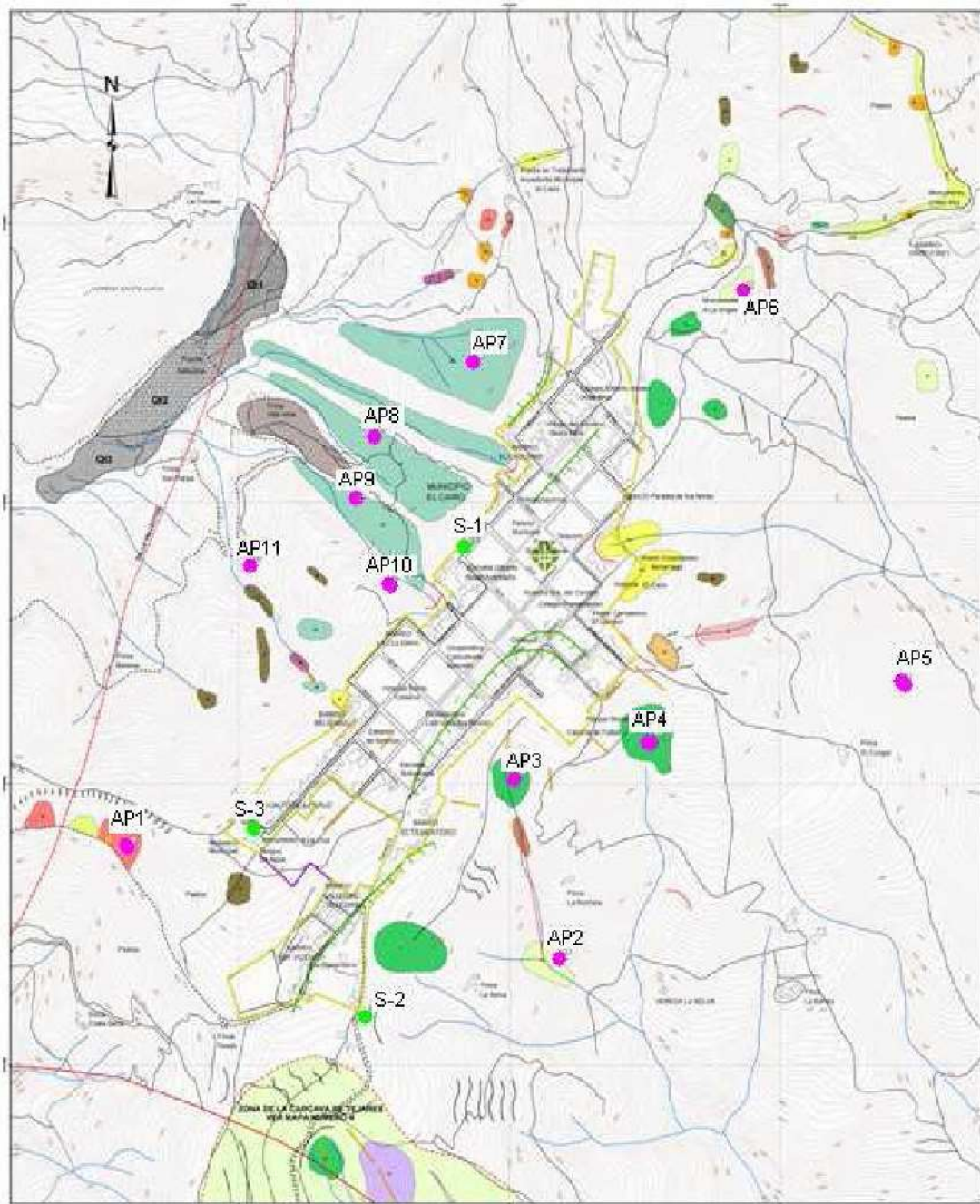
















Figura 3. Ubicación de apiques y sondeos mecánicos.

Los diferentes materiales encontrados tanto en lo apiques como en las perforaciones fueron sometidos a un riguroso plan de ensayos de laboratorio, con el fin de caracterizar las propiedades geomecánicas de los materiales aflorantes en la zona de estudio. (Tabla 2)

Tabla 2. Perfil estratigráfico de sondeo S1.

		UNIVERSIDAD DEL VALLE CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA Contrato Interadministrativo 188 "Zonificación de Amenazas y Escenarios de Riesgo por Movimientos en Masa, Inundaciones y Crecientes Torrenciales del Área Urbana y de Expansión" MUNICIPIO EL CAIRO			
PROF.	S1	CARACTERÍSTICAS	FOTO	MUESTRA	TIPO
0		arcilla plástica de color amarillo claro		M1	TR
1		arcilla plástica de color amarillo claro, consistencia baja y alta humedad		M2	TR
2		arcilla plástica de color amarillo claro, humedad alta		M3	BR
3		arcilla plástica de color amarillo claro		M4	BR
4		arcilla plástica de color amarillo claro, resistencia baja		M5	BR
5		arcilla plástica de color amarillo claro, humedad media		M6	BR
6		arena arcillosa roja de resistencia muy baja y humedad alta		M7	BR
7		arena arcillosa roja con intercalaciones blancas y de resistencia muy baja y humedad alta		M8	BR
8		arena limo arcillosa, grano medio, color rojo y con presencia de materia orgánica, humedad media		M9	BR
9		arena limo arcillosa, grano medio, color rojo y con presencia de materia orgánica		M10	BR
10		arena arcillosa suelta, de color amarillo		M11	BR
11		arena arcillosa consolidada pero muy suelta, de color amarillo		M12	BR
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					

### 5.3. EVALUACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA

La evaluación de la susceptibilidad se basó en el análisis estadístico bivariado, el cual está fundamentado en el modelo de pesos de las variables y aplica la teoría de probabilidad Bayesiana, de modo que se puede evaluar la importancia de cada factor que influye en los movimientos independientemente. Para aplicar el método, es necesario conocer datos históricos de movimientos

en masa, dado que se asume que los movimientos futuros ocurrirán bajo factores o condiciones similares a la de los movimientos pasados; también se asume que los factores que causan los movimientos permanecen casi constantes en el tiempo. En este estudio las variables utilizadas son: pendiente, curvatura, uso del suelo y cuenca acumulada. La definición de las anteriores variables se encuentra consignada en el texto principal. El mapa de susceptibilidad finalmente obtenido se ilustra en la Figura 4, de donde se desprenden las siguientes características:

✓ **Susceptibilidad Alta:** Zonas con condiciones altamente favorables a la ocurrencia de procesos de inestabilidad asociados principalmente con las características litológicas del material aflorante en la zona, fuertes pendientes y sectores de cultivos limpios. En general, las zonas de alta susceptibilidad se ubican en las laderas que rodean el municipio del Cairo; el área urbana y de expansión, posee baja susceptibilidad a los movimientos en masa, pero la zona de alta susceptibilidad se encuentra muy próxima a ésta. Desafortunadamente, el casco urbano se puede ver afectado por deslizamientos que se presenten en las laderas del mismo, afectando las viviendas ubicadas en el perímetro urbano del municipio. La alta susceptibilidad abarca una proporción importante dentro de la zona de estudio (52.53%).

✓ **Susceptibilidad Media:** Las zonas de susceptibilidad media están asociadas a sectores cuyas pendientes fluctúan entre  $10^0$  y  $30^0$ . Se caracterizan por presentar cultivos intermedios tipo café, plátano y guamo, adicionalmente porque la geofoma del terreno no permite fácilmente la infiltración del agua de escorrentía proveniente de las lluvias.

✓ **Susceptibilidad Baja:** Zonas con mínimas o ninguna condición favorable a la inestabilidad. Se caracteriza por presentar pendientes comprendidas entre  $1^0$  y  $10^0$  grados. Es importante destacar el hecho que el casco urbano del municipio se encuentra ubicado en una planicie, razón por la cual se obtiene que el terreno presenta una susceptibilidad baja. Sin embargo, estos resultados son necesarios mirarlos con precaución ya que la parte superior está expuesta a fenómenos de remoción en masa, dado el carácter retrogresivo de los deslizamientos que se han presentado en las laderas aledañas al casco urbano.

