



***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 DAGUA**

**Santiago de Cali, Agosto de 2010**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>PRESENTACIÓN</b>	<b>3</b>
<b>1. ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO</b>	<b>4</b>
1.1. INTRODUCCIÓN	4
1.2. OBJETIVOS	4
1.3. IMPORTANCIA	5
<b>2. ORGANIZACIÓN Y GRUPOS DE TRABAJO</b>	<b>7</b>
<b>3. DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</b>	<b>9</b>
<b>4. ESTUDIOS REALIZADOS</b>	<b>11</b>
4.1 HISTORICIDAD	11
4.2. TOPOGRAFÍA	12
4.3. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y CARTOGRAFÍA	13
4.4 GEOLOGÍA	16
4.5. GEOMORFOLOGÍA	17
4.6 GEOFÍSICA	18
4.7 HIDROLOGÍA	20
4.8. HIDRAULICA	21
<b>5. EVALUACIÓN DE AMENAZAS</b>	<b>23</b>
5.1. Amenazas por Remoción en Masa	23
5.2. AMENAZAS POR AVENIDAS TORRENCIALES	28
<b>7. SOCIALIZACIÓN</b>	<b>40</b>
<b>8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>43</b>
8.1. CONCLUSIONES	43
8.2. RECOMENDACIONES	46
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>50</b>

## **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 estipulan 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 Dagua.

## **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 Dagua.

### **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 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

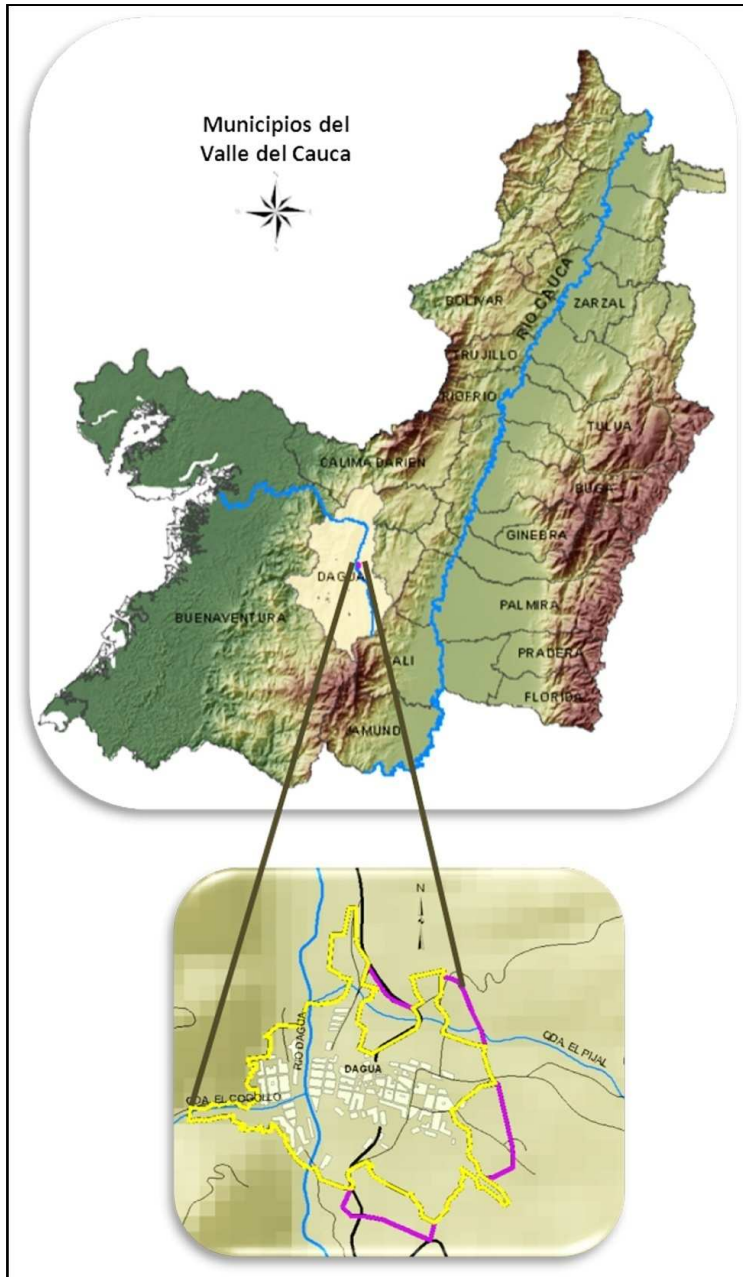
Experto: Samuel Almeida



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

El municipio de Dagua se encuentra localizado en el piedemonte de la Cordillera Occidental a 3°38'45" de Latitud Norte y 76°41'30" de Longitud Oeste del meridiano de Greenwich. Limita al norte con el municipio de Calima, al oriente con Restrepo, La Cumbre y Santiago de Cali, al sur con Santiago de Cali, al occidente con Buenaventura (Figura 1). A la fecha posee una población aproximada de 40.510 en un área de 866 Km, repartidos en población urbana 9.700 habitantes y población rural 30.810 habitantes. Se encuentra a una altura de 828 msnm, con una temperatura promedio de 24°C.

Está enclavado sobre una hondonada del costado izquierdo de la Cordillera Occidental al sur occidente de la República de Colombia, en una amplia zona del occidente del Departamento del Valle del Cauca, a orillas del río Dagua, dentro del área del Chocó Biográfico en el Sector del Litoral Pacífico de Colombia, cubriendo gran parte de la Cuenca hidrográfica del río Dagua (Foto 1).



**Figura 1.** Localización Municipio de Dagua



**Foto 1.** Vista del Municipio de Dagua, tomada del PLEC del municipio.

Dagua es el tercer municipio más grande del Valle del Cauca, después de Buenaventura y Calima. El territorio es montañoso y su relieve corresponde a la Cordillera Occidental; entre sus accidentes orográficos cuenta con los Farallones de Cali, Las Cuchillas de Las Brisas y Palo Alto, Los altos de Doña Mariana y Panecillo y Los cerros de Clorinda, Cubilete, La Virgen y Palo Alto. Es un ecosistema muy seco, con bajas precipitaciones y largos periodos de verano donde crece el bosque seco caracterizado por cactus y matorrales espinosos; las plantas y los animales que allí habitan se han adaptado para vivir en zonas áridas.

## **4. ESTUDIOS REALIZADOS**

### **4.1 HISTORICIDAD**

El estudio tuvo como objetivo la búsqueda de información para establecer la historicidad de los eventos de Movimientos en masa, Inundaciones, Avenidas torrenciales y Sismos ocurridos en el Municipio de Dagua en el marco del Proyecto MIDAS.

En este sentido y siguiendo con la metodología intensivista planteada, se procedió a recolectar información de varias fuentes: primero, se consultaron los periódicos, para luego contrastar las noticias con documentos del CLOPAD del municipio; después se acudió a consultar la información

pertinente para el estudio que tiene otras entidades como el Cuerpo de Bomberos Voluntarios, y los informes de la CVC correspondientes al Municipio.

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 y avenidas torrenciales; de esta forma se identificaron por lo menos unos 37 eventos. Con información obtenida de dichos registros se pudo construir el mapa de historicidad.

## **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.

Para el estudio en el municipio de Dagua se definieron un total de 8 puntos de control con precisión de 1 a 5 cm ajustados en red para controlar los estudios topo-batimétricos. La ubicación de estos puntos se definió principalmente con criterios topográficos para controlar las poligonales geoméricamente abiertas, cada tramo no mayor a 5 Km, con el fin de posibilitar su ajuste de errores tanto angulares como lineales.

Se construyó el modelo de red de fotocontrol para el municipio y se diseñó su geoposicionamiento GPS con apoyo en el punto MAGNA GPS VT 45 ubicado en el cerro de las tres cruces del municipio de Dagua.

En el municipio de Dagua se seleccionaron 8 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 (Figura 2).



*Figura 2. Foto mosaico con todos los puntos de control para el municipio de Dagua.*

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

La información cartográfica recopilada y disponible en formato digital es la correspondiente al Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) del municipio y la suministrada por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC.

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 Dagua se presenta en escala de impresión 1:5000 y se realizó a partir de la información cartográfica a escala 1:5000, producto de restitución fotogramétrica de las fotografías aéreas disponibles y más recientes adquiridas en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi a escala 1:15250 correspondientes a las 123,124 y 125 de la línea de vuelo C-2783 F-1 del año 2006 escaneadas a una resolución de 15 micrones. La restitución se realizó en modo 3D utilizando herramientas CAD y software de fotogrametría, los archivos de salida son Archivos DGN y/o DXF.

### **Mapa Geológico Integrado**

El mapa geológico incluye las unidades geológicas y estructurales identificadas por el grupo de geología, la representación geométrica de ésta temática se realizó a partir de la digitalización de la cartografía realizada por el grupo, producto del trabajo de campo y fotointerpretación de fotografías aéreas disponibles de los años 1957, 1998 y 2006 y el modelo digital de elevación de 30 metros de resolución, en este mapa se integraron los procesos morfodinámicos identificados por el grupo. Este mapa es realizado en el sistema de referencia Magna sobre la base cartográfica a escala 1:5000.

### **Mapa Geomorfológico y Morfodinámico**

Con base en el mapa geológico, el grupo de geología establece las unidades geomorfológicas clasificadas según el origen como denudacional, fluvial y denudacional estructural. Este mapa es realizado en el sistema de referencia Magna sobre la base cartográfica a escala 1:5.000 e impreso a igual escala.

### **Mapa de Unidades Superficiales y Morfodinámico**

Partiendo de la compilación realizada por el grupo de geología de la información de interés, este grupo realizó la fotointerpretación de los procesos morfodinámicos y su verificación con trabajo de campo, realizando la cartografía de ésta temática, integrando estos procesos a las unidades geológicas superficiales, dentro de las cuales se identifican suelo residual, suelos coluviales, llanuras aluviales y abanicos aluviales. Este mapa es realizado en el sistema de referencia Magna sobre la base cartográfica a escala 1:5.000 e impreso a escala 1:5.000.

### **Mapa de Uso de Suelo Urbano**

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 PBOT, actualizando los usos dentro del perímetro urbano y de la zona de expansión sobre cartografía base a escala 1:5.000.

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 1:5000, y está impreso a escala 1:5000.

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

Para la generación de esta temática, el grupo de Hidrología recopiló la información necesaria de las estaciones y se hizo 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.

Las isolíneas de precipitación máxima cubren parte de los municipios de Buenaventura, Darién y Dagua, de la cual se extrajeron las isolíneas correspondientes al área de estudio del municipio de Dagua.

