



**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 BUGA**

**Santiago de Cali, Agosto de 2010**

## TABLA DE CONTENIDO

<i>PRESENTACIÓN</i>	3
<i>1. ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO</i>	4
1.1. INTRODUCCIÓN	4
1.2. OBJETIVOS	4
1.3. IMPORTANCIA	5
<i>2. ORGANIZACIÓN Y GRUPOS DE TRABAJO</i>	7
<i>3. DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</i>	9
<i>4. ESTUDIOS REALIZADOS</i>	11
4.1 HISTORICIDAD	11
4.2. TOPOGRAFÍA	12
4.3. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y CARTOGRAFÍA	12
4.4 GEOLOGÍA	14
4.5. GEOFÍSICA	15
4.6. HIDROLOGIA	15
4.7. HIDRÁULICA	16
4.8. GEOTÉCNIA	17
<i>5. AMENAZAS POR REMOCIÓN EN MASA</i>	18
<i>6. AMENAZAS POR INUNDACIONES Y AVENIDAS TORRENCIALES</i>	24
<i>7. VULNERABILIDAD Y ESCENARIOS DE AFECTACIÓN</i>	30
<i>8. SOCIALIZACIÓN</i>	40
<i>9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>	42
9.1 CONCLUSIONES	42
9.2 RECOMENDACIONES	45
<i>AGRADECIMIENTOS</i>	48

## **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 posibles escenarios de 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 proyecto 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 Buga.

## **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 posibles 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 estadísticamente han presentado mayor número de desastres, y sobre las cuales el estado del conocimiento es nulo o bastante deficiente.

Las cabeceras municipales 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 y tomadores de decisiones 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 Buga.

### **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 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 confianza 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 referencia típica de cómo proceder para enfrentar este tipo de problemáticas y que puede servir de guía 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:**

- Juan Pablo Urrego
- Victoria Solarte
- Jhonny Humberto Garcés
- Tulio Enrique Bonilla
- Simón Andrés Giraldo

### **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

### Geotecnia

- C. I. Ambiental Ltda.
- Jacobo Ojeda
- Jesús García
- Lorena Beltrán
- Natalia Peña Galvis

### **Entidad Ejecutora:**

Universidad del Valle – Observatorio Sismológico y Geofísico

Rector: Iván Enrique Ramos Calderón  
Director Observatorio: Elkin Salcedo Hurtado

### Geología y Geofísica

- Gabriel Paris
- Magnolia Aponte Reyes
- William Vargas
- Daniel Ramírez

### **Administración del proyecto**

Director: Elkin Salcedo Hurtado  
Coordinador Técnico: Jaime Rojas Muñoz

Asistente Administrativo: Karina Castillo  
Auxiliar administrativo: Jennifer Quiñones

### Topografía y Cartografía

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

### **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

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.

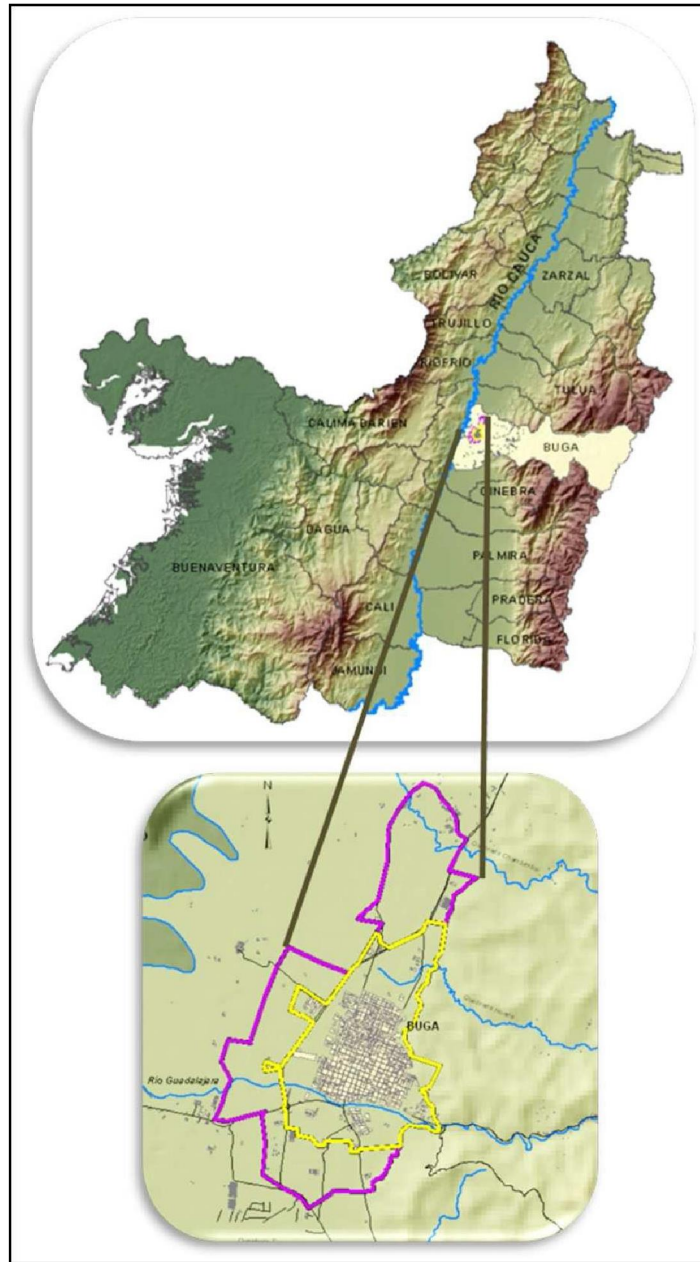


### **3. DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

El municipio de Buga está ubicado en la zona centro del Departamento del Valle del Cauca, en el frente montañoso occidental de la Cordillera Central donde se hace más angosto el valle geográfico (Figura 1), gozando no solamente de la belleza del paisaje, de su variada y hermosa topografía sino también de la fertilidad y productividad de sus tierras, constituyéndose en una verdadera despensa agrícola y ganadera. La ciudad está asentada sobre la margen derecha del Río Guadalajara que en su recorrido atraviesa la ciudad de oriente a occidente; se encuentra a 74 Km de Santiago de Cali, la capital del departamento y a 126 Km del Puerto de Buenaventura, el más importante puerto marítimo del occidente colombiano.