## **EVALUACIÓN DE LA AMENAZA**

Para la evaluación de la amenaza se tuvo en cuenta el mapa de susceptibilidad previamente obtenido; a dicho mapa se le incorporan los agentes externos detonantes como sismo y lluvia, para

establecer los diferentes escenarios dentro de los cuales se asume pueden ocurrir fenómenos de remoción en masa. De esta forma se procede a obtener el respectivo mapa de amenaza. Dentro de este mapa se tienen en cuenta aspectos tales como: inclinación del terreno, parámetros de resistencia, pruebas de infiltración y sismicidad de la zona. Para la elaboración del mapa de amenazas, fue necesario llevar a cabo las siguientes actividades previas:

- Modelo Geológico geotécnico de los diferentes perfiles de análisis
- Asignación de los parámetros de resistencia a los diferentes estratos encontrados durante la fase exploratoria
- Análisis de estabilidad, el cual depende del mecanismo de falla encontrado. Dentro de la zona de estudio se identificaron básicamente dos mecanismos de falla predominantes en las laderas del municipio de El Cairo: falla traslacional, sobre el costado occidental y falla rotacional, en el costado oriental.

Un aspecto importante de destacar, es que además de los mecanismos de falla rotacionales y traslacionales detectados en el municipio del Cairo, las capas del material rocoso se encuentran buzando desfavorablemente, de manera que estas también se podrían ver afectadas por eventuales desplazamientos de las capas superiores. Esto por supuesto implicaría superficies de falla profundas que afectarían tanto al suelo residual como al macizo rocoso (Figura 5).

### ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR MOVIMIENTOS EN MASA

Teniendo presente el efecto adverso de los agentes detonantes lluvia y sismo, se generaron tres escenarios, en los que se tiene en cuenta de manera independiente el efecto del agua, el sismo y finalmente el efecto combinado de los anteriores agentes externos (Tabla 3).

*Tabla 3.* Escenario de amenaza.

ESCENARIO	CONDICION	SISMO	Aa
1	Parcialmente saturado	Sin sismo	
2	Seca	Con sismo	0.20
3	Parcialmente saturado	Con sismo	0.20



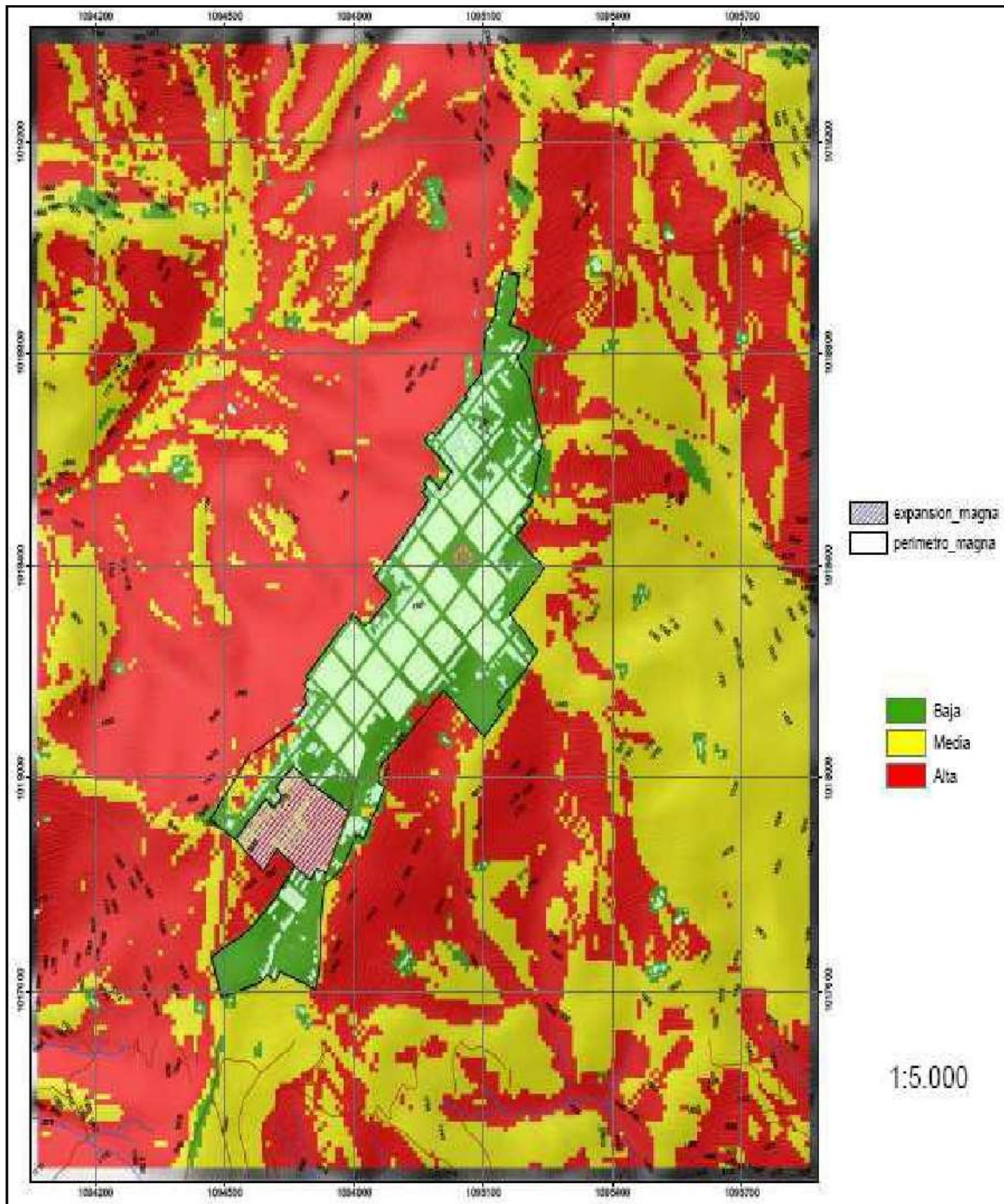


Figura 4. Mapa de índice de susceptibilidad para el municipio de El Cairo.

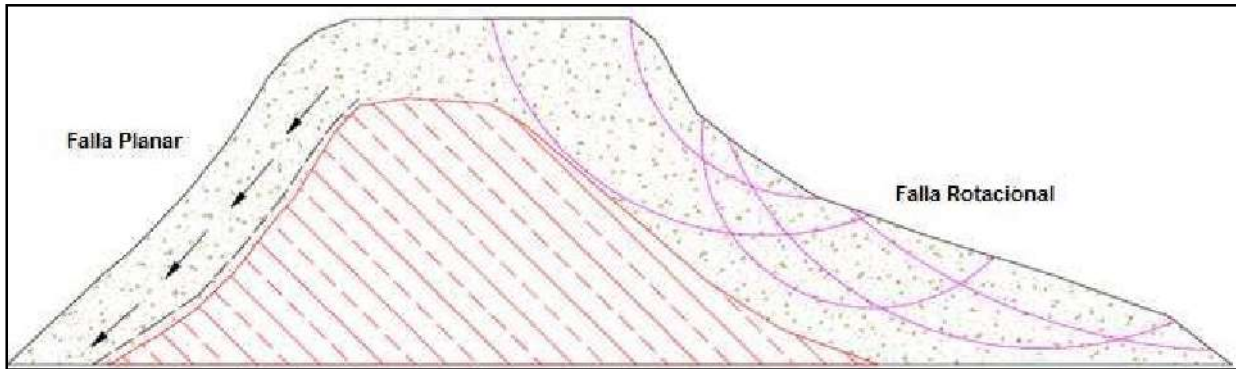


Figura 5. Esquemmatización de los mecanismos de falla que se pueden presentar en el Municipio De El Cairo

Teniendo presente lo anterior se definieron los rangos que permitieron subdividir los sectores en zonas de amenaza baja, media y alta (Tabla 4):

**Tabla 4.** Rangos de amenaza para definir los niveles de amenaza por movimientos de remoción en masa.

AMENAZA	RANGO F.S.
BAJA	> 1.2
MEDIA	1 – 1.2
ALTA	< 1

La evaluación de la amenaza se llevó a cabo considerando los tres posibles escenarios señalados anteriormente.