Los mapas de isoyetas mensuales y anual se realizaron sobre la base cartográfica de la CVC a escala 1:25.000 a nivel del municipio de Dagua, previamente migrada al dátum Magna, e impresos a escala 1:250.000. Los mapas de precipitaciones máximas de 24, 48 y 72 horas se presentan con las

tasas de retorno de 10, 30 y 100 años, sobre la base cartográfica de la CVC a escala 1:25.000, en 42x50 cm a escala 1:20.000, en el sistema de referencia Magna.

#### **Mapa de Zonas con mayor frecuencia de Inundaciones y Deslizamientos**

Este mapa contiene los sitios identificados por el grupo de historicidad, donde se tiene registro de ocurrencia de algún evento de inundación. Se realizó sobre la base cartográfica a escala 1:5000 e impreso a escala 1:10000.

#### **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 de Elevación Digital**

El modelo digital de elevación (MDE) es producto de la integración de las curvas de nivel generadas en el proceso de restitución fotogramétrica, los levantamientos topográficos correspondientes a las secciones transversales realizadas en el Municipio y las curvas de nivel de las planchas 1:5000 de CVC, con resolución de 5 metros; éste MDE es utilizado como insumo por los grupos de geotecnia e hidráulica para los respectivos análisis para la determinación de la amenaza por fenómenos de movimientos en masa y avenidas torrenciales.

## **4.4 GEOLOGÍA**

El estudio contempló dentro de sus actividades la descripción de la geología, las formaciones superficiales, la geomorfología, los fenómenos morfodinámicos y de remoción en masa, presentes en la cabecera municipal de DAGUA y sus alrededores, con el fin de establecer las bases de un mejor conocimiento de las amenazas geológicas, direccionadas a evaluar su posible afectación a sectores vulnerables de la población y su infraestructura.



Al tener en cuenta que el alcance del trabajo geológico y sus temas afines es la identificación de las amenazas por remoción en masa; el análisis que se realizó de los mapas geológicos existentes, fotografías aéreas y bibliografía en general, se orientó prioritariamente a la selección de las formaciones geológicas, geoformas y estructuras propensas para la ocurrencia de estos fenómenos: escarpes, pendientes abruptas, rocas meteorizadas, sitios con fracturamiento intenso, zonas de falla, coluviones, zonas con fenómenos de remoción en masa antiguos y actuales y sitios de erosión potencial del río Dagua y algunas quebradas corrientes de agua menores.

Las zonas seleccionadas o sitios *a priori*, como potencialmente inestables o propensas para la ocurrencia de fenómenos morfodinámicos, se plasmaron en un mapa de pendientes, con el drenaje y las curvas de nivel sobrepuestos, con el fin de utilizarse como guía en el trabajo de campo (mapa base o preliminar); además, se adicionaron rasgos estructurales y litológicos. Antes de iniciar el trabajo de campo, se confrontó la información del *mapa preliminar* con la información de historicidad sobre amenazas geológicas. También se captó información directa de algunas personas de la región sobre vivencias o conocimiento de lugares donde han tenido lugar estos fenómenos en épocas anteriores.

Los datos obtenidos en trabajo de terreno y precisados con fotointerpretación directa en el campo, se plasmaron en el mapa geológico y geomorfológico a escala 1:5.000 y se transfirieron a mapas de presentación final a escala 1:10.000. El mapa de *unidades superficiales* se elaboró a partir de la interpretación de los mapas anteriores.

#### **4.5. GEOMORFOLOGÍA**

El método de mapeo geomorfológico utilizado en el presente trabajo se basó en el “Sistema ITC” (Verstappen et. al., 1975 y Van Zuidam et. al., 1979), pero de acuerdo a la finalidad del Proyecto, el mapa geomorfológico, también se basa en la agrupación de las diferentes formas de la superficie del terreno dentro de una variedad de categorías, con base en la similitud de las características del terreno y de rangos de pendientes dominante. El mapa geomorfológico, se elaboró mediante la interpretación de fotografías aéreas, y posteriormente se realizó control de campo que consistió en la revisión de las unidades geomorfológicas obtenidas mediante observaciones de campo y fotointerpretación, tomando como orientación el *mapa geológico*. Se presentaron algunas dificultades al clasificar unidades que comprenden una superposición entre unidades

denudacionales y estructurales, por lo tanto se unen los dos orígenes traslapantes en una clase única: formas de origen estructural/denudacional. De igual manera, existen superposiciones entre origen denudacional y deposicional; tomándose una clase única más práctica *denudacional/ agradacional*.

### **Procesos Morfogenéticos**

Los agentes geodinámicos en la Cordillera Occidental, a gran escala, han dado lugar a procesos morfogenéticos que han actuado con diferente intensidad en las rocas de afinidad oceánica o Formación Volcánica y la Formación Espinal, desde finales del Cretáceo, las cuales constituyen el basamento geológico del municipio de Dagua. Dentro de este contexto, el municipio de Dagua, comprende dos dominios principales: la región montañosa fuertemente quebrada al Oeste de la población y de la falla de Dagua-Calima, y la región de lomas con topografía moderada situada al Este de ella, separadas por los depósitos asociados al valle aluvial del río Dagua.

## **4.6 GEOFÍSICA**

Previa a la iniciación de las labores de campo, se localizaron cada una de las líneas para realizar los ensayos geofísicos: Líneas de Refracción Sísmica. La prospección sísmica estudia la propagación en el subsuelo de una sacudida producida por una explosión. El parámetro medido es el tiempo de recorrido, función de la elasticidad de las rocas.

El dispositivo de medida consta en superficie de una fuente de explosión (E) y una línea de receptores sonoros (geófonos) regularmente espaciados y un registrador (sismógrafo). En la línea de recepción los geófonos regularmente espaciados, están agrupados en 12 en cada línea, la longitud es función de la profundidad de investigación y de la precisión del trabajo en la prospección.

### **Interpretación Geofísica**

Se ejecutó mediante la interpretación de cada una de las dromocrónicas de los ensayos de refracción sísmica afinada en un programa de computación, se realizaron 11 líneas de refracción sísmica distribuidas en las zonas urbana y de expansión. Para la interpretación de los sismogramas se utilizó el programa SEISVIEW, la profundidad de exploración alcanza los 15.00 metros. En este documento se incluye una muestra representativa de los ensayos, concretamente las primeras 3 líneas sísmicas.

### ***Línea sísmica L-1***

Se corrió en la zona de expansión localizada en el extremo nororiental de la cabecera municipal, en el centro de dicha zona, en dirección E-W y una longitud de 38 metros, para una profundidad de exploración cercana a los 15.00 metros.

El resultado define dos horizontes de meteorización; el primero hasta una profundidad de 1.20 metros y velocidad de 243 metros/segundo, correlacionable con suelos residuales de color amarillento-rojizo con presencia de bolos de diabasa presentando meteorización “Esferoidal”, de tamaños hasta de 1.00 metro de diámetro, dichos suelos tienen una consistencia blanda. El segundo horizonte corresponde a la roca meteorizada perteneciente a la Formación Volcánica con velocidad de 715 metros/segundo, de consistencia dura.

### ***Línea sísmica L-2***

Se corrió en la misma zona de expansión al norte de ésta, en dirección E-W y longitud de 38 metros. La interpretación de la dromocrónica permite plantear el siguiente resultado.

Como resultado de esta actividad se definen tres horizontes de velocidad; el primero alcanza una profundidad de 0.90 metros y velocidad de 315 metros/segundo, correlacionable con suelos residuales de consistencia blanda a media. El segundo horizonte corresponde a la roca meteorizada de consistencia media-dura, alcanza una profundidad de 2.70 a 3.90 metros y velocidad del orden de 518 metros/segundo. El tercer horizonte corresponde muy posiblemente a la roca muy fracturada perteneciente a la Formación Volcánica con velocidad del orden de 750 metros/segundo.

### ***Línea sísmica L-3***

Se corrió entre el área de expansión oriental y nororiental, en dirección E-W y una longitud de 38 metros. La interpretación de la dromocrónica permite plantear el siguiente resultado.

Resultados que definen tres horizontes de velocidad; el primero alcanza una profundidad de 1.00 a 2.00 metros con velocidad promedio del orden de 310 metros/segundo, correlacionable con suelos transportados color amarillento rojizo de consistencia blanda-media. El segundo horizonte corresponde a la roca meteorizada con velocidad de 600 metros/segundo de consistencia dura, solamente se presenta al extremo oriental de la línea de refracción sísmica. El tercer horizonte corresponde al basamento rocoso, constituido por diabasas pertenecientes a la Formación Volcánica, de consistencia muy dura y velocidad de 950 metros/segundo.

Los ensayos de refracción sísmica se realizaron en las áreas de expansión de la cabecera municipal de Dagua. La profundidad de exploración geofísica alcanza los 15.00 metros. La refracción sísmica nos define tres horizontes de velocidad a saber:

*Primer Horizonte*, corresponde a suelos residuales de consistencia blanda, que alcanzan profundidades entre 1.00 a 2.00 metros con velocidades promedio de 600 a 1250 pies/segundo.

El *Segundo Horizonte*, alcanza profundidades entre 2.00 a 7.70 metros y velocidades del orden de 1410 a 2460 pies/segundo, correlacionable con roca meteorizadas de consistencia dura.

El *Tercer Horizonte*, corresponde a la roca muy fracturada a fracturada pertenecientes a la Formación Volcánica con velocidades mayores de 3000 pies/segundo respectivamente.

Es de recordar que los ensayos ejecutados corresponden a medidas indirectas tomadas en superficie; por lo tanto; dichos resultados serán una base para la toma de decisiones.

## **4.7 HIDROLOGÍA**

Entre las actividades realizadas en el estudio para el municipio de Dagua, se encuentran, la revisión de información secundaria, se recolectó y analizó información hidrometeorológica de estaciones cercanas, para lo cual se consultaron algunas instituciones como CVC, CENICAFE, SMURFIT Cartón de Colombia e IDEAM.

Se realizaron dos visitas al municipio, la primera de reconocimiento y la segunda con el fin de analizar el uso del suelo, la infiltración y los perfiles de suelo, además se aforaron El Río Dagua y la Quebrada el Cogollo con el fin de generar algunas de las entradas de los modelos hidrológicos e hidráulicos utilizados para analizar el impacto de las mismas sobre el municipio. Con los datos de las estaciones seleccionadas se realizó un análisis temporal y espacial de la precipitación para determinar precipitaciones máximas, el régimen de humedad en la zona, también se generaron algunos mapas con las isoyetas para el municipio y, por último, se hizo el análisis de intensidad - frecuencia y duración de las lluvias máximas.