La ciudad de Buga se localiza en la entrada del río Guadalajara al valle geográfico del río Cauca, que se trata de un sector de menor pendiente a la que trae el río en el sector montañoso. El río Guadalajara que(quitar este que) en su recorrido atraviesa la ciudad de oriente a occidente. Así pues, se puede asegurar que por lo menos un 40% de Buga está construido sobre sedimentos antiguos del río Guadalajara y que como tal, las crecientes en temporada invernal podrían, dependiendo de la magnitud, abordar áreas del casco urbano.

Cuenta con una extensión total de 832 km<sup>2</sup>, de los cuales 16,2 km<sup>2</sup> corresponden al área urbana, para un total aproximado de 816 km<sup>2</sup> para el área rural del municipio, distribuidos de la siguiente manera: 145 km<sup>2</sup> corresponden a clima cálido, 243 km<sup>2</sup> a clima medio, 243 km<sup>2</sup> a clima frío y 271 km<sup>2</sup> a clima de páramo. Su población es de aproximadamente 150.000 habitantes de los cuales el 90% se encuentra concentrado en el casco urbano y el 10% en la zona rural. Su territorio tiene dos zonas, la Zona Plana en las riberas del río Cauca y la Zona Montañosa en la cordillera central que es considerado como el centro donde gravita la producción del agua para los Municipios de Buga, Tuluá; sus alturas van desde los 969 hasta los 4.210 m.s.n.m. en el Páramo de las Hermosas.



*Figura 1. Localización Municipio de Buga.*

## **4. ESTUDIOS REALIZADOS**

### **4.1 HISTORICIDAD**

Tuvo como objetivo recolectar y relacionar la historicidad de todo tipo de eventos naturales (especialmente movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales) ocurridos en épocas pasadas en la cabecera municipal de Buga, tarea que se realizó mediante la consulta de diversas fuentes documentales para la recopilación de las noticias de cada uno de los eventos históricos.

Entre los documentos consultados sobre los eventos, se encuentran los Informes de Emergencia y declaraciones de Emergencia Manifiesta en Buga realizados por el CLOPAD, se suman otras fuentes como: las noticias de los periódicos El Tiempo y El País, desde el año 1981 hasta el año 2002, siguiendo y corroborando lo registrado en la base de datos Desinventar. Igualmente se consultaron los documentos que sobre el municipio tienen entidades como: DAR-CVC, Aguas de Buga, Planeación Municipal (POT) y el Instituto Técnico Agrícola. En dichas instituciones contamos con la colaboración de los encargados, por ejemplo, el ingeniero Julián Vargas de la DAR, nos facilitó los Informes Técnicos realizados por la CVC sobre Buga, el POMCH del río Guadalajara, además de mapas de vulnerabilidad y amenaza del municipio.

Los periódicos consultados fueron El Tiempo y El País, en los cuales se registran en su mayoría noticias sobre los estragos causados por el invierno y las constantes inundaciones que suceden en el Valle como consecuencia del desbordamiento de ríos, quebradas y acequias. Las noticias son por lo general una información muy concreta, que nos habla de las inundaciones a grandes rasgos, sin precisar en algunos casos el lugar exacto de la inundación.

Por lo general, las inundaciones se presentan en los sitios más vulnerables al desbordamiento, para el caso de Buga, las zonas más afectadas por inundaciones son los barrios aledaños al cauce del río Guadalajara, además de asentamientos subnormales ubicados en el municipio, en zonas de ladera, como el caso de Alto Bonito, o en corregimientos alejados de la cabecera municipal como por ejemplo, La Palomera, El Porvenir y Puerto Bertín. Entre los sitios más afectados en Buga por inundaciones provocadas por desbordamiento de los ríos Cauca y el Guadalajara según registro de las noticias e informes del CLOPAD, se encuentran:

Alaska, El Diamante, La Ramada, La Playa, El Jardín, La Mesa, El Topacio, La Piscina, El Carmelo, El Vergel, San Agustín, Puerto Bertín, Chambimbal, El Porvenir La Florida, El Crucero – La Trozada – La Palomera – Santa Rosa – El Salado, Frisoles, Caracolí, El Placer, Los Bancos, El Molino, La Revolución, Alto Bonito, La Ventura, Los Rosales, Las Palmitas - Bello Horizonte, El Jardín, El Vinculo, El Janeiro.

Sumado a las inundaciones por desbordamiento, es frecuente en temporada invernal la colmatación del sistema de alcantarillado y colapso de la entrega del sistema de acueducto, en este municipio. Un ejemplo de ello es el evento registrado por varias fuentes documentales, que causó estragos en el municipio y que data del 29 de noviembre de 1997.

Al respecto, existe un informe detallado de la situación presentada y la afectación que causo, realizado por la CVC en diciembre del año 1997, y en el cual se plantea lo siguiente: Por versiones de habitantes de la cuenca del río Guadalajara, la lluvia intensa se presentó en la parte media de la vertiente sur de dicha cuenca, la lluvia se presenta desde las 2:30 hasta 7:30 p.m. del día 29 de noviembre. Igualmente por versión de las personas que observaron la creciente del río en el área urbana, el evento pico se registró aproximadamente entre las 8 y 9 p.m. de ese mismo día.

Los principales resultados del estudio son el catálogo de eventos históricos en el que aparecen los episodios de deslizamientos, inundaciones y avenidas torrenciales que han afectado al municipio durante los últimos años y el mapa de historicidad de los eventos ocurridos de mayor relevancia.

## **4.2. TOPOGRAFÍA**

Para el municipio de Buga, se adquirió directamente al Instituto Geográfico Agustín Codazzi, la cartografía en formato DXF del municipio de Buga a escala 1:2000, esta información se complementó con información de la oficina de planeación municipal de Buga, con el fin de contar con una base cartográfica adecuada para el estudio a desarrollar.