#### **Escenario 1. Talud parcialmente Saturado sin Sismo**

Esta condición se puede presentar durante lluvias fuertes y prolongadas, que ocasionen un rápido ascenso del nivel freático, así como la saturación del terreno. Como se puede observar en la Figura 6, el ascenso del nivel freático ocasionará grandes deslizamientos rotacionales sobre el costado oriental, donde el mecanismo de falla típico es el rotacional, llegando en algunas ocasiones a afectar el casco urbano del municipio. Además, sobre este mismo costado se detectó una pequeña zona de amenaza media, la cual es atribuible al cambio de pendiente, ya que dicho sector presenta pendientes de 20-30°, mientras que las zonas restantes con amenaza alta presenta valores de pendiente superiores.

Durante la fase de campo se pudo detectar la presencia de agrietamientos cercanos a los escarpes. Este fenómeno puede generar un problema adicional que correspondería al rompimiento de tuberías del acueducto y alcantarillado, que sería una fuente permanente de inyección de agua a la parte superior del talud. Desafortunadamente, evaluar este efecto en detalle está fuera de los alcances del presente estudio.

Este escenario es probable mejorarlo, mediante un adecuado manejo del agua superficial y el abatimiento del nivel freático. Sin embargo, dada la extensión de la zona afectada, los costos de este tipo de correctivos hacen que esta medida correctiva sea inviable desde el punto de vista económico.

### **Escenario 2. Talud seco con Sismo**

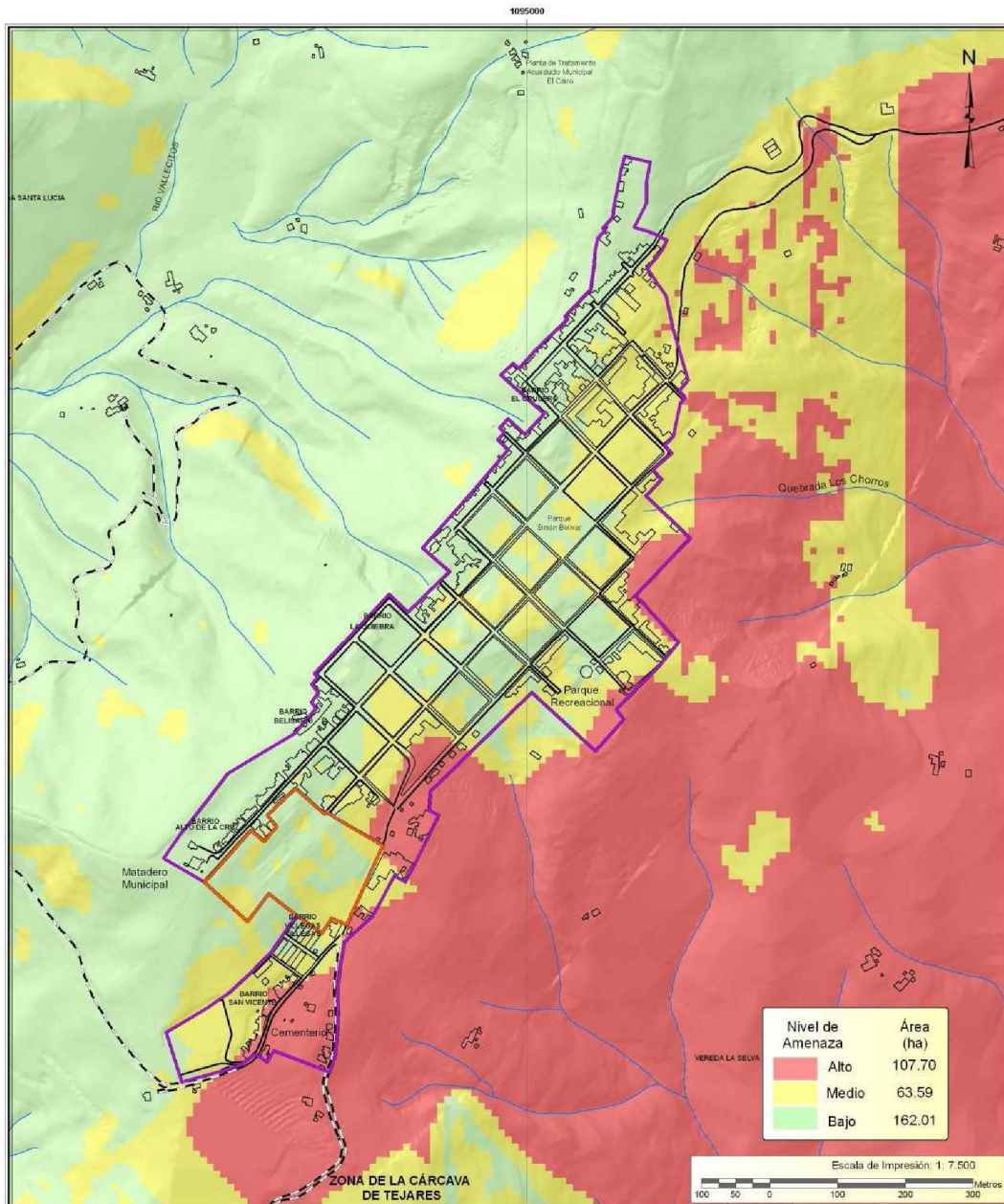
Esta condición implica la generación de un sismo en periodo de verano o de baja precipitación, en la que el régimen de lluvias es mínimo, y el nivel freático se encuentra abatido. Como consecuencia del sismo, los taludes que se verían seriamente afectados, corresponden a los de la ladera oriental, donde el mecanismo de falla más frecuente corresponde a deslizamientos de tipo rotacional, afectando de manera importante las viviendas ubicadas en cercanías al talud oriental. Obsérvese en la Figura 7 un aspecto muy importante, y es que para la condición actual del terreno, el sector que se ha visto involucrado en un mayor porcentaje por fenómenos de remoción en masa corresponde al sector oriental, donde se encuentra ubicada precisamente la cárcava Tejares. Nótese que además la futura zona de expansión se verá afectada en un tramo importante.

### **Escenario 3. Talud parcialmente saturado con Sismo**

Corresponde a la condición más crítica. Este escenario es el que se asume que se presente un sismo durante un periodo de lluvias fuertes y prolongadas, y tiene como consecuencia la falla de la totalidad de las laderas que bordean el municipio, siendo los deslizamientos de tal magnitud, que afectarán un sector importante del casco urbano, incluyendo la totalidad de la zona de expansión. Bajo esta condición la cárcava Tejares se verá muy afectada, generándose un incremento importante de la amenaza en el área.

En el costado occidental que era el más estable para los anteriores escenarios, se verá afectada en prácticamente toda la parte media del talud, así como las viviendas ubicadas en cercanías de la ladera (Figura 8).





<b>CONVENCIONES</b> - Perimetro Urbano - Perimetro de Expansión - Perimetro de Manzana - Drenaje Doble - Drenaje sencillo - Carretera sin pavimentar angosta - Carretera pavimentada de dos o más calzadas	<p>UNIVERSIDAD DEL VALLE          CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA          Observatorio Sismológico y Geofísico del SurOccidente</p>	<b>FECHA:</b> Abril de 2010 <b>SISTEMA DE REFERENCIA</b> Datum Magna      Origen de la zona Elipsoide GRS80      Oeste <b>FUENTE DE LA INFORMACIÓN</b> Cartografía Básica: CVC-UNIVALLE Escala 1:2000 CVC Escala 1:5.000 (Datum Bogotá)