Entre las principales fuentes hídricas que amenazan la zona urbana y de expansión de la cabecera del municipio Dagua se encuentran el río Dagua, la Quebrada el Cogollo y la Quebrada San Rafael también llamada Quebrada El Pijal. Aunque el río Bitaco es uno de los que más aporta caudal al río Dagua, este río no es una amenaza al casco urbano del municipio de Dagua debido a que desemboca en el río Dagua aguas abajo del municipio en el sector de Loboguerrero.

Para complementar el análisis de las avenidas torrenciales se desarrollaron algunos aforos en la zona urbana. Además, se instaló un limnómetro provisional. Es importante señalar que los aforos se hicieron en época de poca precipitación (época de estiaje), razón por la cual los caudales obtenidos se pueden considerar como caudal base.

#### **4.8. HIDRAULICA**

Con base en el análisis de la información recopilada en la CVC de informes técnicos y las investigaciones de campo realizadas en desarrollo del presente estudio, se logró reunir y calcular información valiosa en cuanto a las características geométricas, hidráulicas y sedimentológicas del río Dagua, como pendiente del cauce, geometría del canal, curvas granulométricas del material del lecho, rugosidad, caudales y niveles.

A partir de esta información, las observaciones directas en campo y la revisión bibliográfica acerca de las características hidráulicas y sedimentológicas en ríos de montaña se estimó la rugosidad del río Dagua y sus principales tributarios en la zona de interés del proyecto. Muchas de las expresiones reportadas en la literatura técnica para estimar la rugosidad en un cauce de pendiente fuerte y material del lecho grueso son función de diferentes parámetros, tales como caudal, profundidad, características sedimentológicas y pendiente.

##### ***Características generales de la cuenca del río Dagua y su cauce principal***

La cuenca hidrográfica del río Dagua se encuentra ubicada al occidente del departamento del Valle del Cauca, en jurisdicción de los municipios de Restrepo, La Cumbre, Dagua y Buenaventura. Tiene una extensión aproximada de 140121 ha, de las cuales 57220 ha corresponden al municipio de Dagua, equivalentes al 40.84% del área total de la cuenca. La cuenca del río Dagua se encuentra

conformada por siete áreas de drenaje, las cuales son la zona alta, zona media, zona baja, quebrada Los Indios, quebrada Pepitas, río Escalerete y río Bitaco.

La cuenca presenta una forma de triángulo equilátero. Esta característica y sus formaciones morfogénicas (debidas al origen y estructura del material parental) y formaciones fisiográficas (determinadas por la conformación del paisaje) constituyen un factor que la definen como un sistema hidrológico de respuesta rápida y de características torrenciales. La superficie exhibe pequeñas corrientes que se encajonan debido a la acción de grandes avenidas que circulan en un periodo de tiempo relativamente corto, las cuales erosionan el lecho en un suelo de textura arcillosa originando cárcavas; el proceso es un poco más complejo ya que incluye otros fenómenos físicos e incluso antrópicos. En el extremo occidental, las fuertes pendientes en las laderas altas y la alta precipitación conforman una red hídrica numerosa y turbulenta, cuyas quebradas en el punto de cambio brusco de la pendiente (coluvios de remoción) se desbordan durante las crecidas, dejando al lado restos de material rocoso y terrosos provenientes de las partes altas y de los taludes laterales del río. La cuenca se divide fisiográficamente en parte alta y parte baja, regiones bien diferenciadas además por sus características biofísicas y socioeconómicas. La parte alta está distribuida entre los municipios de Dagua, La Cumbre, Buenaventura, Restrepo, Vijes y Yotoco.

### ***Rugosidad***

Para estimar la rugosidad del cauce del río Dagua y la quebrada El Cogollo en el tramo de estudio, se evaluaron 14 expresiones que, en principio, se ajustan a las condiciones de los cauces en relación a la pendiente del fondo, la granulometría y la geometría del cauce. Estas son las formulaciones propuestas por Limerinos (1970), Griffiths (1981), Ugarte & Méndez (1997), Knighton (1998), Samora (1993), Grant (1997), Charlton (1978), Golubtsov (1969), Riggs (1976), Williams (1978), Jarret (1984), Meunier (1989), Dingman & Sharma (1997), Bjerklie (2003) y López & Barragán (2004). Estas ecuaciones están en función del radio hidráulico, el área, la pendiente y los diámetros característicos del material del lecho, como el  $d_{50}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{90}$ . Las expresiones se aplicaron para el valor de caudal estimado el día de la realización del aforo y las características geométricas de la sección transversal de aforo del río Dagua y la quebrada El Cogollo en el puente de la Harinera del Valle y en el balneario El Peñón, respectivamente. El valor de la pendiente media del río Dagua usado es del 2.6% (Fuente: Formulación de planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas en el Valle del Cauca, convenio 168 de 2003 – CVC/Universidad del Valle, 2005), y el valor de la pendiente media de la quebrada El Cogollo fue asumida como del 5% (valor estimado por observación directa en campo).

Para el río Dagua, las formulaciones que mejores resultados arrojaron fueron las formulaciones de Ugarte & Méndez (1994) y Samora (1993). Las demás expresiones arrojaban valores excesivamente altos (valores de rugosidad de Manning mayores que  $0,3 \text{ s/m}^{1/3}$ ) o muy bajos (valores de rugosidad de Manning menores que  $0,033 \text{ s/m}^{1/3}$ ), considerados como no representativos de la rugosidad de un cauce como el río Dagua, teniendo en cuenta sus características morfológicas y sedimentológicas (material granulares gruesos de diferentes tamaños).

La ecuación de Ugarte & Méndez de tipo logarítmico fue estimada a partir de datos de Jarrett (1984), Bathurst (1985) y Madrid (1992), correspondiendo este último a ríos de grava chilenos. La ecuación de Samora de tipo logarítmico fue obtenida integrando datos de varias fuentes bibliográficas.

Para la quebrada El Cogollo, la formulación de Limerinos (1970) no pudo ser aplicada debido al gran tamaño de los sedimentos del cauce ( $d_{50} = 500 \text{ mm}$ ) y la alta pendiente media del lecho. Las formulaciones que arrojaron los resultados más representativos de la rugosidad para la quebrada El Cogollo son las expresiones de Samora (1993) y Griffiths (1981).

La ecuación de Griffiths de tipo logarítmico fue ajustada a partir de 84 datos propios y otros datos de Barnes (1967), Judo (1969), Bathurst (1978) y Wolman (1957) correspondientes a ríos de gravas y sin transporte sólido.

## **5. EVALUACIÓN DE AMENAZAS**

### **5.1. Amenazas por Remoción en Masa**

La frecuente ocurrencia de fenómenos de remoción en masa en el municipio de Dagua se encuentra documentada en las diversas fuentes consultadas y referenciada en estudios realizados con anterioridad.

Para el municipio de Dagua se contempla el estudio de amenaza por fenómenos de remoción en masa y avenidas torrenciales, 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.

Para evaluar la susceptibilidad del terreno, en el desarrollo de este proyecto se utilizó el método estadístico bivariado, incluido en los métodos cuantitativos de evaluación de susceptibilidad. El



procesamiento de la información base y los resultados fueron integrados por medio de herramientas SIG, usando el formato *raster* que implica la división de la zona en unidades de tamaño regular, normalmente cuadradas, donde en cada celda se asigna un valor para un factor determinado.

Los principales resultados obtenidos involucran los diferentes niveles susceptibilidad que se describen a continuación:

**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 la zona enmarcada dentro de susceptibilidad alta, corresponde a la zona occidental de laderas escarpadas en donde se pueden visualizar actuales nichos y procesos de erosión.

**SUSCEPTIBILIDAD MEDIA:** Las zonas de susceptibilidad media están relacionadas con pendientes topográficas bajas del casco urbano. Dichas zonas se caracterizan por presentar pendientes relativamente suaves, y en todos los casos inferiores a 25 grados, además corresponde a la zona con suelos residuales de la formación volcánica.

**SUSCEPTIBILIDAD BAJA:** Zonas con mínimas o ninguna condición favorable a la inestabilidad. Corresponde al sector muy plano con asentamientos y pastos, en la ribera del río Dagua.

### ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR ESCENARIOS

Para el análisis determinístico en función del factor de seguridad, se considerarán diferentes escenarios de acuerdo con la profundidad del nivel freático y la aceleración del terreno.

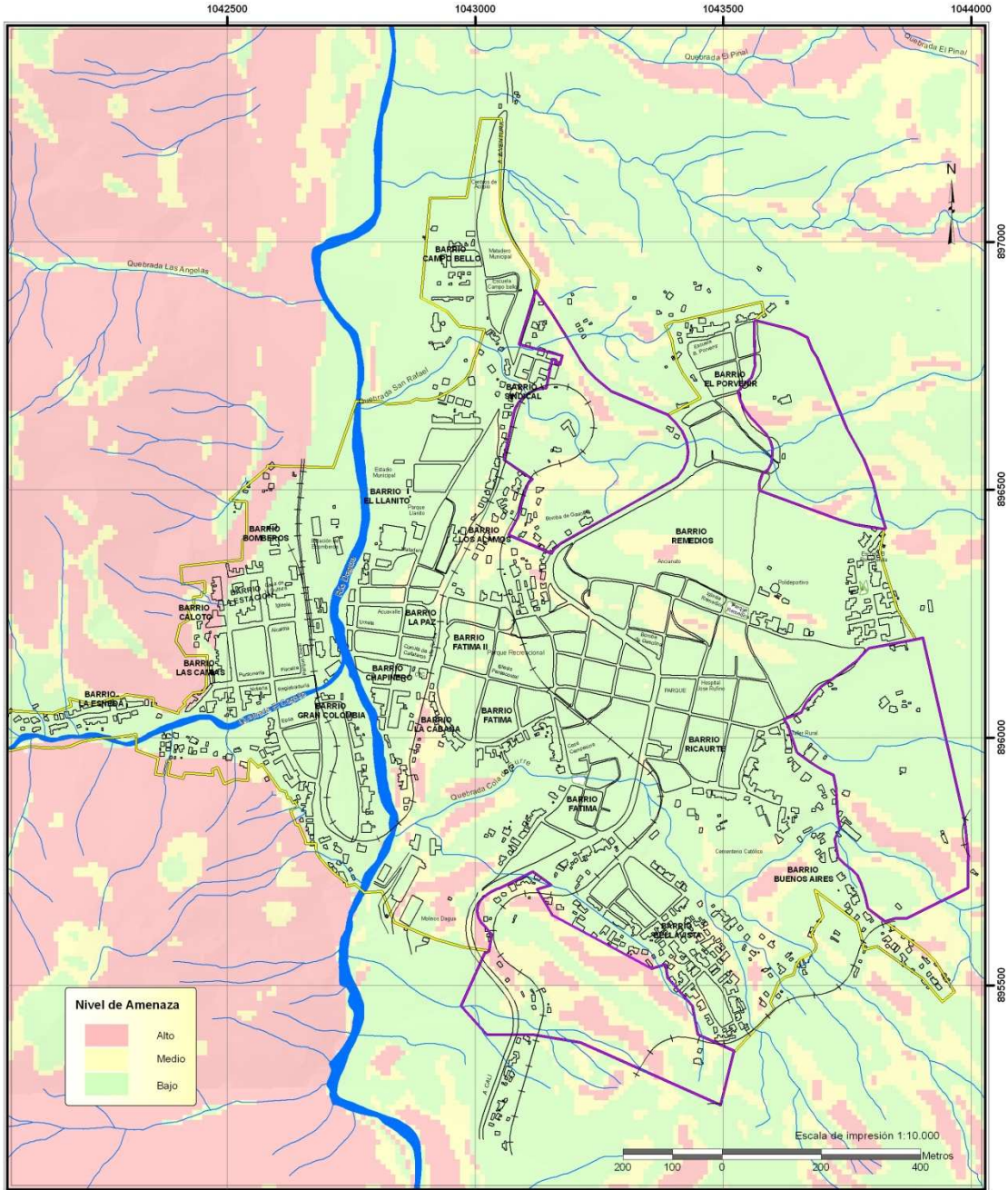
Teniendo presente el efecto adverso de los agentes detonantes lluvia y sismo, se generaron tres escenarios, en los que se tiene en cuenta de manera independiente el efecto del agua, el sismo y finalmente el efecto combinado de los anteriores agentes externos (Tabla 2).