Se construyeron 10 puntos de control de los cuales 9 se materializaron con placas y uno con un taco enterrado con refuerzo en mezcla de cemento y arena gruesa, de los cuales se anexan las respectivas fichas, descripciones y coordenadas en el informe.

El posicionamiento se desarrollo mediante procedimientos estáticos GPS diferencial, usando como principal punto de control el vértice MAGNA GPS D-V-18. Se construyó una red de control con conectividad entre todos los puntos a modo de bucles, que permite unificar la precisión de los puntos y generar una coherencia en cierre lineal de las diferentes líneas base.

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

La información geográfica y cartográfica generada en el proyecto MIDAS a través de las diferentes actividades realizadas se estructuró conforme 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 información cartográfica obtenida y generada en el sistema de referencia con datum Bogotá fue migrada al nuevo Sistema de Referencia Nacional MAGNA, conforme a la política nacional y se utilizó el modelo de Molodensky Badekas y los parámetros de transformación de la región VI. La información geográfica y cartográfica generada por el proyecto MIDAS hasta el momento es la correspondiente al uso del suelo urbano, procesos morfodinámicos, geológico, unidades superficiales, isoyetas mensuales multianuales y precipitaciones máximas.

### **Mapa Básico**

El mapa básico de la zona urbana y de expansión del municipio de Buga se presenta en escala de impresión 1:10000, y se realizó a partir de la cartografía digital adquirida en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi a escala 1:2000 en formato DXF con coordenadas cartesianas en el sistema de referencia con dátum Bogotá, y de los perímetros de manzanas actualizadas al año 2010, disponibles en la oficina de planeación municipal, en formato DWG con coordenadas arbitrarias. Las curvas de nivel presentadas con intervalos de espaciamiento cada 5 metros, fueron generadas a partir del modelo digital de elevación construido con las curvas de nivel adquiridas en el IGAC, los datos correspondientes al levantamiento de las secciones transversales y al levantamiento topográfico de las zonas aledañas al río Guadalajara que históricamente se han inundado.

### **Mapa Geológico**

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 del año 1998 y modelo digital de elevación de 30 metros de resolución, este mapa es realizado en el sistema de referencia Magna sobre la base cartográfica a escala 1:5000 e impreso a escala 1:10000 por ser la escala del trabajo de campo.

### **Mapa Geomorfológico y Morfodinámico**

Partiendo de la compilación realizada por el grupo de geología de la información de interés sobre deslizamientos, erosión, avalanchas, reptación entre otros, 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 geomorfológicas identificadas por el grupo de geología.

Este mapa fue realizado en el sistema de referencia Magna sobre la base cartográfica a escala 1:5000 e impreso a escala 1:10000 por ser la escala del trabajo de campo.

Con base en el mapa geológico el grupo de geología estableció las unidades geológicas superficiales dentro de las cuales se identificaron suelo residual, suelos aluviales recientes y suelo transportado, las cuales coincidieron con las unidades geológicas identificadas previamente. Este mapa fue realizado en el sistema de referencia Magna sobre la base cartográfica a escala 1:5000 e impreso a escala 1:10000.

### **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 POT, actualizando los usos dentro del perímetro urbano y de la zona de expansión sobre cartografía base a escala 1:5000 impresa a escala 1:10000.

### **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, 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 períodos de 24, 48 y 72 horas cada uno con tasas de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 200 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 Yotoco, Buga, San Pedro, Tulua, Riofrío, Andalucía, Trujillo y Bugalagrande, de la cual se extrajeron las isolíneas correspondientes al área de estudio del municipio de Buga.

Los mapas de isoyetas mensuales y anual se realizaron sobre la base cartográfica de la CVC a escala 1:25.000 a nivel de la cuenca de Guadalajara, previamente migrada al dátum Magna, e impresos a escala 1:150.000.

Los mapas de precipitaciones máximas de 24, 48 y 72 horas se presentan por período con las tasas de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 200 años en tamaño doble carta a escala 1:75.000, en el sistema de referencia Magna.

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

Este mapa contiene las zonas con mayor frecuencia de inundaciones y deslizamientos en la zona urbana del municipio delimitadas por personal del Clopad y se le adicionaron las zonas predictivas para inundación, zonas inundables y las zonas inundables que no representan riesgos definidos en la cartografía del POT, esta información se encuentra en el sistema de referencia con dátum Bogotá, la cual fue migrada al sistema de referencia Magna.

#### **4.4 GEOLOGÍA**

Mediante el trabajo de campo, se verificó la información geológica extractada de los documentos consultados, la fotointerpretación preliminar realizada, y el mapa de campo con la delimitación preliminar de las *zonas propensas* a los fenómenos que se investigan, con el fin de llevar a cabo la cartografía relacionada con el objetivo del Proyecto. Los datos obtenidos de las mediciones u observaciones de campo, se plasmaron en mapas a escala 1:2.000 y se transfirieron a mapas a escala 1.5.000.

La geología de la región cercana a Buga, dentro de los límites del Proyecto MIDAS, está conformada por rocas sedimentarias de la formación La Paila del Terciario (TMp). Los afloramientos son escasos y por lo común predominan a lo largo de la carretera que conduce a la población de la Habana, paralela al cauce del río Guadalajara. Algunas terrazas antiguas de grava y arena suprayacen localmente la formación La Paila a diferentes niveles topográficos, lo cual tiene un notable significado dentro de la tectónica activa del sector. El abanico aluvial de Buga del Cuaternario (Qca), ubicado por fuera del frente

montañoso, conforma gran parte del terreno que subyace el casco urbano y la zona de expansión; ha sido generado por el río Guadalajara, que drena una cuenca amplia desde la parte alta de codillera, junto con otras corrientes de agua de menor longitud, que provienen directamente del frente montañoso próximo a la ciudad. Los suelos residuales arenosos (friccionantes) y limo-arcillosos, cubren la casi totalidad de la zona comprendida por el presente estudio.