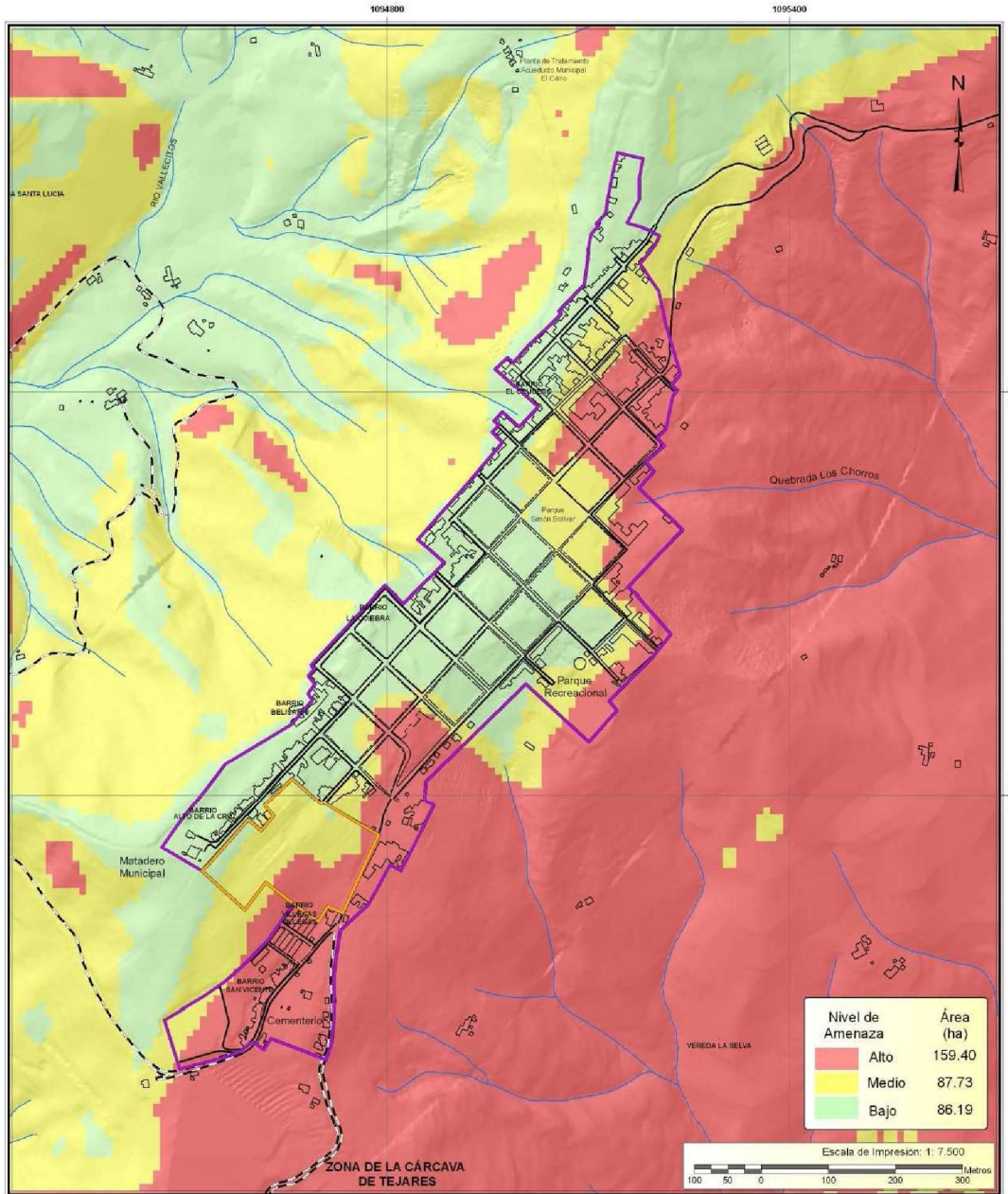
Teniendo en cuenta los resultados de los anteriores escenarios se definieron tres niveles de amenaza: baja, media y alta.

**AMENAZA BAJA:** Corresponde a los sectores donde en general el terreno es estable por fenómenos de remoción en masa ante agentes externos. Estas áreas se verán ostensiblemente disminuidas a consecuencia del efecto adverso de las lluvias y el sismo.

**AMENAZA MEDIA:** Estos sectores se caracterizan por presentar pendientes intermedias, y se encuentran ubicadas en la generalidad de los casos en el sector occidental de la meseta, donde el mecanismo de falla es de tipo traslacional. Estos sectores se caracterizan adicionalmente, por presentar una buena cobertura vegetal.

**AMENAZA ALTA:** Corresponden a sectores de pendientes medias a fuertes, caracterizadas por presentar un espesor importante de la capa de suelo, en especial en el sector oriental. El mecanismo de falla predominante es de tipo rotacional, aunque en el sector occidental se pueden desarrollar grandes movimientos en masa de tipo traslacional.

Un aspecto que es importante destacar es que el municipio se encuentra cimentado en la parte superior de una meseta alargada, que se asemeja a un tronco de pirámide, que en el evento de un sismo tendrá amplificaciones importantes que afectarán tanto la estabilidad de las laderas como las estructuras aledañas a los taludes. Este efecto es de suma importancia y no fue analizado por encontrarse fuera de los alcances del estudio.



**CONVENCIONES**

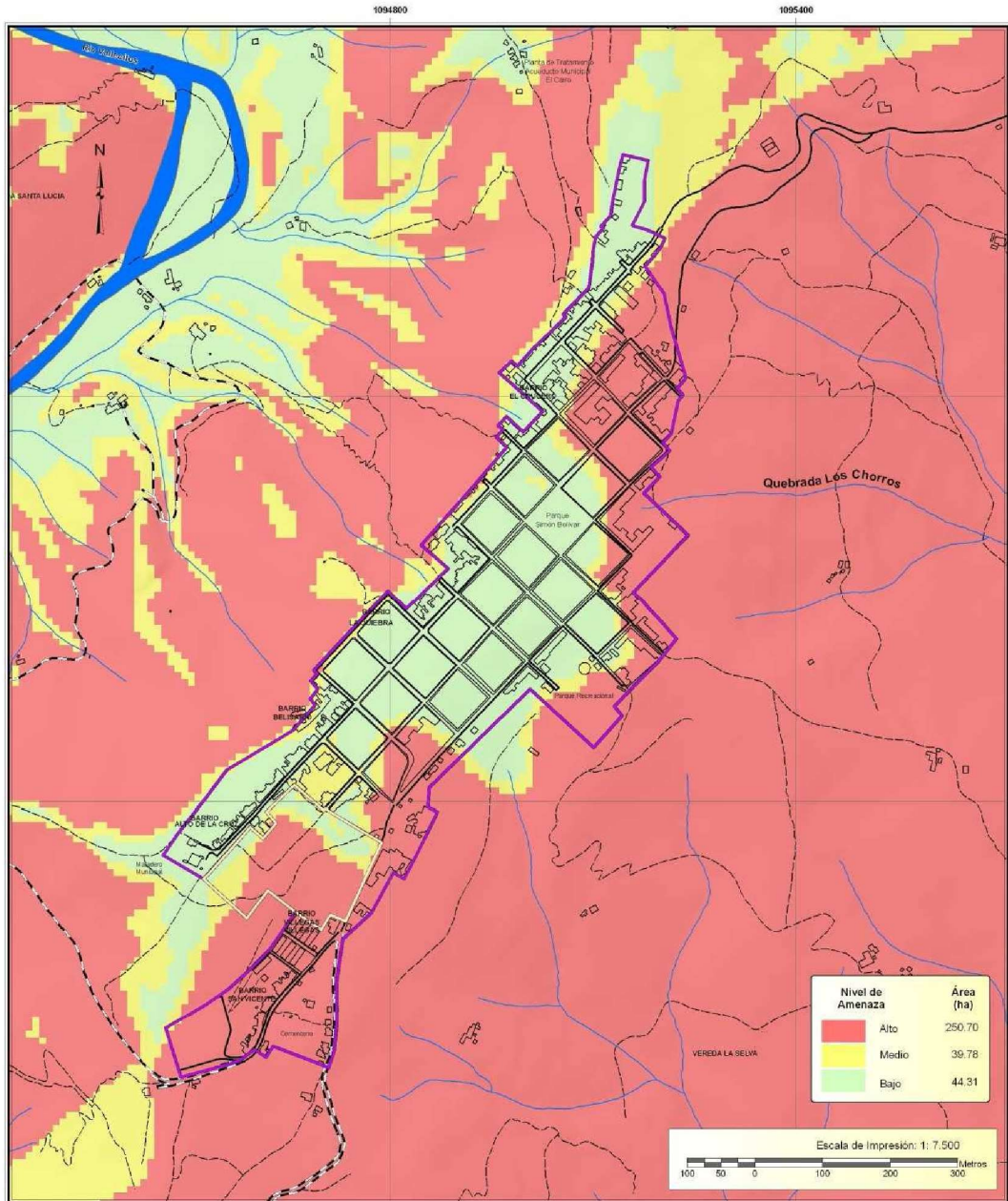
- Perimetro Urbano
- Perimetro de Expansión
- Perimetro de Manzana
- Drenaje Doble
- Drenaje sencillo
- Carretera sin pavimentar angosta
- Carretera pavimentada de dos o más calzadas