**Tabla 1.** 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

De esta manera en la Figura 4 se evidencia la zonificación de amenazas por fenómenos de remoción en masa en el municipio de Dagua.



<p><b>CONVENCIONES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border-bottom: 1px solid black; width: 20px; display: inline-block;"></span> Perimetro Urbano</li> <li><span style="border-bottom: 1px dashed black; width: 20px; display: inline-block;"></span> Perimetro de Expansión</li> <li><span style="border-bottom: 1px solid black; width: 20px; display: inline-block;"></span> Perimetro de Manzana</li> <li><span style="border-bottom: 1px solid blue; width: 20px; display: inline-block;"></span> Drenaje Doble</li> <li><span style="border-bottom: 1px solid blue; width: 20px; display: inline-block;"></span> Drenaje sencillo</li> <li><span style="border-bottom: 1px solid black; width: 20px; display: inline-block;"></span> Sendero</li> <li><span style="border-bottom: 1px solid black; width: 20px; display: inline-block;"></span> Carretera sin pavimentar angosta</li> <li><span style="border-bottom: 1px solid black; width: 20px; display: inline-block;"></span> Carretera pavimentada de dos o más calzadas</li> </ul>	 <p>UNIVERSIDAD DEL VALLE CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA Observatorio Sismológico y Geofísico del SurOccidente</p>	<p>FECHA: Julio 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>
---	---	---

**FIGURA 3**  
**AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA**  
**MUNICIPIO DE DAGUA**

## 5.2. AMENAZAS POR AVENIDAS TORRENCIALES

El municipio de Dagua ha tenido problemas por avenidas torrenciales, debido al desbordamiento del río Dagua y de algunas quebradas y acequias durante periodos de invierno intenso. En el presente estudio se determinó el nivel de amenaza por avenidas torrenciales en el perímetro urbano y las zonas de expansión urbana. Para ello se aplicó una metodología para la determinación de los mapas de amenaza, de acuerdo con los niveles de amenaza definidos. Además se efectuó la caracterización hidráulica y sedimentológica de los cauces de la zona de estudio con el fin de implementar un modelo matemático para simular el fenómeno de avenidas torrenciales.

Históricamente varios de los cauces que influyen el municipio de Dagua han generado problemas por avenidas torrenciales, se destacan el río Dagua y las quebradas El Cogollo, San Rafael y Cola de Gurre. Estas corrientes de agua son consideradas cauces de montaña, los cuales presentan diferencias importantes con respecto a los ríos aluviales o de llanura debido a las distintas condiciones topográficas, geológicas, hidrológicas, hidráulicas, sedimentológicas y geomorfológicas. Los ríos de montaña se caracterizan por la alta pendiente de su cauce, sedimentos de mayor tamaño (gravas, guijarros, cantos y bolos) que causan una mayor resistencia al flujo, flujos altamente turbulentos con velocidades relativamente altas y profundidades pequeñas; además, presentan una morfología variable espacialmente y reducida temporalmente excepto cuando son intervenidos (extracción intensiva de materiales del lecho, por ejemplo) y al producirse eventos extremos.

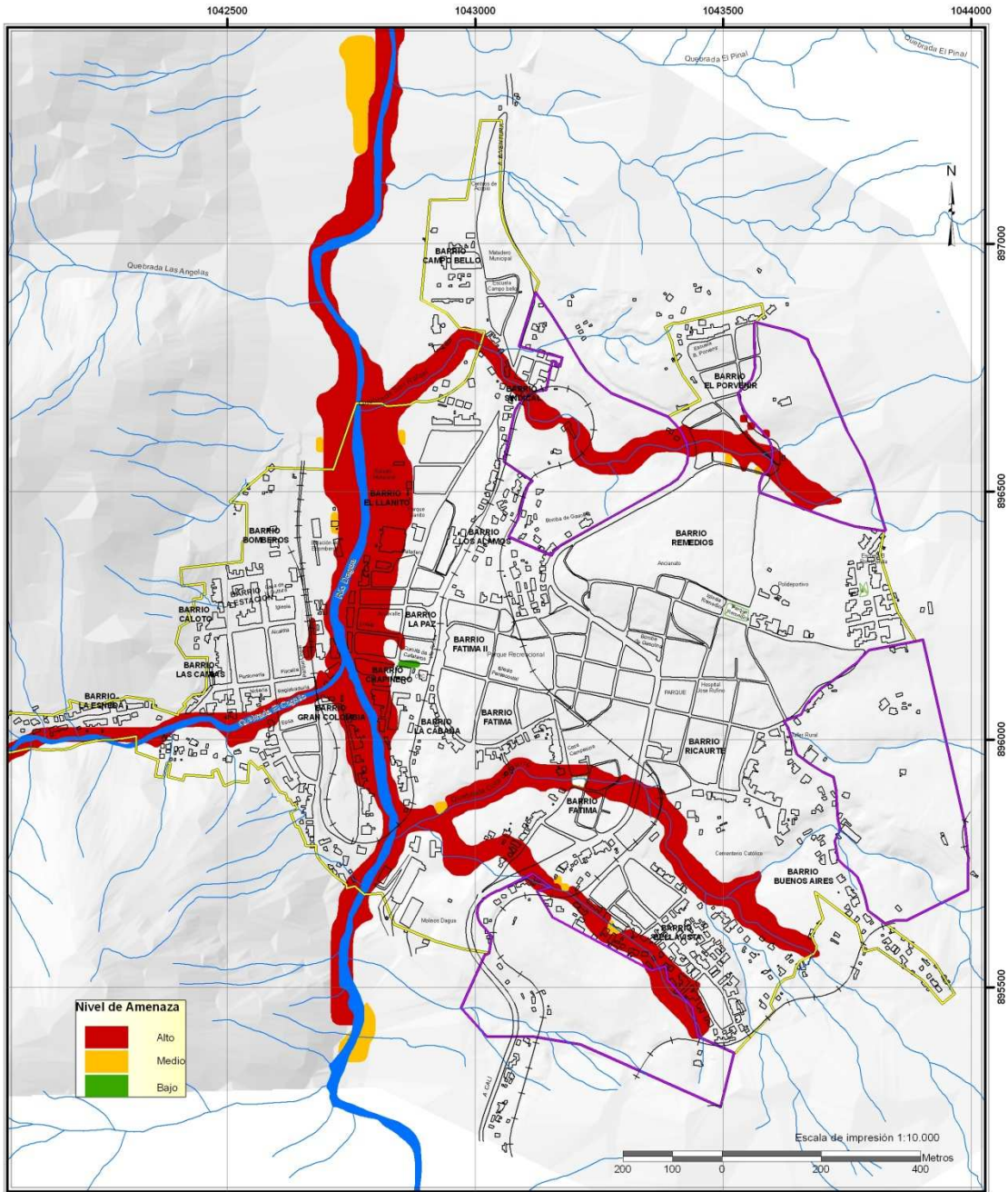
Una vez obtenidos los mapas de avenidas torrenciales para los eventos correspondientes a periodos de retorno de 10, 30 y 100 años se procedió a implementar la metodología de amenaza (niveles de intensidad vs. niveles de frecuencia) para determinar los mapas de amenaza por avenidas torrenciales, permitiendo así establecer en cada escenario los niveles de amenaza (alta, media y baja). Para este fenómeno se determinó el mapa de amenaza global, considerando en cada espacio del territorio (o celda de la malla computacional) la situación o nivel de amenaza más crítico establecido para los tres periodos de retorno evaluados (10, 30 y 100 años). El mapa de amenaza global por avenidas torrenciales finalmente obtenido para el municipio de Dagua se presenta en la Figura 4. En este mapa se indica la zonificación de los diferentes niveles de amenaza por avenidas torrenciales.

**Nivel de amenaza alto:** zona en la cual pueden ocurrir daños severos en núcleos urbanos poniendo en riesgo la estabilidad de las estructuras y la integridad de sus ocupantes. Esta zona no debe

urbanizarse y debe contar con una protección especial. Se debe realizar el diseño y construcción de estructuras de protección para reducir este nivel de amenaza en las zonas ya construidas; de lo contrario, se requiere planear y ejecutar su reubicación.

**Nivel de amenaza medio:** zona en la cual pueden ocurrir daños moderados en núcleos urbanos (eventualmente se podría llegar a poner en riesgo la estabilidad de las estructuras y la integridad de sus ocupantes). Se debe prohibir todo tipo de construcción, exceptuando parques, instalaciones agropecuarias, líneas de transmisión y conducciones hidráulicas. Se debe realizar el diseño y construcción de estructuras de protección para reducir este nivel de amenaza en las zonas ya construidas; de lo contrario, se requiere planear y ejecutar la reubicación de las diferentes construcciones con excepción de parques, instalaciones agropecuarias, líneas de transmisión y conductos hidráulicos.