En cuanto a la tectónica, la falla de Guacarí, de tipo regional, bordea el frente montañoso con dirección NNE y se encuentra sepultada por el abanico. La falla, posiblemente es responsable del surgimiento de la *saliente de Buga* en esta parte de la Cordillera Central. La falla de Alto Bonito, bordea el frente montañoso próxima a él, con una dirección NNW. El frente montañoso a espaldas de Buga, se ha denominado el *frente montañoso menor*, el cual tiene unos 180-200m de altura, sobre el nivel del Buga, y se extiende hasta la región de Cartago, al norte dentro del Departamento.

#### **4.5. GEOFÍSICA**

Después de varios recorridos realizados en la cabecera municipal y de acuerdo a las condiciones geológicas del sector se propuso realizar la geofísica tanto en el barrio Alto Bonito como a lo largo del canal de conducción de aguas denominada “La Acequia”, realizando ensayos de refracción sísmica y sondeos eléctricos verticales.

Se tomaran un total de 19 ensayos geofísicos: 16 de refracción sísmica y 3 sondeos eléctricos verticales. La exploración del subsuelo por refracción sísmica alcanzó entre 15.00 y 25.00 metros de profundidad, con espaciamento entre geófonos cada 3.00 o 5.00 metros. La exploración del subsuelo por ensayos de geoeléctrica alcanzó los 150.00 metros de profundidad.

#### **4.6. HIDROLOGIA**

Para el estudio correspondiente a el municipio de Buga se utilizaron datos de registros históricos de precipitación de estaciones pluviométricas, pluviográficas y climatológicas representativas localizadas en las subcuencas del municipio teniendo en cuenta las estaciones de las redes de medición de CVC, CENICAFE e IDEAM.

Usando los criterios tales como cobertura, tiempo de registro (estaciones con 20 o más años de registro) y calidad de la información, se seleccionaron 14 estaciones con información de precipitación, teniendo en cuenta que el porcentaje máximo permisible de datos faltantes en una estación no puede ser superior al 10% dentro del periodo de referencia 1980 - 2007.

La distribución espacial de la precipitación en el municipio de Buga presenta un rango de variación que se encuentra entre los 831 mm a valores superiores a los 2.500 mm al año. En gran parte de la región predominan las lluvias entre 1.500 y 2.000 mm en dirección Nor-occidente-Sur-oriental.

Se puede distinguir un amplio núcleo de precipitación con valores entre 1.600 y 2.000 mm anuales, al oriente de la zona urbana del municipio de Buga. En las Figuras 7.7 y 7.8 (del

informe principal) se puede observar la distribución espacial anual y mensual de la precipitación para el municipio de Buga.

La distribución espacial de la precipitación en la zona urbana y de expansión de la cabecera municipal presenta un rango de variación que va desde los 40 mm a valores superiores a los 140 mm en promedio al mes. En gran parte de la región predominan las lluvias entre 50 y 140 mm, las precipitaciones aumentan en dirección Occidente -Oriente.

Los caudales máximos se evaluaron con periodos de retorno de 10, 30 y 100 años, para las distintas unidades de análisis. En el río Guadalajara los caudales máximos se estimaron por el método de Gumbel e implementando el modelo hidrológico HEC-HMS en el punto donde se encuentra la estación El Vergel. Mientras que en las quebradas Chambimbal, La Pachita y La Honda los caudales máximos se calcularon solo a partir del modelo hidrológico para los puntos establecidos según las necesidades hidráulicas del proyecto.

#### **4.7. HIDRÁULICA**

El principal cauce que atraviesa el municipio de Buga es el río Guadalajara, el cual presenta problemas de desbordamiento en toda su longitud (especialmente sobre la margen derecha), afectando los barrios aledaños como los barrios El Vergel, La Merced y El Carmelo, donde el río se desborda cubriendo la zona urbana hasta unos 100 m desde la orilla, es decir, entre las Calles 1 y 2 aproximadamente.

También existen en el municipio algunas acequias, que aunque fueron destinadas originalmente para riego, se han convertido en canales colectores de las aguas de escorrentía y residuales; esto ocasiona su desbordamiento ya que la capacidad de estos canales es excedida con cierta frecuencia. Esto ocurre en las acequias Chambimbal, El Albergue, La Julia y El Chircal. Los desbordamientos de las acequias afectan los barrios Revolución, Horizonte, Los Ángeles, Santa Rita, La Julia y La Remonta, entre otros.

Además de las acequias, existen 3 quebradas que atraviesan la zona urbana y la zona de expansión urbana, que son la quebrada Chambimbal, quebrada Honda y quebrada La Pachita o Varelas, la cual se encuentra canalizada a su paso por la zona urbana. Estas quebradas se encuentran en la zona norte del casco urbano, donde se han presentado crecientes torrenciales debido al desbordamiento de estos cauces.

La quebrada Honda es usada para riego y se origina en un sistema de humedales antes de la zona urbana, al occidente. Después de su paso por el casco urbano y aguas abajo de la desembocadura de la quebrada La Pachita, continúa su recorrido hasta desembocar finalmente en el río Cauca, cerca del municipio de Tulua.

La acequia Chambimbal entrega parte de sus aguas a la quebrada Varelas, la cual a partir de este punto es conocida como quebrada La Pachita. La estructura de derivación se encuentra ubicada en la Calle 20A con Carrera 5, en el barrio Las Palmitas.

En total para el municipio de Buga, se establecieron 97 secciones transversales para los distintos cauces a estudiar y modelar. Eliminar la negrilla y el subrayado de lo rojo



Para la recopilación de información de las características granulométricas del material del lecho del río Guadalajara se consultaron diferentes estudios, principalmente la información disponible en la CVC y los informes realizados en el desarrollo del Proyecto de Modelación del Río Cauca (Fase II, Volumen II y Volumen IV) / (CVC – Universidad del Valle, 2003). En las campañas de caracterización del material del lecho de los ríos tributarios del río Cauca, se tomaron en total 3 muestras en el río Guadalajara.

Las relaciones entre el caudal y el área, la velocidad del flujo, la profundidad hidráulica presentan coeficientes de determinación aceptables. Por el contrario, la correlación entre el caudal y el ancho superior es bastante pobre.