UNIVERSIDAD DEL VALLE  
 CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA  
 Observatorio Sismológico y Geofísico del SurOccidente

**FIGURA 7**  
**MAPA DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA**  
**ESCENARIO 2**  
**MUNICIPIO DE EL CAIRO**

FECHA: Abril de 2010  
 SISTEMA DE REFERENCIA  
 Datum Magna Origen de la zona  
 Elipsoide GRS80 Ceste  
 FUENTE DE LA INFORMACIÓN  
 Cartografía Básica:  
 CVC-UNIVALLE Escala 1:2000  
 CVC Escala 1:5.000 (Datum Bogotá)





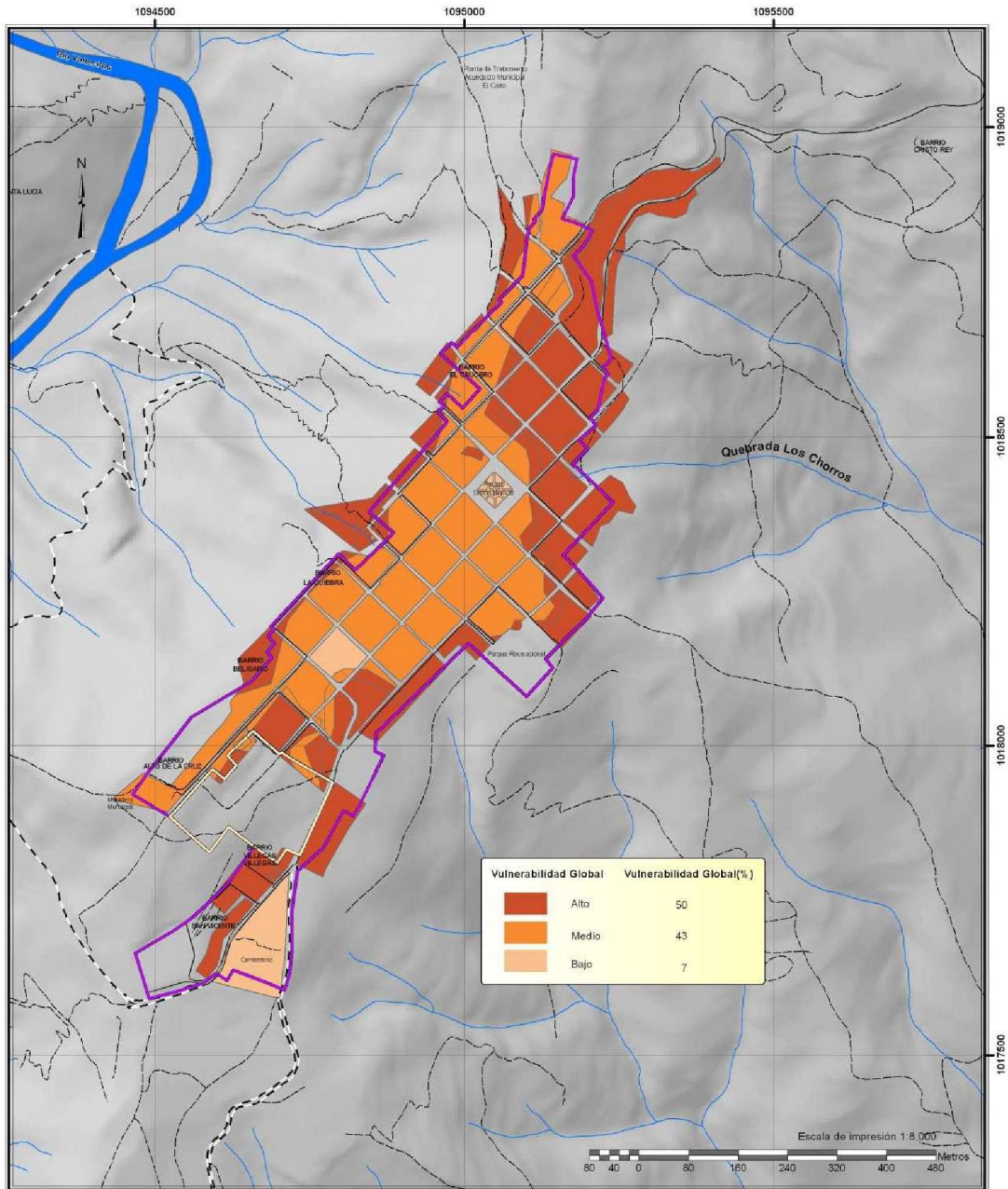
<p><b>CONVENCIONES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Perimetro Urbano</li> <li> Perimetro de Expansión</li> <li> Perimetro de Manzana</li> <li> Drenaje Doble</li> <li> Drenaje sencillo</li> <li> Carretera sin pavimentar angosta</li> <li> Carretera pavimentada de dos o más calzadas</li> </ul>	<p><b>UNIVERSIDAD DEL VALLE</b>  <b>CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA</b>          Observatorio Sismológico y Geofísico del SurOccidente</p> <p><b>FIGURA 8</b>  <b>AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA</b>  <b>ESCENARIO 3</b>  <b>MUNICIPIO DE EL CAIRO</b></p>	<p>FECHA: Marzo de 2010</p> <p><b>SISTEMA DE REFERENCIA</b>          Datum Magna Origen de la zona          Elipsoides GRS80 Oeste</p> <p><b>FUENTE DE LA INFORMACIÓN</b>          Cartografía Básica:          CVC-UNIVALLE Escala 1:2000          CVC Escala 1:5.000. (Datum Bogotá)</p>
--	--	--

## 6. VULNERABILIDAD Y ESCENARIOS DE AFECTACIÓN

La evaluación de la vulnerabilidad y los escenarios de afectación parte de un modelo conceptual y metodológico que involucra no solamente la medición de parámetros o indicadores estructurales (paredes, cubiertas estado de conservación, etc.), sino también algunos indicadores corporales (edad, sexo, dependencia total, etc.) los cuales permiten un acercamiento mucho más acertado y real a la situación de emergencia de una comunidad. En este sentido la vulnerabilidad se define como una suma de valores que expresan aspectos relacionados con la exposición y la fragilidad de un conjunto de elementos tanto estructurales como corporales. Mientras que el riesgo se define como el resultado del producto escalado del factor de amenaza y del factor de vulnerabilidad, ambos condicionantes y concomitantes entre sí.

A partir de esta base teórico-metodológica se logró identificar las principales zonas ó sectores de la cabecera municipal que presentan niveles relativos de vulnerabilidad y afectación global (estructural y corporal), estimando consecuentemente los diferentes modos de daños esperados, el número aproximado de viviendas afectadas y el número de personas damnificadas durante una situación de emergencia tanto de día como de noche.

A partir de la evaluación de la vulnerabilidad, se logró identificar que las viviendas y las personas que habitan estos barrios, presentan unos niveles de exposición a la amenaza elevados y unas condiciones de fragilidad bastante delicadas. La siguiente figura representa la distribución espacial de la vulnerabilidad global para la cabecera municipal de El Cairo; en ella podemos apreciar que el sector del centro del casco urbano encierra niveles de vulnerabilidad moderada, mientras que las zonas aledañas a las laderas presentan niveles altos, es el caso de los barrios Calle de los Llanos, Calle de los Pérez, San Vicente, Villegas y El Crucero; esto refleja una fuerte correlación espacial entre los niveles de amenaza con los niveles de vulnerabilidad percibidos (Figura 9).