**Nivel de amenaza bajo:** zona en la cual pueden presentarse daños leves en núcleos urbanos. Se permiten las siguientes construcciones: (a) viviendas y edificaciones de dos o más pisos, donde el segundo piso quedará por lo menos en el nivel del límite de la crecida, y protegidas estructuralmente contra crecidas; (b) parques, actividades de recreación y deportivas; (c) instalaciones agropecuarias; (d) instalaciones industriales, comerciales, estacionamientos y áreas de almacenamiento; (e) servicios básicos, líneas de transmisión, calles y puentes, siempre y cuando estén correctamente proyectados. Se recomienda realizar el diseño y construcción de estructuras de protección y mitigación (diques, muros, obras de desviación de caudales, drenajes, etc.) para minimizar este nivel de amenaza.



<p><b>CONVENCIONES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border-bottom: 1px solid black; width: 20px; display: inline-block;"></span> Perimetro Urbano</li> <li><span style="border-bottom: 1px dashed black; width: 20px; display: inline-block;"></span> Perimetro de Expansión</li> <li><span style="border-bottom: 1px solid black; width: 20px; display: inline-block;"></span> Perimetro de Manzana</li> <li><span style="border-bottom: 1px solid blue; width: 20px; display: inline-block;"></span> Drenaje Doble</li> <li><span style="border-bottom: 1px solid blue; width: 20px; display: inline-block;"></span> Drenaje sencillo</li> <li><span style="border-bottom: 1px dashed black; width: 20px; display: inline-block;"></span> Sendero</li> <li><span style="border-bottom: 1px solid black; width: 20px; display: inline-block;"></span> Carretera sin pavimentar angosta</li> <li><span style="border-bottom: 1px solid black; width: 20px; display: inline-block;"></span> Carretera pavimentada de dos o más calzadas</li> </ul>	 <p>UNIVERSIDAD DEL VALLE CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA Observatorio Sismológico y Geofísico del SurOccidente</p>	<p><b>FECHA:</b> Julio 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>
<p><b>FIGURA 6</b> <b>AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES</b> <b>MUNICIPIO DE DAGUA</b></p>		

Figura 4. Amenazas por Avenidas Torrenciales en el municipio de Dagua

## 6. VULNERABILIDAD Y 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 la 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.

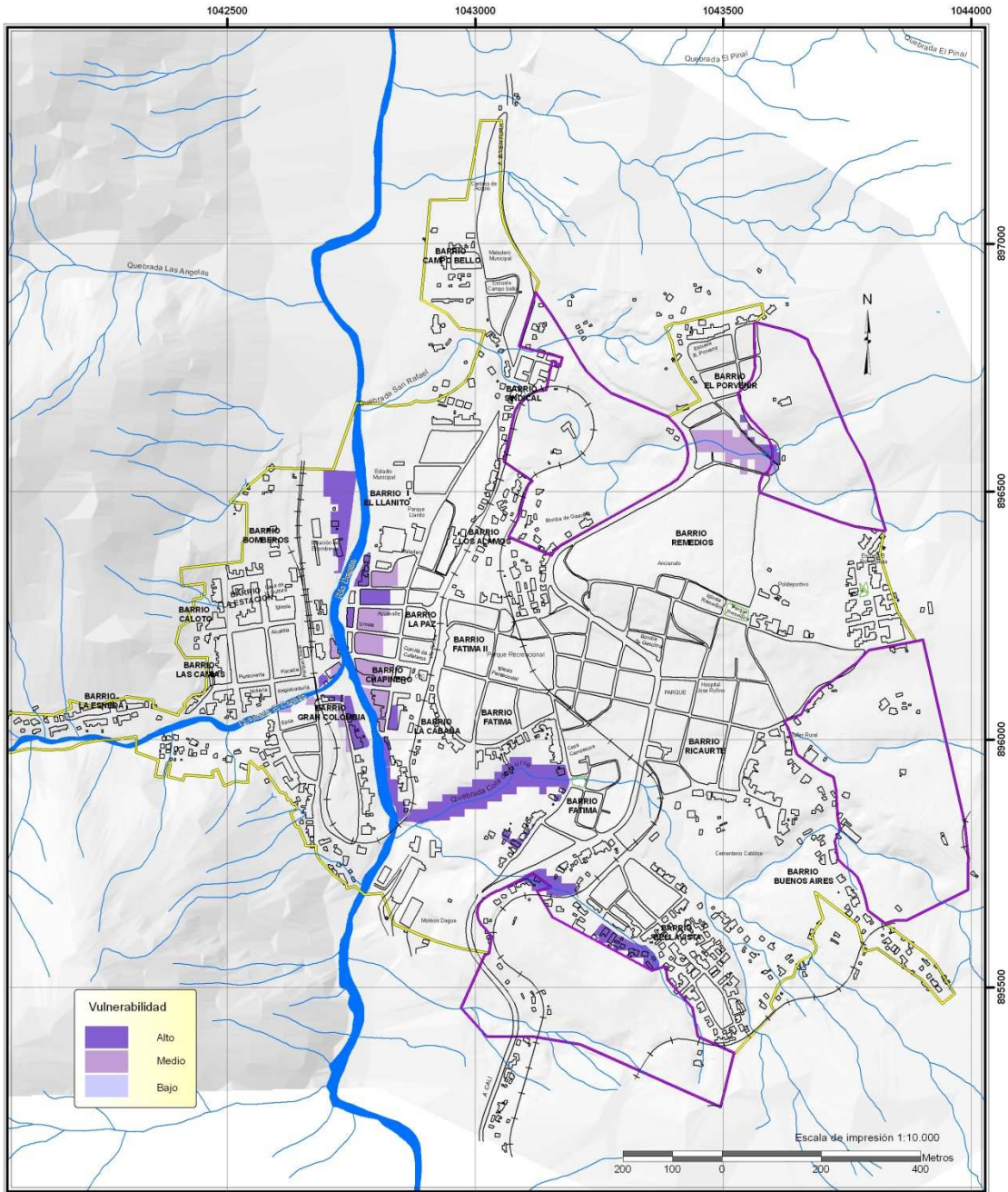
A partir de la evaluación de la vulnerabilidad ante inundaciones y avenidas torrenciales, se logró identificar que las viviendas y las personas que las habitan, presentan unos niveles de exposición a la amenaza relativamente alta y unas condiciones de fragilidad bastante delicadas. Las siguientes figuras representan la distribución espacial de la vulnerabilidad global para la cabecera municipal de Dagua, tanto ante fenómenos de remoción en masa como ante avenidas torrenciales; en la Figura 5 podemos apreciar un mapa con los diferentes niveles de vulnerabilidad global (integración de la vulnerabilidad estructural con la corporal) ante la eventualidad de ocurrencia de un deslizamiento; como resultado se obtiene que cerca del 70% del área de estudio presenta niveles de vulnerabilidad media, mientras que el 30% del área restante presenta niveles de vulnerabilidad Alta.

Por su parte, la Figura 6 representa los niveles de vulnerabilidad global ante la eventualidad de una avenida torrencial. Este mapa, al igual que el mapa de vulnerabilidad global ante remoción en masa, integra la vulnerabilidad corporal y la vulnerabilidad estructural en un solo mapa global. Como resultado se muestra que cerca del 34% del área estudiada presenta niveles de vulnerabilidad media, mientras que el 66% del área presenta niveles altos de vulnerabilidad.

La relación entre el peligro de un fenómeno natural y las condiciones vulnerables creadas por la comunidad en su entorno físico y social es lo que determina el grado de afectación ó modo de daño que pueda sufrir la misma; de esta forma se determinó el riesgo en términos de afectación o daño para cada uno de los fenómenos naturales evaluados. Las siguientes figuras reflejan los resultados obtenidos en cuanto a afectación global tanto para deslizamientos como para avenidas torrenciales. La Figura 7 representa la distribución de los diferentes niveles de afectación ante deslizamientos, donde se aprecia que aproximadamente el 69% se encuentran bajo un nivel de daño bajo; seguido de un nivel de daño moderado el cual ocupa tan solo el 5% del área y, por último, encontramos un nivel de daño alto ocupando el 26% del área expuesta. Así, las zonas de mayor afectación se encuentran localizadas principalmente al Este de la cabecera municipal sobre algunas zonas de montaña cuyos suelos son susceptibles a deslizarse bien sea por la acción de la saturación de agua en época de lluvia intensa o un sismo característico.







<p><b>CONVENCIONES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border-bottom: 2px solid yellow; width: 20px; display: inline-block;"></span> Perimetro Urbano</li> <li><span style="border-bottom: 2px solid purple; width: 20px; display: inline-block;"></span> Perimetro de Expansión</li> <li><span style="border-bottom: 1px solid black; width: 20px; display: inline-block;"></span> Perimetro de Manzana</li> <li><span style="border-bottom: 2px dashed blue; width: 20px; display: inline-block;"></span> Drenaje Doble</li> <li><span style="border-bottom: 2px solid blue; width: 20px; display: inline-block;"></span> Drenaje sencillo</li> <li><span style="border-bottom: 1px dashed black; width: 20px; display: inline-block;"></span> Sendero</li> <li><span style="border-bottom: 1px solid black; width: 20px; display: inline-block;"></span> Carretera sin pavimentar angosta</li> <li><span style="border-bottom: 1px solid black; width: 20px; display: inline-block;"></span> Carretera pavimentada de dos o más calzadas</li> </ul>	 <p>UNIVERSIDAD DEL VALLE CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA Observatorio Sismológico y Geofísico del SurOccidente</p>	<p>FECHA: Julio 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 1:2.000,          CVC, Escala 1:5.000 (Datum Bogotá)</p>
--	---	--