De acuerdo con las inflexiones o variaciones observadas en la pendiente del cauce principal y la información existente, el río Guadalajara se puede dividir en 3 zonas o tramos: (i) Zona alta, desde la primer sección tomada por el estudio de 1997 del río en la cota 1017.16 msnm hasta la cota 972.646 msnm y con una pendiente media del 1.9%; (ii) Zona media, comprendida entre las cotas 972.646 msnm y 936.36 msnm y con una pendiente media del 1.4%; y, (iii) Zona baja, localizada entre las cotas de 936.36 msnm y 927.92 msnm y con una pendiente media del 0.3%.

Para estimar la rugosidad del cauce del río Guadalajara en el tramo de estudio, se evaluaron 14 expresiones que, en principio, se ajustan a las condiciones del río 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 del  $d_{50}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{90}$ . Las expresiones se aplicaron para diferentes valores de caudal, incluyendo el máximo caudal medido obtenido en la curva de calibración y el caudal correspondiente al periodo de retorno de 100 años. Para la obtención de los parámetros geométricos de la sección transversal del río Guadalajara en la estación El Vergel para el caudal de 100 años, fue necesario graficar la sección y determinar mediante el método gráfico de extrapolación en la curva de calibración el nivel de agua alcanzado para dicho caudal. Después se midió el área, el ancho y el perímetro mojado, y posteriormente se calculó el radio hidráulico.

#### **4.8. GEOTÉCNIA**

##### **Exploración del subsuelo y ensayos de laboratorio**

Con el propósito de identificar y caracterizar tanto espacialmente como en profundidad las propiedades geomecánicas del material aflorante y obtener tanto los perfiles estratigráficos como la profundidad del material inestable, se realizó el plan de exploración del subsuelo correspondiente a doce apiques a una profundidad máxima de 2.0 metros, complementadas con tres sondeos mecánicos, los cuales se tenían planeados inicialmente, pero por problemas de acceso en predios privados, solo se ejecutaron dos. Adicional a lo anterior, en forma de apoyo al Grupo de Hidráulica de la Universidad del Valle, se realizaron muestreos en diferentes puntos sobre el lecho del río Guadalajara con el fin definir la distribución de

los diferentes tamaños de las partículas del suelo; la ubicación de éstos estuvo ligada a los requerimientos del grupo de estudio.

Con el fin de caracterizar geomecánicamente la zona de estudio, la exploración se realizó por sectores que abarcan la totalidad de la misma, teniendo como base el mapa de unidades geológicas superficiales realizado durante el presente estudio. Se realizaron en total dos perforaciones mecánicas a 6.00 m y 10.00 m de profundidad respectivamente, y se localizaron de tal forma que los resultados fueran representativos del comportamiento del subsuelo. La primera perforación (S-1) se localizó dentro del perímetro urbano en el barrio Palmitas en la parte baja del alto de la Cruz; y la segunda (S-2) en el barrio Alto Bonito en la parte alta del alto de la Cruz.

En la zona del barrio Palmitas se encontró el nivel freático a los 2.50 m de profundidad, en el perfil estratigráfico de éste sondeo (S-1) se puede ver claramente la presencia de arcillas limosas con algunos lentes de gravas; es de importancia resaltar que el material arcilloso se encontró directamente sobre el aluvión.

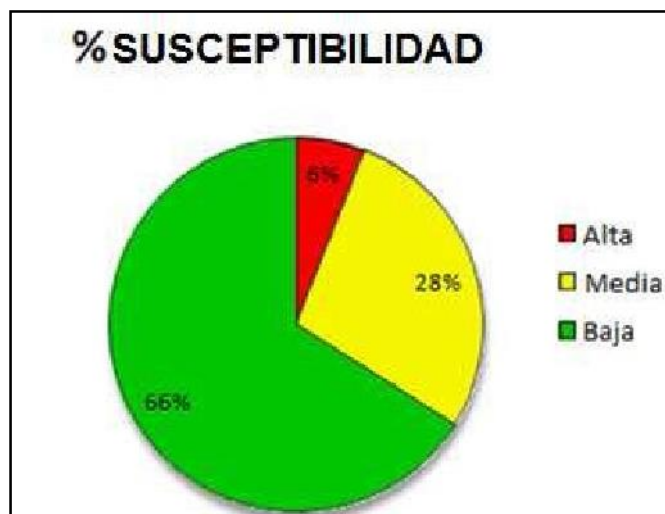
En el sondeo del barrio Alto Bonito, se encontró un perfil estratigráfico caracterizado por material limo arcilloso con presencia de gravas de menor tamaño y el nivel freático esta a los 4.00m de profundidad.

## 5. AMENAZAS POR REMOCIÓN EN MASA

En el desarrollo de este proyecto se utilizó el método estadístico bivariado a escala 1:5.000, 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.

**SUSCEPTIBILIDAD ALTA:** Zonas con condiciones altamente favorables a la ocurrencia de procesos de inestabilidad asociados principalmente con movimientos antiguos y a zonas afectadas por erosión concentrada y pequeños movimientos en masa, además de las características litológicas del material aflorante en la zona, y de fuertes pendientes que caracterizan la zona alta del municipio. En general la zona enmarcada dentro de susceptibilidad alta, corresponde al frente montañoso en donde se pueden visualizar actuales deslizamientos menores de remoción en masa y procesos de erosión activa, en la Figura 2, se presenta la distribución de la susceptibilidad en el área de estudio. Nótese que la susceptibilidad alta abarca una proporción pequeña dentro de la zona de estudio (6%).

**SUSCEPTIBILIDAD MEDIA:** Las zonas de susceptibilidad media están relacionadas con pendientes topográficas muy bajas del abanico de Buga, el cual se encuentra urbanizado; y la parte baja del frente montañoso la cual se encuentra cubierta por pastos y bosques los cuales reducen la infiltración directa del agua de escorrentía proveniente de las lluvias. Nótese que las zonas de susceptibilidad media se caracterizan por presentar pendientes relativamente suaves, y en todos los casos inferiores a 25 grados.



*Figura 2. Distribución porcentual de la Susceptibilidad por Movimientos en Masa.*

**SUSCEPTIBILIDAD BAJA:** Zonas con mínimas o ninguna condición favorable a la inestabilidad. Corresponde al sector plano compuesto por la llanura del río Cauca que abarca gran parte de la zona urbana y de expansión del municipio.