- CONVENCIONES**
- Perimetro Urbano
  - Perimetro de Expansión
  - Perimetro de Manzana
  - Drenaje Doble
  - Drenaje sencillo
  - Sendero
  - Carretera sin pavimentar angosta
  - Carretera pavimentada de dos o más calzadas



UNIVERSIDAD DEL VALLE  
 CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA  
 Observatorio Sismológico y Geofísico del SurOccidente



FECHA: Abril de 2010  
 SISTEMA DE REFERENCIA  
 Datum Magna Origen de la zona  
 Elipsoide GRS80 Oeste  
 FUENTE DE LA INFORMACIÓN  
 Cartografía Básica:  
 CVC - Univalle, Escala 1:2.000.  
 CVC, Escala 1:5.000 (Datum Bogotá)

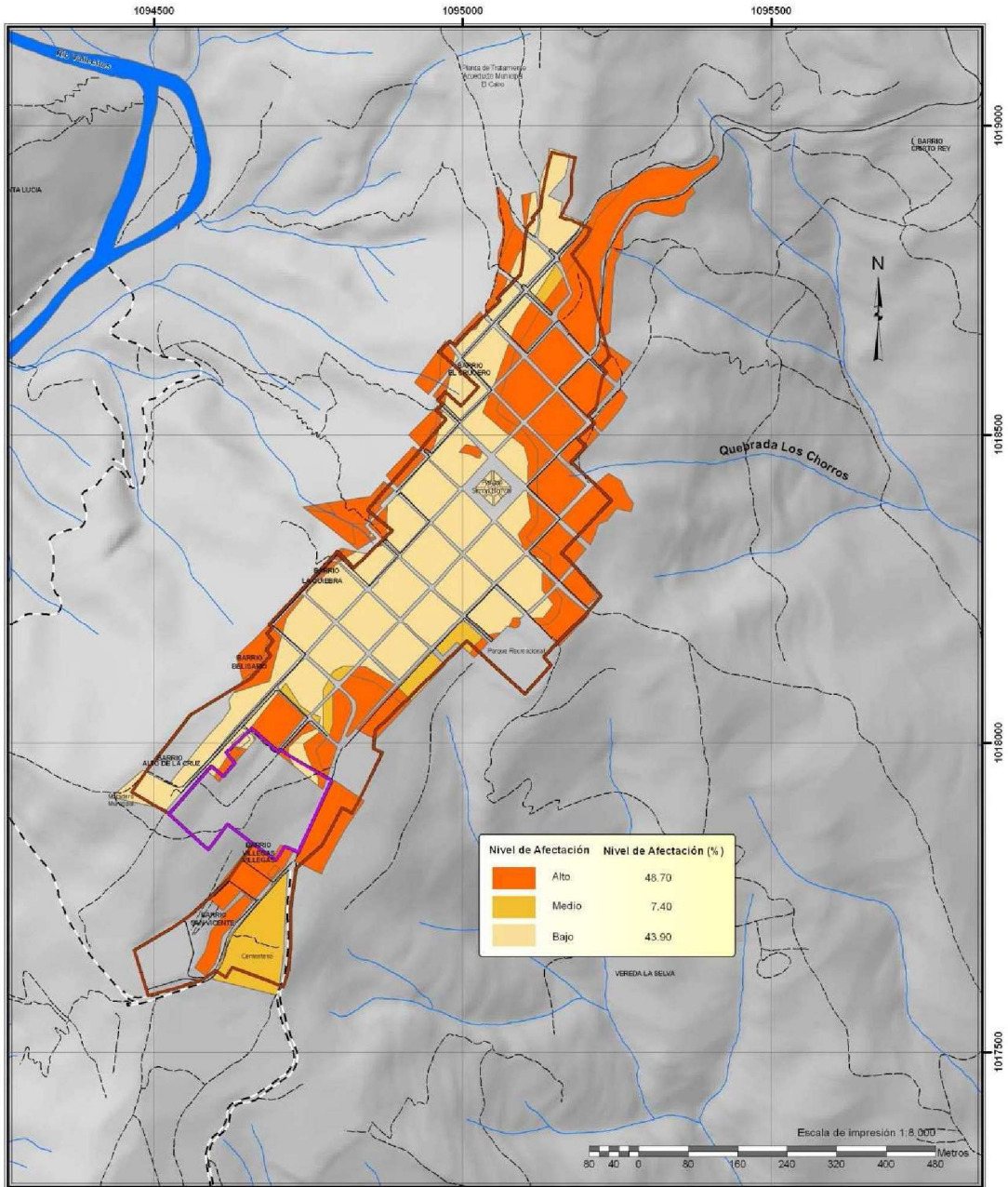
**FIGURA 9**  
**VULNERABILIDAD GLOBAL**  
**MUNICIPIO DE EL CAIRO**

Aproximadamente el 30% de las viviendas se encuentran en avanzado estado de deterioro, mientras que cerca del 50% de las personas no cuentan con las condiciones socioeconómicas necesarias para sobreponerse por sí mismos a los efectos provocados por una situación de emergencia.

Posterior a la evaluación de la vulnerabilidad, se determinó el riesgo en términos de afectación o daño. La Figura 10 refleja los resultados obtenidos en cuanto afectación global, en ella se puede apreciar que los sectores que presentan mayores niveles de riesgo corresponden a los sectores periurbanos aledaños a las laderas donde las características propias asociadas a la amenaza y la vulnerabilidad las convierten en sectores cuyos daños derivados a partir de la ocurrencia de un fenómeno de remoción en masa, podrían ser graves traducidos en la pérdida de la vida y la destrucción parcial o total de las viviendas. En dichos sectores encontramos localizados los barrios de Calle de los Llanos, calle de los Pérez, San Vicente, Villegas, El Crucero y el sector noroccidental del barrio El Centro.

De acuerdo con los resultados, la cabecera municipal afronta una situación de riesgo en la que la totalidad de su extensión urbana se encuentra en niveles de afectación diferenciables, sin incluir la zona de expansión. Cerca del 48,7% del área del municipio se encuentra en una zona de afectación alta donde existen 702 viviendas aproximadamente y 1346 personas de las cuales se esperarían daños graves estructurales, destrucción parcial y/o total de las viviendas y la pérdida de la vida de gran parte de la población; por su parte, cerca del 43,9% del municipio se encuentra en una zona de afectación moderada, donde cerca de 712 viviendas y 1280 personas aproximadamente, podrían sufrir un nivel de daño relativamente bajo traducido en daños considerables que debilitarían las viviendas y heridas importantes sobre las personas. En cuanto al nivel medio de afectación, el área abarcada es del 7,4% del total de la cabecera urbana, donde hay cerca de 50 viviendas y 77 habitantes (Figura 10).



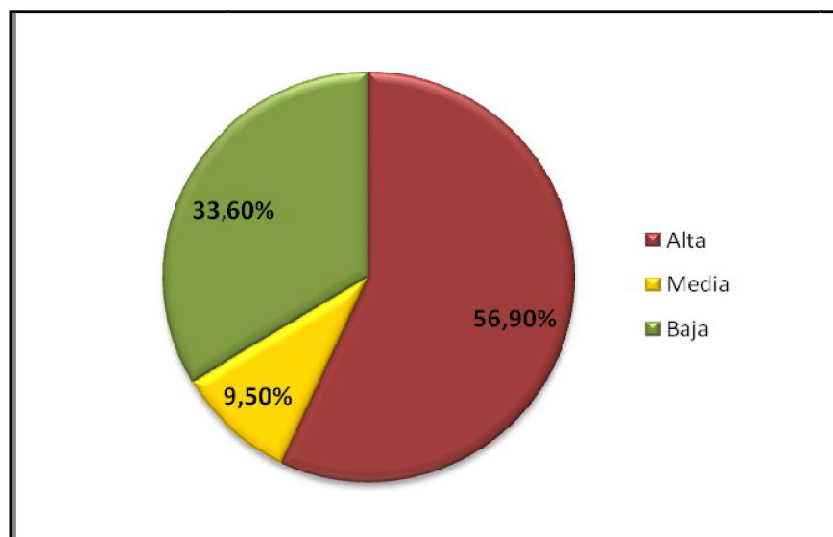


<p><b>CONVENCIONES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Perímetro Urbano</li> <li>— Perímetro de Expansión</li> <li>— Perímetro de Manzana</li> <li>— Drenaje Doble</li> <li>— Drenaje sencillo</li> <li>— Sendero</li> <li>— Carretera sin pavimentar angosta</li> <li>— Carretera pavimentada de dos o más calzadas</li> </ul>	<p>UNIVERSIDAD DEL VALLE CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA</p> <p>Observatorio Sismológico y Geofísico del SurOccidente</p> <p><b>FIGURA 10</b> <b>NIVEL DE AFECTACIÓN</b> <b>MUNICIPIO DE EL CAIRO</b></p>	<p><b>FECHA:</b> Abril de 2010</p> <p><b>SISTEMA DE REFERENCIA</b> Datum Magna    Origen de la zona Elipsoide GRS80    Oeste</p> <p><b>FUENTE DE LA INFORMACIÓN</b> Cartografía Básica: CVC - Univalle, Escala 1:2.000. CVC, Escala 1:5.000 (Datum Bogotá)</p>
--	---	--