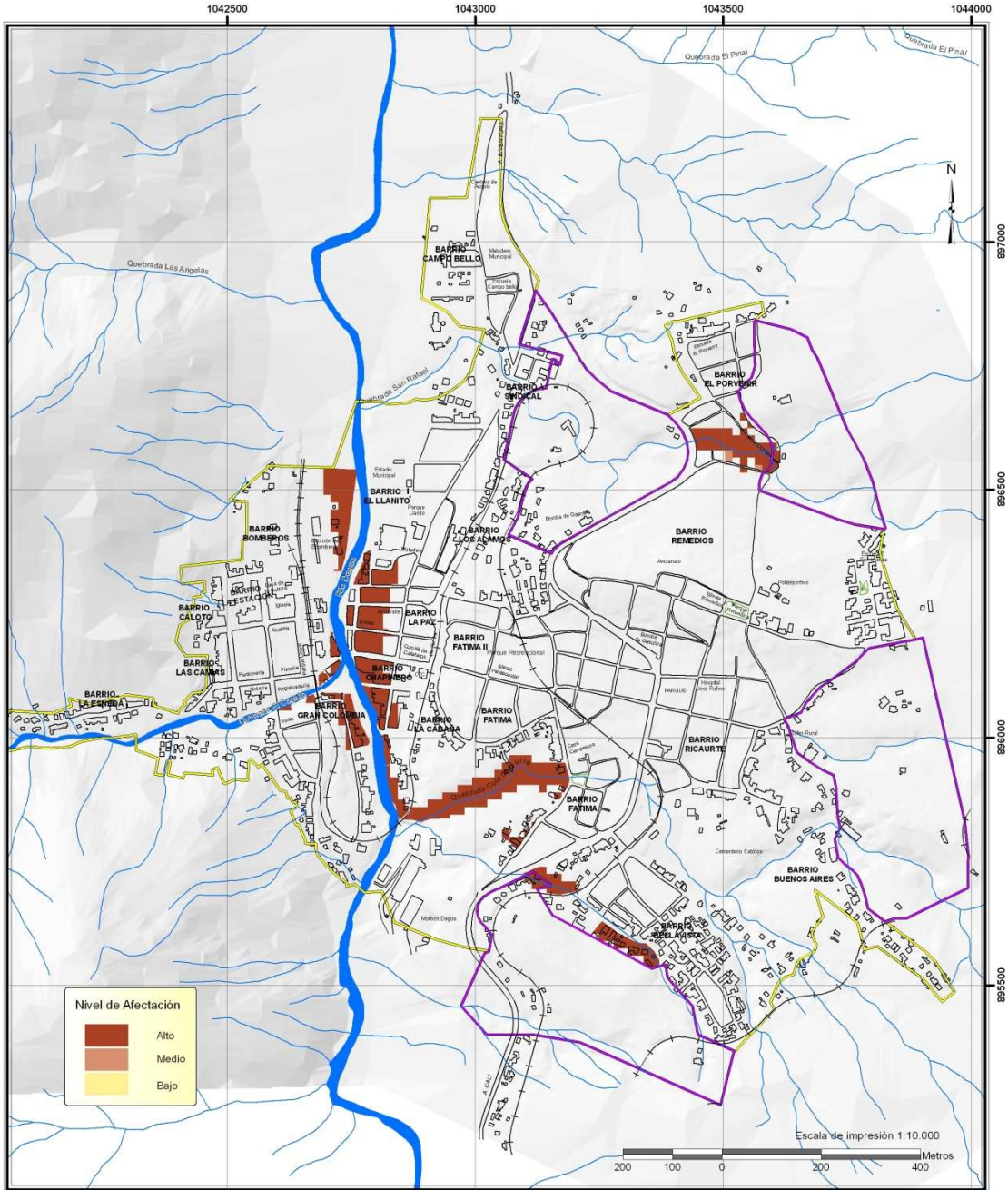
**FIGURA 7**  
**VULNERABILIDAD POR AVENIDAS TORRENCIALES**  
**MUNICIPIO DE DAGUA**

Figura 6. Vulnerabilidad por Avenidas Torrenciales. Municipio de Dagua

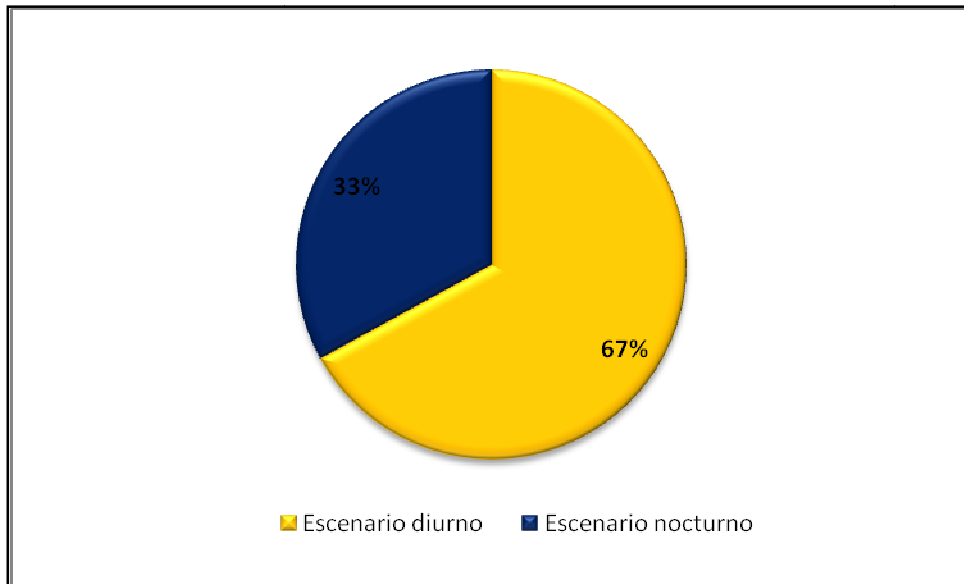


Con respecto al fenómeno hidrológico de avenidas torrenciales, la Figura 8 representa la distribución espacial de los diferentes niveles de afectación en la zona estudiada ante dicho fenómeno donde existe un notable predominio de niveles altos, ocupando cerca del 99% de área, mientras que el 1% de área restante corresponde a niveles bajos. Las zonas cuyos niveles son altos, se encuentran localizadas principalmente a lo largo del río Dagua y algunas quebradas como el Cogollo y Cola de Gurre. Este mapa refleja la magnitud y la vasta zona que se vería afectada dada la eventualidad de un fenómeno de tal naturaleza.

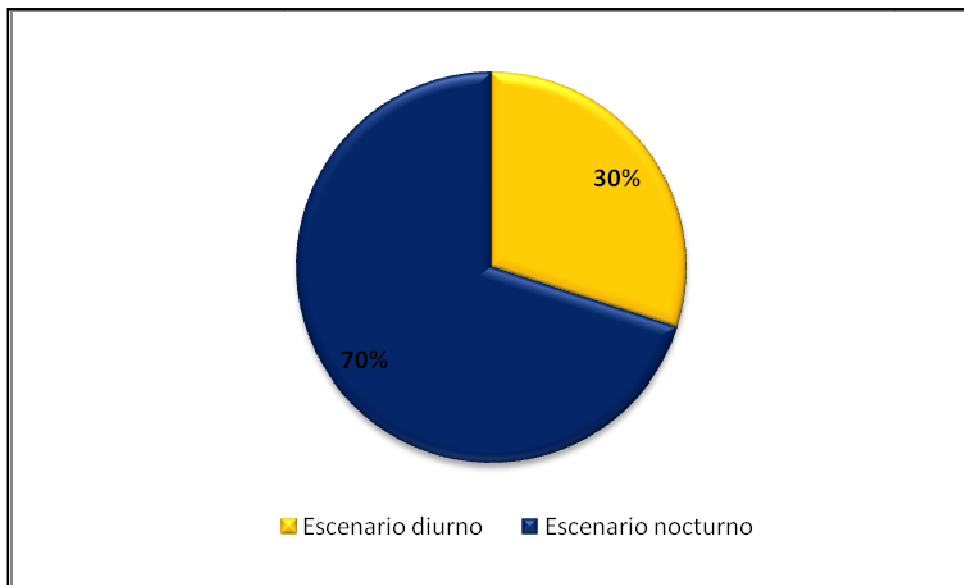
Debido a la complejidad de los fenómenos naturales y la dinámica espacial que presentan los elementos corporales expuestos en función del espacio-tiempo, existe una variedad de posibilidades de manifestación del daño. En este sentido se adoptó la propuesta de complementar el análisis mediante la concepción de escenarios de afectación, lo que permitió aproximarnos al daño específico en función del número o 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 Figuras 9 a 11 muestran el porcentaje de población que se encuentran en niveles de afectación medio y alto durante el día como durante la noche ante deslizamientos. En ellas se puede observar un mayor porcentaje de la población afectada durante la noche, puesto que se asume que el número total de la población se encuentra en sus viviendas, caso opuesto se percibe en el escenario diurno debido a que la población se encuentra por fuera de sus viviendas desarrollando algún tipo de actividad bien sea laboral, académica, etc.



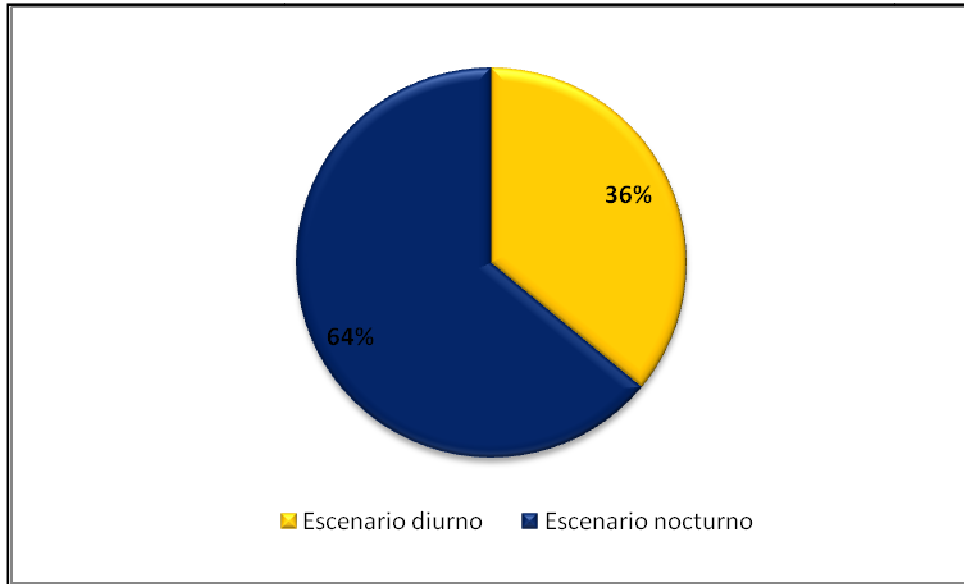
<p><b>CONVENCIONES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border-bottom: 2px solid black; width: 20px; display: inline-block;"></span> Perimetro Urbano</li> <li><span style="border-bottom: 2px dashed black; width: 20px; display: inline-block;"></span> Perimetro de Expansión</li> <li><span style="border-bottom: 2px solid black; width: 20px; display: inline-block;"></span> Perimetro de Manzana</li> <li><span style="border-bottom: 2px solid blue; width: 20px; display: inline-block;"></span> Drenaje Doble</li> <li><span style="border-bottom: 2px dashed blue; width: 20px; display: inline-block;"></span> Drenaje sencillo</li> <li><span style="border-bottom: 2px dashed gray; width: 20px; display: inline-block;"></span> Sendero</li> <li><span style="border-bottom: 2px solid gray; width: 20px; display: inline-block;"></span> Carretera sin pavimentar angosta</li> <li><span style="border-bottom: 2px solid black; width: 20px; display: inline-block;"></span> 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>AFECCIÓN POR AVENIDAS TORRENCIALES</b>  <b>MUNICIPIO DE DAGUA</b></p>	<p><b>FECHA:</b> Julio 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>
---	--	---