Para la evaluación de la amenaza se tuvo en cuenta el mapa de susceptibilidad previamente obtenido, el cual tiene en cuenta, la predisposición o susceptibilidad de las laderas del área de estudio a desarrollar este tipo de procesos, evaluada mediante la herramienta SIG. Al anterior mapa se le incorporan los agentes externos sismo y lluvia, para de esta manera 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 el caso de las áreas altamente susceptibles a los movimientos en masa tipo flujo torrencial, la evaluación de la amenaza se realizó con base en el modelo digital del terreno y a las características geotécnicas de los materiales superficiales.

Dentro de la zona de estudio se identificaron básicamente dos mecanismos de falla predominantes en las laderas del municipio de Buga: falla traslacional y falla rotacional.

Para todas las secciones se realizaron los análisis de estabilidad para los tres escenarios de amenaza, es decir, talud parcialmente saturado sin sismo, talud seco con sismo y talud parcialmente saturado con sismo. De los análisis de esta sección se destacan los siguientes aspectos:

Para el caso de talud parcialmente saturado sin sismo, se obtiene que la urbanización y pavimentación limitan la infiltración y como consecuencia de esta condición el talud es estable, aún en la parte más alta de éste. Nótese que en todos los análisis, se ha tenido en cuenta la carga transmitida por las viviendas existentes en el sector.

Para la condición de talud seco y con sismo, se destaca que el talud tampoco fallará en el evento de un sismo en época de verano. El mecanismo de falla para este caso, corresponde a deslizamientos rotacionales muy superficiales.

Los resultados de los análisis en condiciones de talud parcialmente saturado con sismo, evidencian que ésta es la condición más desfavorable de las tres, presentándose la falla a todo lo largo del talud afectando parte del barrio. Para este caso se observa que se verían afectadas no solamente las viviendas ubicadas en la parte superior del talud, sino también las ubicadas en la parte intermedia, debido a que la superficie de falla es profunda siendo el material involucrado el depósito fluvio- torrencial.

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.

Para simular el efecto de lluvias detonantes correspondientes a un periodo de retorno de 25 años, el modelo tomó el nivel freático a nivel superficial (condición saturada). De la misma manera, para simular el efecto de lluvias detonantes correspondientes a un periodo de retorno de 10 años, el modelo tomó el nivel freático a niveles intermedios del espesor de suelo movilizado (condición parcialmente saturada).

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. En la Tabla 1, se ilustra los escenarios propuestos para la generación del mapa de amenazas.

**Tabla 1.** Escenarios de análisis para la estimación de factores de seguridad.

<b>ESCENARIO</b>	<b>CONDICION</b>	<b>SISMO</b>	<b>Aa</b>
1	Parcialmente saturado	Sin sismo	
2	Seca	Con sismo	0.20
3	Parcialmente saturado	Con sismo	0.20

Para la obtención del mapa de amenazas, es necesario tener presente que durante la fase de campo (Geología), se detectó que en el frente montañoso hacia la parte alta del barrio Fuenmayor (alto de la cruz) el mecanismo de falla es de tipo rotacional, mientras que para el resto de la zona de estudio el mecanismo de falla imperante es de tipo traslacional. Lo anterior implicó que los análisis realizados fueran distintos, de manera que para un sector se realizaron análisis de estabilidad para falla circular, mientras que para el otro fue falla planar en talud infinito. Teniendo presente lo anterior, procederemos a destacar los principales resultados de los anteriores escenarios:

### **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. Bajo este escenario, se encontró que el casco urbano y la zona de expansión no se verán afectados, a excepción de la zona sur oriental en donde históricamente se han presentado deslizamientos y en la actualidad existe un deslizamiento rotacional activo; en dicha zona se concentra el área de

amenaza alta correspondiente al 0.5% del total de la amenaza que en gran parte corresponde a amenaza baja (98.5%). Figura 3.



Figura 3. Distribución porcentual de amenaza, escenario 1.

### Escenario 2. Talud seco con Sismo

Esta condición implica la generación de un sismo en verano, en la que el régimen de lluvias es mínimo, y el nivel freático se encuentra abatido. Para efecto de análisis se asume un coeficiente de aceleración horizontal de 0.2g. Como consecuencia del sismo las laderas del alto de la Cruz y del filo de El Derrumbado se verían afectadas (Figura 4), siendo la zona más afectada esta última.



Figura 4. Distribución porcentual de amenaza, escenario 2.

### Escenario 3. Talud parcialmente saturado con Sismo

Corresponde a la condición más crítica. Este escenario se asume que se presente un sismo durante un periodo de lluvias fuertes y prolongadas. Como se puede observar en la Figura 5, el efecto del aumento en el nivel freático, como es el caso de lluvias torrenciales en la zona, tiene como consecuencia la falla de las laderas del costado oriental hacia el frente montañoso afectando los barrios Fuenmayor, La Revolución y la parte baja de Ato Bonito. Además también se verán afectadas las laderas de la zona suroriental correspondientes al Filo El Derrumbado y a la vereda El Tablazo muy cerca al casco urbano.

Es importante destacar que aunque el mayor porcentaje de la amenaza corresponde a amenaza baja (90%), los movimientos antes mencionados cubren el 5% del área de estudio. Figura 5.



*Figura 5. Distribución porcentual de amenaza, escenario 3.*

Teniendo en cuenta los resultados de los anteriores escenarios procederemos a destacar los principales aspectos de los niveles de amenaza, así como el significado para cada uno de los escenarios:

**AMENAZA BAJA:** Corresponde a los sectores donde en general el terreno es estable por fenómenos de remoción en masa ante agentes externos. Estas áreas corresponden a zonas planas, las de menor pendiente, urbanizadas y con una cobertura vegetal bastante importante. Estas zonas sin embargo, pueden ser propensas a fenómenos de inundación y flujos torrenciales, tal como se describió en el capítulo de hidráulica.