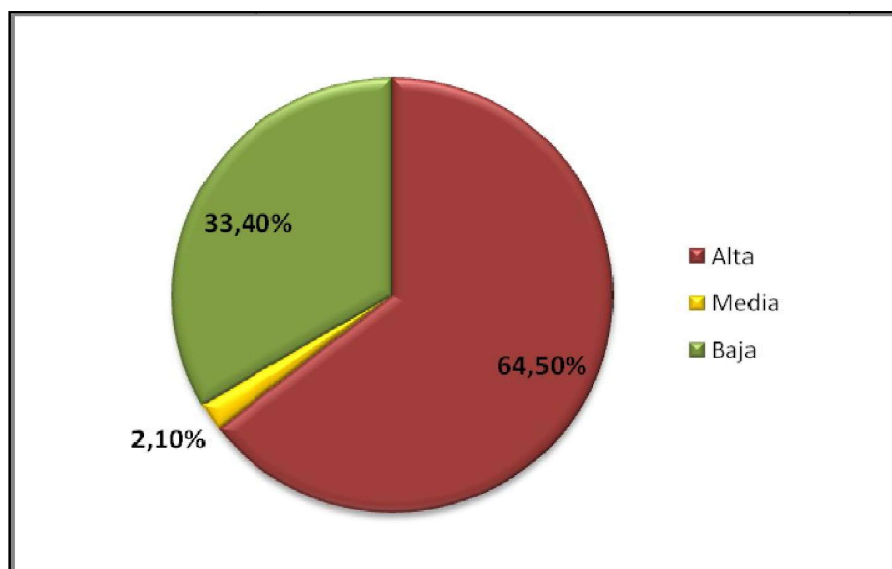


Debido, a la complejidad de los fenómenos naturales y la dinámica espacial que presentan los elementos corporales expuestos en función del espacio-tiempo, existe una variedad de posibilidades de manifestación del daño. En este sentido se adoptó la propuesta de complementar el análisis mediante la concepción de escenarios de afectación, lo que permitió aproximarnos al daño específico en función del número ó porcentaje de personas afectadas. Para generar dicho modelo se efectúa el cruce de información correspondiente al modo de daño con el número de personas en la vivienda por escenario (diurno y nocturno).

Las siguientes figuras muestran el porcentaje que se encuentran en algún tipo de riesgo o afectación durante el día como durante la noche; aproximadamente 2806 personas podrían verse afectadas dada la ocurrencia de un deslizamiento durante el día, mientras que cerca de 3391 personas podrían verse afectadas durante la noche lo que refleja un incremento de exposición del 18 % de población (Figuras 11 y 12).



**Figura 11.** Representación del porcentaje de población según el nivel de afectación diurno.



**Figura 12.** Representación del porcentaje de población según el nivel de afectación nocturna.

## 7. SOCIALIZACIÓN

Como actividad final correspondiente a los términos de referencia del proyecto se llevó a cabo la socialización de resultados y lineamientos generales, esta se desarrolló el 9 de Julio de 2010, en la casa de la cultura del municipio de El Cairo.

Mediante una amplia convocatoria a todos los actores institucionales y sociales de la localidad, la secretaria de planeación, invitó a funcionarios representantes de los diversos organismos que conforman el CLOPAD en el municipio, tales como funcionarios de la alcaldía, hospital, centros educativos, organizaciones no gubernamentales (ONG's), policía, ACUAVALLE, defensa civil y bomberos.

Entre las principales actividades realizadas en la jornada se destacan la incorporación de aspectos conceptuales en el desarrollo de la actividad 1, correspondiente a la resolución de un crucigrama diseñado como estrategia pedagógica para la sensibilización de los actores participantes en el taller. Posteriormente, los participantes articulados en grupos de trabajo, desarrollaron el ejercicio de cartografía social, correspondiente a la actividad 2, en el que los integrantes de los grupos representaron en la cartografía base del municipio los escenarios de afectación, que desde su percepción y experiencia, consideraron importantes

a tener en cuenta. Finalmente, se presentaron los resultados de los estudios de amenaza, vulnerabilidad y afectación, para proceder a exponer los principales lineamientos generales para la actualización del Plan de Emergencias y Contingencias del municipio (PLEC) y por supuesto, el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) (Figuras 13).



Figura 13. Fotografías, durante el desarrollo de la actividad de socialización, realizado el 9 de julio de 2010 en el Municipio de El Cairo.

## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 8.1 CONCLUSIONES

Con respecto al trabajo documental que se realizó en éste proyecto, la historicidad de los eventos se dificultó, porque, aunque el Archivo General de la Nación, dispuso una ley de organización de archivos públicos, las entidades y organizaciones públicas no realizan el ejercicio juicioso y actualizado de conservación que de ellos se espera. Igualmente, el registro de noticias es muy escaso, a excepción de los casos en que la emergencia es de gran trascendencia. Pero, por lo general, son pocas las noticias que se logran encontrar.

Afortunadamente en este estudio se contó con varias fuentes, pero hay vacíos de los eventos que sucedieron en la década de los años ochenta, parte de los noventa a excepción de 1996 y 1999, y los años 2004, 2005, 2006 y 2007. Sin embargo, de los eventos más críticos sí se encontró registro, lo que permitió que se pudiera establecer una frecuencia en la ocurrencia de los eventos.

Desde el punto de vista geológico el área de estudio en el Municipio de El Cairo presenta afloramientos muy escasos de la Formación Cisneros, que infrayace toda la región. La tectónica es sólo evidente en los alrededores lejanos de la cabecera municipal. Los suelos residuales dominan un alto porcentaje de la zona, y los depósitos aluviales cuaternarios se hallan alejados de la población y del área de estudio; en consecuencia las formaciones superficiales alrededor de El Cairo se limitan sólo a la capa de suelo residual. Los deslizamientos rotacionales por lo general son antiguos ya estabilizados y dominan en la ladera oriental. Algunos se presentan en el sector del “Antiguo Matadero”, al NW de la población y uno, reciente, se presenta al occidente del barrio Belisario. Un notable número de deslizamientos superficiales se presentan a lo largo de la carretera a Ansermanuevo, y varios de ellos muy antiguos, casi totalmente enmascarados y notablemente desgastados por la denudación que se presenta en la ladera occidental de la población.

Los resultados geofísicos indican la litología típica del sector y a su vez permiten deducir que las laderas de la cabecera municipal son susceptibles a los fenómenos de remoción en masa de acuerdo a sus valores de velocidad, indicando materiales de consistencia muy blanda, blanda, media-blanda y media.

Durante la fase exploratoria se encontró que el nivel freático se ubica a una profundidad variable entre 4.0 y 5.0 metros, lo que implica que se pueden presentar ascensos importantes durante épocas invernales.

Según el análisis geotécnico realizado se concluye que el perímetro urbano se encuentra en amenaza baja por movimientos de remoción en masa, pero por encontrarse rodeado de una gran zona con amenaza alta y con una transición muy corta de amenaza media, el municipio se verá afectado de manera importante ante el efecto desestabilizador de los agentes detonantes (lluvia y sismo).