**Figura 9** Porcentaje de población en nivel de afectación alto por fenómenos de remoción en masa en el municipio de Dagua

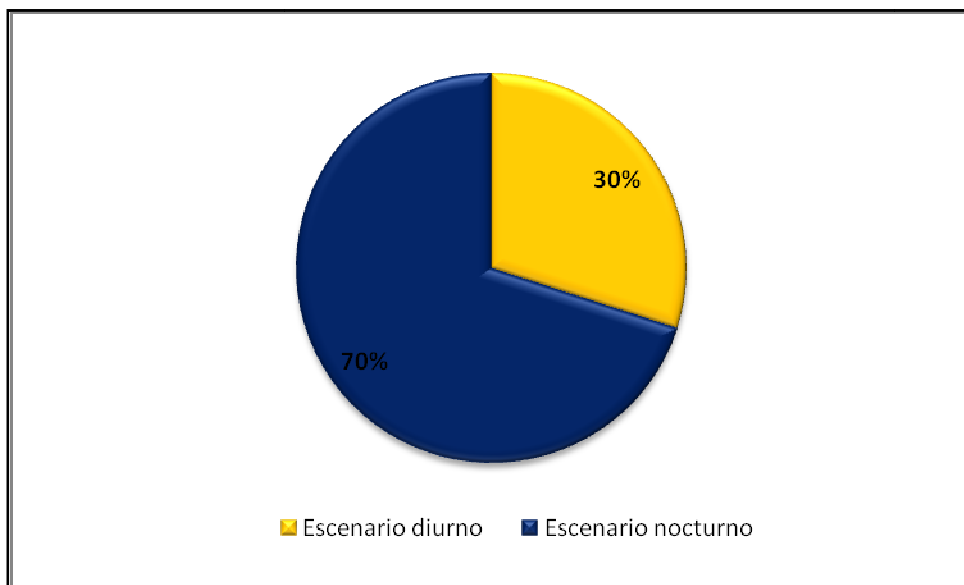


**Figura 10** Porcentaje de población en nivel de afectación medio por fenómenos De remoción en masa en el municipio de Dagua.

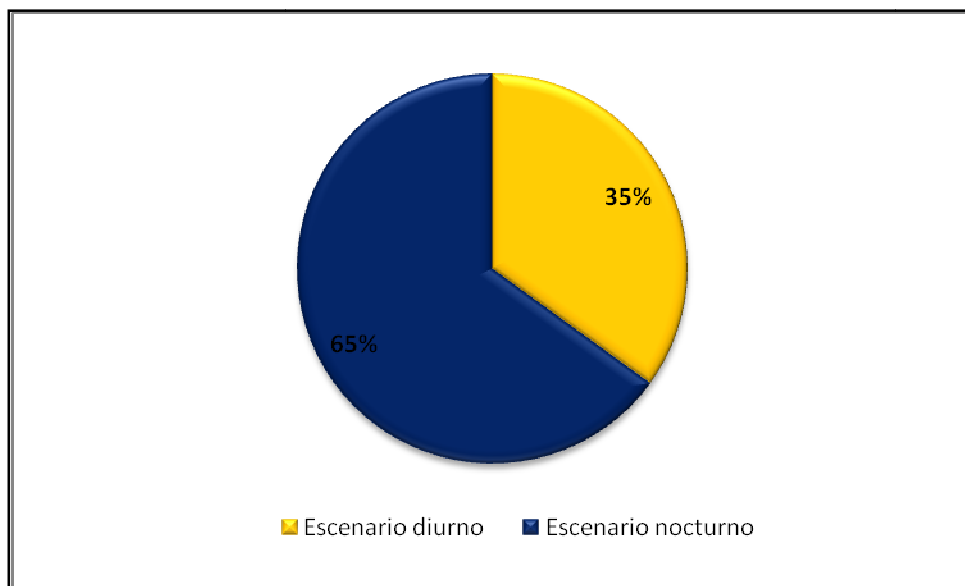


**Figura 11** *Porcentaje de población en nivel de afectación baja por fenómenos de Remoción en masa en el municipio de Dagua.*

En cuanto a avenidas torrenciales, en las Figuras 12 y 13, se observa igualmente un porcentaje mayor de población afectada durante la noche con respecto al día.



**Figura 12** *Porcentaje de población en nivel de afectación alto por avenidas torrenciales En el municipio de Dagua.*



*Figura 13* Porcentaje de población en nivel de afectación medio por avenidas torrenciales En el municipio de Dagua.

En términos generales, se logró identificar los barrios que se verían más afectados dada la ocurrencia de un deslizamiento o una avenida torrencial; tales son los casos de los barrios Chiminangos, Remedios, Fátima II, El Porvenir, Los Álamos, Bellavista, La Paz y La Cabaña.

## 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 labor se desarrolló el 23 de Julio de 2010, en el auditorio del Concejo Municipal de Dagua.

Mediante una amplia convocatoria a todos los actores institucionales y sociales de la localidad, la Secretaría de Planeación Municipal, 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 Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) (Figuras 14).



*Figura 14. Fotografías, durante el desarrollo de la actividad de socialización realizado el 23 de julio de 2010 en el Municipio de Dagua.*

## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 8.1. CONCLUSIONES

Dada la ubicación del Municipio de Dagua y los problemas del sistema de alcantarillado que comparte con varios municipios del Departamento, se presentan problemas de inundaciones tanto por el desbordamiento del río Dagua y sus afluentes, como por la colmatación de su alcantarillado y deslizamientos por la alta pendiente en que se han construido asentamientos subnormales de la localidad como el caso del Barrio La Esneda y La Cabaña. Entre los eventos más graves se encuentran los ocurridos en los años 2002, 2006, 2007 y 2008, donde por el número de inundaciones y deslizamientos se puede constatar que fueron años donde los inviernos generaron muchos daños tanto en la cabecera municipal, como en los corregimientos. Claro está, los estragos causados por las lluvias del año 2008 son los más recordadas por la comunidad.

Los procesos de remoción en masa del municipio de Dagua, muestran una clara vinculación genética con los factores geológicos y geomorfológicos dominantes.

La falla activa de Dagua-Calima, que corre en dirección N-S, a lo largo de la depresión del río Dagua, separa dos dominios litológicos, estructurales y geomorfológicos diferentes. En cuanto a la litología; se destaca que al W de la falla se tiene la formación Espinal de rocas sedimentarias silíceas, con laderas abruptas y valles encañonados, al E de la falla se tiene la Formación Volcánica conformada por rocas básicas, con suelos residuales espesos, laderas suaves y corrientes de agua poco entalladas. El valle aluvial del río Dagua separa los dos dominios litológicos y morfológicos.

En las montañas occidentales, los procesos morfodinámicos están representados principalmente por *nichos longitudinales de erosión*, anchos y profundos, aparentemente inactivos o con actividad muy lenta, pero que potencialmente pueden ser canales de flujos de lodo, fragmentos de roca y detritus. Aunque las laderas que conforman las facetas triangulares en el frente montañoso o del escarpe, no muestran deslizamientos activos, ni antiguos abundantes; su alta pendiente, la presencia de suelos residuales y la numerosa cantidad de nichos de erosión, podrían representar amenaza para los habitantes expuestos en el borde de las laderas empinadas contra el río Dagua.

En el frente montañoso próximo al escarpe de la falla de Dagua – Calima (barrio GRAN COLOMBIA), se presenta un deslizamiento de tipo traslacional, aparentemente inactivo o

temporalmente estabilizado, de grandes proporciones, hoy día limitado por antiguos *nichos de erosión* desarrollados en sus bordes laterales. El deslizamiento podría constituir eventualmente una amenaza para el barrio.

Dentro de la parte montañosa, al W de la población, la quebrada Cogollo tiene una cuenca de drenaje que se extiende cordillera arriba, la cual por sus pendientes abruptas, presencia de suelos residuales y deslizamientos antiguos, conduce a pensar que potencialmente puede representar amenaza. La quebrada tiene un *cono de deyección*, conformado por materiales de tamaño irregular, distribuidos de manera caótica, donde no se observa una estratificación ordenada. Esta circunstancia conduce a pensar que pueden corresponder a *depósitos de avalancha* antiguos. Por otra parte el valle aluvial encañonado, aguas arriba, hacia la parte media de la cuenca, de acuerdo al análisis con fotografías del terreno, parece que ha tenido deslizamientos voluminosos antiguos, en particular desde su ladera izquierda, lo cual también representa un peligro potencial, que al repetirse el fenómeno, originaría el represamiento del cauce y su posterior ruptura, con posible aporte de gran cantidad de agua, fragmentos de roca y suelo. La posibilidad de una avalancha podría afectar notablemente a la comunidad e infraestructura de los barrios La Esneda, La Estación y Gran Colombia, situados en vecindades del cono de deyección de la quebrada, en la zona hace unos 40 a 50 años se presentó un episodio de este tipo que causó serios daños.

La baja calidad de la roca del *macizo rocoso* de la Formación Espinal, que conforma la región montañosa, no está representada por movimientos de masa acordes con esta condición geomecánica del macizo. Posiblemente su inestabilidad potencial, estaría más bien asociada con la excavación y colapso de sitios para obras de ingeniería civil, donde las posibilidades de fallar serían mayores.

La región al E del río Dagua, de morfología suave, conformada por suelos espesos de la Formación Volcánica, presenta numerosas cárcavas de erosión, con mayor concentración hacia el sector SE de la zona. El carcavamiento es un proceso lento, que en la actualidad no parece amenazar de manera sorpresiva a la comunidad ni a su infraestructura. Con algunas excepciones, como al NE del barrio Buenos Aires, no existen viviendas regulares cercanas o alrededor de las cárcavas mayores. Próximos a las zonas de expansión urbana, o dentro de ellas, se presentan estos fenómenos que en algunos casos pueden alcanzar los 300m de longitud, con posibilidades de seguir remontando el drenaje aguas arriba.

Las cárcavas son un fenómeno pasivo, sin posibilidad de consecuencias catastróficas, que afecta principalmente al paisaje y constituye una limitante para la expansión urbana.

La zona de reptación del terreno en el barrio Fatima, en el sector de Telecom, está evidenciada por las rupturas en las paredes y fachadas de las casas, fenómeno muy lento y casi imperceptible, que se ha manifestado durante más de 20 años. Cerca de esta zona existe una cárcava antigua, estabilizada, y aún colonizada en su parte baja, que puede ser, entre otros, la causante del problema.