**AMENAZA MEDIA:** Estos sectores se caracterizan por presentar pendientes intermedias, y se encuentran ubicadas en la generalidad de los casos en el sector oriental del frente montañoso, 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. El mecanismo de falla predominante hacia la ladera del alto de la Cruz es de tipo rotacional, mientras que en el sector sur oriental hacia el sector del filo del Derrumbado se pueden desarrollar movimientos en masa de tipo traslacional. Estas zonas se caracterizan por la falla del talud, por efecto de algunos de los agentes externos previamente descritos o por la combinación de ellos.

En la Figura 6 se puede ver la representación cartográfica del escenario 3 considerado como el más crítico escenario posible.



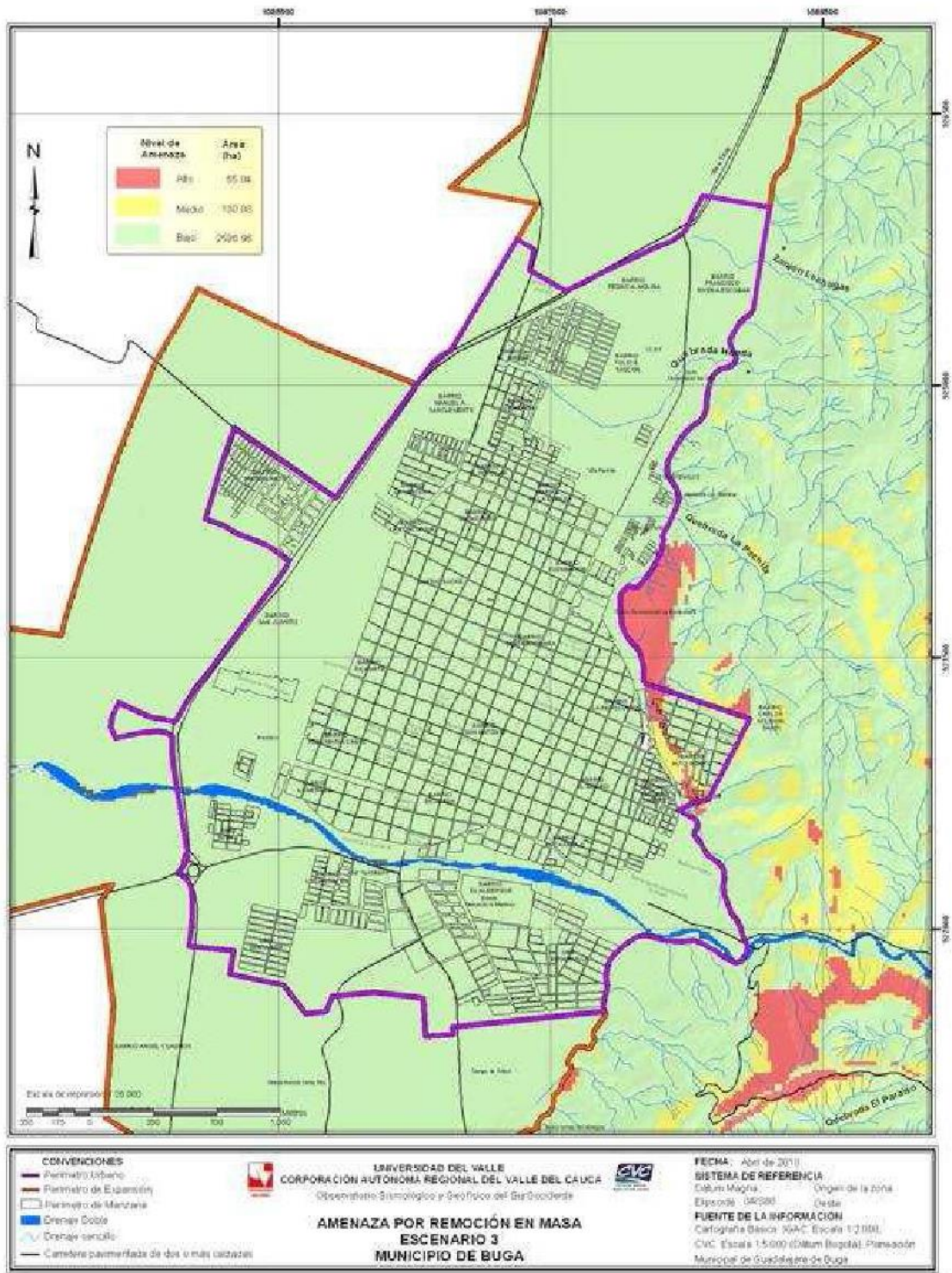


Figura 6. Amenaza por Remoción en Masa Escenario 3.

## **6. AMENAZAS POR INUNDACIONES Y AVENIDAS TORRENCIALES**

Las inundaciones y las avenidas torrenciales son dos de los fenómenos naturales que mayores estragos y daños causan a nivel mundial. Si se tiene en cuenta la distribución geográfica de las distintas amenazas naturales, las inundaciones y las avenidas torrenciales son, sin duda, los más generalizados, pues afectan a todos los países del mundo.

En Colombia, las inundaciones originadas por los desbordamientos de los ríos son altamente frecuentes a lo largo y ancho del territorio nacional. Casi todas las regiones del país son vulnerables a las inundaciones, que pueden presentarse en los ríos principales, y también a veces la población resulta afectada por el desborde de quebradas y ríos pequeños.

Las avenidas torrenciales o flujos de lodos son fenómenos que ocurren en los ríos o quebradas por efecto inicial de un deslizamiento. Se caracterizan generalmente por ser homogéneos o monofásicos. Es un movimiento en masa que se puede originar por diferentes causas (sismos, lluvias, erupción volcánica, deslizamientos, etc.) y que se desplaza ladera abajo por efecto de las fuerzas gravitacionales.

Las comunidades asentadas en zonas aledañas a las regiones montañosas pueden estar en riesgo a causa de las avenidas torrenciales, pues éstas son muchas veces responsables de pérdidas de vidas y daños a la infraestructura. Caracterizadas por una alta velocidad del flujo y grandes fuerzas de impacto, las avenidas torrenciales tienen un potencial erosivo y destructor mucho mayor que el de las inundaciones. En combinación con la poca predictibilidad temporal, las avenidas torrenciales representan una amenaza para asentamientos humanos, zonas agrícolas y ganaderas y vías, entre otros tipos de infraestructura localizados sobre el abanico aluvial, es decir, en la parte plana donde todos los escombros y materiales transportados son depositados.