El agente detonante de mayor peso sobre el área de estudio, para el caso de movimientos en masa traslacionales y rotacionales es el sismo. Para el caso de las laderas occidentales, se encontró que en condiciones normales un incremento en el nivel freático, la amenaza no pasa de media, mientras que en condiciones normales con sismo la amenaza aumenta notablemente. Para el caso de movimientos en masa rotacionales, el efecto del sismo es mucho más dominante que el del agua. Este efecto se hace mucho más importante teniendo en cuenta que El Cairo se localiza dentro de una zona de amenaza alta por evento de sismicidad según lo muestra el mapa nacional de amenaza sísmica.

La cabecera municipal de El Cairo presenta zonas con niveles de afectación diferenciados donde los más altos corresponden a las zonas de ladera cuyas características propias asociadas a la amenaza y la vulnerabilidad las convierten en sectores de alto riesgo por fenómenos de remoción en masa, donde los daños esperados son los máximos, es decir, posibles pérdida de vidas y destrucción parcial o total de las viviendas.

Las zonas de afectación alta coinciden a grandes rasgos con los mapas de exposición al peligro, con el agravante que aparecen nuevas zonas en afectación alta que corresponden a sectores de mayor concentración de población y de elevada fragilidad intrínseca. Dichas zonas se caracterizan por contar con unas condiciones topográficas, litológicas y de relieve más favorables para la ocurrencia de procesos de remoción en masa, además de una alta vulnerabilidad de la población con grandes dificultades para afrontar la acción de este tipo de fenómenos naturales; es el caso de barrios como Calle de los Llanos, Calle de los Pérez, San Vicente, Villegas, el Crucero y el sector noroccidental del barrio El Centro.

Estas son las áreas que requieren de una atención especial, no sólo para su planeación futura, sino para su atención a corto plazo, con el propósito de disminuir los daños que puedan desencadenarse. Por su parte, la afectación moderada involucra valores de vulnerabilidad y peligro cercanos a la media; son zonas potencialmente riesgosas, sin embargo los niveles de vulnerabilidad son de medio a bajo; la extensión de área en estas zonas es muy poco significativa y pueden verse como una zona de transición entre la afectación alta y baja.

El nivel de afectación bajo es el dominante en el centro de la cabecera municipal, hecho que se explica por la topografía plana (aspecto físico que favorece la estabilidad del terreno en dicho sector) más que por condiciones de vulnerabilidad baja; en esta franja aparece gran parte del barrio El Centro y Alto de la Cruz.

Con respecto a la Cárcava Tejares, es un sentir de la comunidad que este es un problema progresivo que debe ser asumido por la CVC y Acuavalle, como entidades que deben velar por el mejoramiento de las condiciones ambientales y de manejo del agua de la zona.

La Cárcava Tejares es el problema de remoción en masa más notable: el cual consiste de varios deslizamientos internos tanto traslacionales como rotacionales, hundimientos, cárcavas pequeñas y zonas de erosión lineal y laminar. Es recomendable reubicar las viviendas que se encuentran en cercanías a la cárcava en otros lugares de la municipalidad.

## **8.2 RECOMENDACIONES**

La comunidad de El Cairo, siente que frente a las emergencias por las cuales pasan, las instituciones encargadas de ayudar y apoyar en la solución de los desastres que trae consigo el invierno, no realizan una labor eficaz e inmediata, los mismos habitantes deben socorrerse unos a otros mientras llega la ayuda solicitada. De hecho cuando se viaja por la carretera principal que de Cartago conduce a El Cairo, se puede observar que quienes trabajan en las vías, despejándolas, son habitantes del pueblo que diariamente realizan la labor de limpieza de los canales para que las aguas vayan a las cajas recolectoras de aguas lluvias.

Es por eso que algunos habitantes coinciden en que los esfuerzos por solucionar los problemas de deslizamiento, cárcavamiento y mejoramiento de vías no los realizan las entidades encargadas de

cumplir con esta labor, por lo cual ellos manifiestan que existe una especie de abandono por parte de las instituciones municipales y departamentales.

Debido a que la carretera El Cairo- Ansermanuevo, ha presentado varios deslizamientos que han bloqueado el acceso a El Cairo durante varios días, se recomienda un estudio geológico especial de la vía, ya que en la intersección de ésta con algunas quebradas, se han presentado problemas de derrumbe de la banca, y bloqueo de las alcantarillas y puentes, generando serios problemas de inestabilidad.

Es necesario educar a la población sobre la necesidad de mejorar y reemplazar los cultivos limpios actuales por zonas boscosas que permitan una mejor protección del subsuelo.

Existen en el municipio escenarios poco propicios para la construcción de asentamientos, al igual que se encuentran viviendas y grupos humanos muy expuestos frente a la presencia de fenómenos de remoción en masa, lo cual constituye posibles escenarios de desastre. Es por ello que las viviendas que se encuentran en las zonas de mayor afectación deben ser tenidas en cuenta dentro de los programas de reubicación de manera prioritaria. Además se debe prohibir la construcción de cualquier tipo de estructura sobre dichas zonas, para lo cual se debe mantener un monitoreo constante.

Es importante anotar que las zonas de afectación moderada y baja no están excluidas en el ejercicio responsable de desarrollar procesos de gestión del riesgo, por el contrario dichos sectores del municipio pueden ser escenarios de atención o albergue ante la presencia de situaciones de desastre, lo cual conlleva una responsabilidad igual o mayor a la que poseen quienes viven en lugares de mayor afectación.

La utilización de los diferentes mapas de amenaza, vulnerabilidad y escenarios de afectación que se presentan como producto fundamental del estudio se constituyen en una valiosa herramienta para la construcción de nuevos espacios de planificación y sostenibilidad en el municipio de El Cairo. Los procesos de gestión que se adelanten a partir de los resultados obtenidos, deberán estar orientados a la planificación rigurosa de los espacios de vida de las poblaciones y a desarrollar procesos de mitigación en aquellas zonas que lo ameriten, sin embargo, esto no quiere decir que el trabajo se oriente desde la lógica exclusiva de la administración o de las autoridades, en el proceso debe



quedar inmersa la población en tanto pueda empoderarse para transformar el entorno a la luz de la gestión local del riesgo.

La gran cantidad de información recopilada sobre los elementos que pueden ser afectados por deslizamientos y los daños provocados, así como su análisis y modelación sistemática, han sido los factores más importantes que han permitido el desarrollo pleno de la metodología planteada para la elaboración de los distintos escenarios de afectación con un sentido cuantitativo y cualitativo; sin embargo, y en cualquier caso, la estimación de las futuras consecuencias directas de los deslizamientos (destrucción de elementos materiales o pérdidas de vidas) presenta una serie de incertidumbres, las cuales se incrementan para el caso de las pérdidas indirectas (todas aquellas que se producen sobre actividades económicas, etc.), que en este estudio no se han tomado en cuenta, lo que requiere de una información y análisis adicional, pues las pérdidas derivadas de la interrupción en las actividades diarias no se restringen al área afectada por el evento, sino que pueden tener efectos a grandes distancias.

Un aspecto de suma importancia que se presenta como aporte a los procesos de gestión local del riesgo, corresponde a la zonificación de escenarios de afectación diurno y nocturno, ello debe tenerse en cuenta para su incorporación en los planes, debido a que las afectaciones son diferentes en función de la cantidad de población que se encuentra en las viviendas y que las pérdidas calculables en este aspecto difieren de manera significativa.

## **AGRADECIMIENTOS**

La Universidad del Valle, específicamente el Observatorio Sismológico y Geofísico del Sur Occidente Colombiano expresa su agradecimiento a todas las entidades y personas que en una u otra forma aportaron en la ejecución y desarrollo del proyecto, logrando con ello, el estricto cumplimiento de los objetivos propuestos.

A la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC por la confianza depositada en la Universidad del Valle, representada en el Observatorio Sismológico al asignarle la ejecución del estudio y el apoyo que todas sus dependencias en todo momento prestaron.

A HIDRO-OCCIDENTE por sus valiosos comentarios y sugerencias como entidad interventora del proyecto.

De manera particular a INGEOMINAS, IDEAM, IGAC, Alcaldías Municipales de los municipios objeto de estudio, CENICAFE, Secretarías de Planeación, Defensa Civil, Bomberos, Cruz Roja, CORPOCERRANIAGUAS, entre otras por su colaboración y participación significativa.