La zona occidental del municipio de Dagua es altamente susceptible a la ocurrencia de movimientos en masa, y como se observo en campo el mecanismo de falla dominante es el planar, con consecuencias desfavorables en especial hacia la zona occidental de cerros montañosos escarpados, donde la presencia de algún agente o ambos agentes detonantes, se ve reflejado en la inestabilidad del terreno y como consecuencia amenaza alta en toda esta zona. Dada la fuerte pendiente del terreno, se recomienda restringir el uso del suelo.

La cartografía de amenaza por avenidas torrenciales fue determinada aplicando la metodología propuesta mediante la cual se realiza la zonificación de las áreas inundadas de acuerdo con los niveles de intensidad y frecuencia de cada uno de los fenómenos, con base en los resultados de la modelación hidrodinámica y generando los mapas con el software ArcGIS.

La metodología propuesta establece tres niveles de amenaza según los rangos de frecuencia del fenómeno (representada en el periodo de retorno de la creciente) y el rango de magnitud o intensidad (representada por la profundidad de agua en las áreas inundadas, la velocidad de la corriente y el valor del producto de la profundidad por la velocidad, es decir, el caudal unitario). Las áreas sometidas a un nivel de amenaza alto se consideran no urbanizables, en las zonas expuestas a una amenaza media se prohíbe toda construcción, excepto parques, instalaciones agropecuarias, líneas de transmisión y conductos hidráulicos y en las zonas de amenaza baja se permite la construcción de viviendas y edificaciones de dos o más pisos, parques, instalaciones agropecuarias, industriales y comerciales, estacionamientos, áreas de almacenamiento, servicios básicos, líneas de transmisión, calles y puentes, siempre y cuando estén correctamente proyectados.

La cartografía de amenaza por avenidas torrenciales generada se constituye en una importante herramienta de apoyo que puede ser utilizada para la optimización de los planes de ordenamiento territorial del municipio de Dagua, la optimización de los sistemas de alerta y emergencia, el diseño

y construcción de obras de protección y, en general, la gestión del riesgo. La cartografía de amenaza generada representa una medida no estructural para el control de estos fenómenos naturales.

Los mapas de amenaza por avenidas torrenciales constituyen una importante herramienta de apoyo que puede ser utilizada para diferentes propósitos, tales como:

- Optimización de los planes de ordenamiento territorial del municipio, de acuerdo con los niveles de amenaza. Los mapas permiten identificar las zonas que presentan un mayor grado de amenaza, en las cuales se deben establecer fuertes restricciones de uso del suelo.
- Implementación y optimización de los sistemas de alerta y emergencia ante la ocurrencia de avenidas torrenciales. La predicción de la profundidad que alcanzaría el agua en la planicie de inundación, así como la velocidad del flujo y el producto de la profundidad por la velocidad, permiten estimar el posible impacto generado por una creciente y, en consecuencia, establecer prioridades en las actividades a implementar (medidas no estructurales) antes, durante y después de los desbordamientos.
- Diseño de obras de protección, mitigación y/o control. Los mapas de amenaza indican las zonas potencialmente inundables en caso de presentarse un evento extremo, por lo cual permiten plantear y analizar diferentes alternativas de obras (medidas estructurales) que conduzcan a la prevención, mitigación y/o control del fenómeno y definir finalmente la alternativa más apropiada considerando los diferentes aspectos sociales, ambientales, técnicos y económicos.
- La cartografía de inundaciones por avenidas torrenciales generada constituye una herramienta útil para el análisis de la amenaza asociada a este fenómeno que resulta indispensable para la determinación de la vulnerabilidad y la cuantificación del riesgo (escenarios de afectación) por dicho fenómeno. Esta cuantificación representa el paso inicial para la evaluación del riesgo.

## **8.2. RECOMENDACIONES**

En las zonas de Expansión Urbana es necesario conocer las condiciones geológico-geotécnicas de los suelos limo-arenosos y arcillo-limo-arenosos: granulometría, plasticidad, porosidad, pesos específicos y grado de saturación, profundidad del nivel freático y capacidad portante. Se debe tener en cuenta la eventual presencia de partículas tamaño grava, generalmente descompuestas por el

intemperismo, y la posibilidad de encontrar, en las perforaciones, *núcleos residuales* aislados de roca basáltica, que haya sobrevivido a la *meteorización esferoidal*, tal como se observaron en el terreno, y que puedan producir *rechazo*.

El estudio geotécnico debe extenderse hacia las laderas de la margen izquierda del Río Dagua, en el borde inferior de las facetas triangulares y zonas de acumulación de talus, donde hay presencia de *asentamientos humanos*. En especial el barrio Gran Colombia.

Es importante, analizar la cuenca de la quebrada El Cogollo, en el aspecto geológico, geomorfológico, hidrológico y geotécnico, para identificar la posible *amenaza* y la probabilidad de tener movimientos de remoción en masa en las paredes de la cuenca y de avalanchas o de avenidas torrenciales a lo largo del cauce.

Un estudio, que se debe realizar a mediano plazo es el concerniente con el *aspecto sismogénico* de la falla de Dagua-Calima, pues es considerada como una de las fallas activas más notables en la Cordillera Occidental, en el Valle del Cauca. Es importante definir sus segmentos potencialmente movibles, las magnitudes máximas creíbles, los períodos de recurrencia, aceleraciones, atenuación de la onda y los efectos potenciales en Dagua y ciudades vecinas.

Se debe estudiar la estabilidad de la Cuenca de drenaje del río Dagua a escala 1:25000 o menor con el fin de entender su posible amenaza en cuanto a las avenidas torrenciales o inundaciones sobre la cabecera municipal de Dagua.

Los mapas de amenaza generados debido a la posible ocurrencia del fenómeno de avenidas torrenciales deben ser empleados para el reordenamiento del territorio del municipio de Dagua teniendo en cuenta los diferentes grados o niveles de amenaza establecidos, así:

- Nivel de amenaza alto: zona en la cual pueden ocurrir daños severos en núcleos urbanos poniendo en riesgo la estabilidad de las estructuras y la integridad de sus ocupantes. Esta zona no debe urbanizarse y debe contar con una protección especial. Se debe realizar el diseño y construcción de estructuras de protección para reducir este nivel de amenaza en las zonas ya construidas; de lo contrario, se requiere planear y ejecutar su reubicación.

- Nivel de amenaza medio: zona en la cual pueden ocurrir daños moderados en núcleos urbanos (eventualmente se podría llegar a poner en riesgo la estabilidad de las estructuras y la integridad de sus ocupantes). Se debe prohibir todo tipo de construcción, exceptuando parques, instalaciones agropecuarias, líneas de transmisión y conductos hidráulicos. Se debe realizar el diseño y construcción de estructuras de protección para reducir este nivel de amenaza en las zonas ya construidas; de lo contrario, se requiere planear y ejecutar la reubicación de las diferentes construcciones con excepción de parques, instalaciones agropecuarias, líneas de transmisión y conductos hidráulicos.

- Nivel de amenaza bajo: zona en la cual pueden presentarse daños leves en núcleos urbanos. Se permiten las siguientes construcciones: (a) viviendas y edificaciones de dos o más pisos, donde el segundo piso quedará por lo menos en el nivel del límite de la crecida, y protegidas estructuralmente contra crecidas; (b) parques, actividades de recreación y deportivas; (c) instalaciones agropecuarias; (d) instalaciones industriales, comerciales, estacionamientos y áreas de almacenamiento; (e) servicios básicos, líneas de transmisión, calles y puentes, siempre y cuando estén correctamente proyectados. Se recomienda realizar el diseño y construcción de estructuras de protección y mitigación (diques, muros, obras de desviación de caudales, drenajes, etc.) para minimizar este nivel de amenaza.

### ***Medidas estructurales***

Se recomienda plantear, dimensionar y evaluar, considerando los aspectos social, ambiental, técnico y económico, distintas medidas estructurales (obras) orientadas a la prevención, mitigación o control de los desbordamientos durante las avenidas torrenciales del río Dagua y las quebradas El Cogollo, San Rafael y Cola de Gurre (1 y 2); esto con el fin de evitar o reducir magnitud e intensidad de la amenaza por avenidas torrenciales. Entre estas medidas se pueden considerar las siguientes: mejoramiento de las condiciones hidráulicas mediante dragado de los cauces al paso por la ciudad de Dagua; construcción de áreas de almacenamiento, las cuales permiten amortiguar las crecientes al retener temporalmente una fracción del volumen de agua transportado por los cauces.

En las quebradas San Rafael y Cola de Gurre (1 y 2) se recomienda realizar un trabajo educativo y de vigilancia para que estos cauces no sigan cumpliendo la función de alcantarilla y depósito de basuras y escombros al paso por la ciudad. Se recomienda realizar un chequeo de las estructuras hidráulicas existentes que se encuentran sobre estas quebradas (box culverts, puentes y tuberías).



### ***Medidas no estructurales***

Las medidas no estructurales, solas o en conjunto con las estructurales, pueden minimizar significativamente las afectaciones de los elementos expuestos en las áreas amenazadas y, por ende, disminuir los costos de los posibles daños. Entre las principales medidas no estructurales recomendadas se tienen las siguientes:

- Sistemas de pronóstico y alerta temprana: tienen la finalidad de anticiparse a la ocurrencia de la inundación, avisando a la población para la oportuna evacuación de las áreas potencialmente afectadas por el fenómeno y tomando las medidas necesarias para reducir los perjuicios resultantes de la inundación. Para el sistema de pronóstico se requiere de un sistema de monitoreo (registro continuo y permanente de precipitaciones y niveles de agua en la parte alta de la cuenca del río Dagua y las quebradas El Cogollo, San Rafael y Cola de Gurre (1 y 2)) y transmisión telemétrica a un centro de pronósticos.
  
- Elaboración y desarrollo de programas de prevención, educación y alerta, dirigidos a toda la población, incluyendo hospitales, escuelas, instituciones públicas y privadas, industrias, infraestructura.
  
- Se recomienda diseñar e implementar un programa de mediciones de campo orientado a la recolección de información durante la ocurrencia del fenómeno de avenidas torrenciales en el municipio de Dagua: el programa debe permitir la toma de datos e información sobre las características más importantes de los eventos catastróficos, tales como, registro de niveles de agua, duración de las crecientes, límites de áreas inundadas o afectadas, profundidades de agua y lodos en las diferentes zonas afectadas, toma y análisis de muestras de lodos para determinar sus propiedades sedimentológicas (granulometrías, concentraciones, etc.) y reológicas. (esfuerzos cortantes, viscosidad). El análisis de la información recolectada permitirá la optimización y actualización del modelo hidrodinámico y el modelo de lodos implementados en el presente estudio.

## **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, entre otras por su colaboración y participación significativa.