Por ello es importante que las áreas amenazadas por estos fenómenos sean identificadas con el fin de estimar la vulnerabilidad de los elementos expuestos y determinar los escenarios de riesgo. Éstos permitirán plantear y analizar diferentes alternativas con el propósito de prevenir, mitigar o controlar la amenaza por este tipo de fenómenos y definir posteriormente el uso adecuado de dichas áreas. En muchos casos, esto puede verse reflejado tanto en proyectos de reubicación como modificaciones de los planes de ordenamiento territorial en cuanto a las futuras áreas de expansión de los municipios. Para cumplir con esta tarea se debe desarrollar una metodología para delimitar las zonas vulnerables a este tipo de amenazas.

El municipio de Buga ha tenido problemas por inundaciones y avenidas torrenciales, debido al desbordamiento del río Guadalajara y de algunas quebradas y acequias durante periodos de invierno intenso. En el presente estudio se determinó el nivel de amenaza por inundaciones y avenidas torrenciales en el perímetro urbano y las zonas de expansión del municipio de Guadalajara de Buga en el departamento del Valle del Cauca. 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 los fenómenos de inundación y avenidas torrenciales.



La metodología propuesta en el presente estudio para la determinación de los niveles de amenaza por los fenómenos de inundaciones y avenidas torrenciales se fundamenta en varios de los criterios utilizados en las metodologías revisadas y en la experiencia del grupo de investigación HIDROMAR en el área de amenazas aplicadas en el río Cauca, teniendo en cuenta los diferentes acuerdos reglamentados por la CVC para protección de las planicies aluviales del río Cauca y sus tributarios (alineamientos de diques riberaños, determinación de la franja protectora del río Cauca y periodos de retorno de diseño de diques para cultivos, infraestructuras y centros poblados). También se consideraron los planes y esquemas de ordenamiento territorial y los planes de prevención y de atención de desastres, emergencias y contingencias de las inundaciones y avenidas torrenciales.

### **Niveles de Frecuencia de los Eventos de Inundaciones y Avenidas Torrenciales**

A cada escenario seleccionado (tanto para el fenómeno de inundaciones como para el de avenidas torrenciales) se le debe asignar un nivel de frecuencia en términos cualitativos: frecuencia alta, media, moderada, baja, etc.

Los umbrales de los periodos seleccionados corresponden inicialmente a dos veces el periodo de retorno de los diseños de los drenajes urbanos (10 años). El segundo umbral corresponde aproximadamente a los periodos que los diseños de las obras de infraestructura vial y de cultivos deben garantizar según la normatividad colombiana (30 años). El tercer umbral corresponde a la norma que estipula que cualquier comunidad aledaña a un cauce debe tener garantizada su integridad para una creciente con un periodo de retorno de 100 años.

A cada escenario seleccionado se le debe realizar una clasificación cualitativa de acuerdo con su intensidad o magnitud.

Las características hidráulicas a tener en cuenta para determinar la intensidad o magnitud son la profundidad,  $H$ , la velocidad,  $V$ , y el producto de la profundidad por la velocidad,  $H*V$ .

### **Metodología para determinar los niveles de amenaza por inundaciones**

El primer umbral determinado corresponde al nivel o profundidad del agua observada a partir de la cual las comunidades desalojan sus viviendas (0.45 m) y el segundo umbral corresponde al criterio en el cual se considera que la vida de una persona está en riesgo (0.90 m). En lo que respecta a la velocidad del flujo, los umbrales corresponden a 0.5 m/s y 0.8 m/s, respectivamente. Los umbrales del producto de la profundidad por la velocidad corresponden a 0.225 m<sup>2</sup>/s y 0.45 m<sup>2</sup>/s. Los umbrales definitivos de intensidad o magnitud del evento se toman de acuerdo con el rango de niveles, el rango de velocidades y los rangos del producto de la profundidad por la velocidad.

### ***Determinación de los niveles de amenaza por inundaciones***

Después de determinar los umbrales y niveles de frecuencia e intensidad del evento se procede a clasificar los mapas de inundación en diferentes niveles cualitativos de amenaza (alta, significativa, media, moderada alta, moderada, moderada baja, baja, etc.).

Los niveles de amenaza que se recomienda utilizar son alta, media y baja, los cuales dependen de los niveles de frecuencia o recurrencia del evento y de los niveles de intensidad de la amenaza, expresada mediante los tres rangos de profundidades de agua recomendados. Tabla 2.

**Tabla 2.** Nivel de amenaza según la frecuencia y la intensidad o magnitud de la inundación

		<b>Nivel de amenaza</b>		
<b>Nivel de intensidad</b>	Nivel de intensidad alto $H \geq 0.9 \text{ m}$ ó $V \geq 0.8 \text{ m/s}$ ó $H*V \geq 0.45 \text{ m}^2/\text{s}$	<b>Alto</b>	<b>Alto</b>	<b>Alto</b>
	Nivel de intensidad medio $0.45 \text{ m} \leq H < 0.9 \text{ m}$ ó $0.5 \text{ m/s} \leq V < 0.8 \text{ m/s}$ ó $0.225 \text{ m}^2/\text{s} \leq H*V < 0.45 \text{ m}^2/\text{s}$	<b>Alto</b>	<b>Medio</b>	<b>Medio</b>
	Nivel de intensidad bajo $0.05 \text{ m} < H < 0.45 \text{ m}$ y $V < 0.5 \text{ m/s}$ y $H*V < 0.225 \text{ m}^2/\text{s}$	<b>Medio</b>	<b>Bajo</b>	<b>Bajo</b>
<b>Frecuencia de la inundación</b>	Frecuencia alta $Tr \leq 10$	Frecuencia media $10 < Tr \leq 30$	Frecuencia baja $30 < Tr \leq 100$	

### **Metodología para determinar los niveles de amenaza por avenidas torrenciales**

Como se señaló previamente, los umbrales para establecer o clasificar la intensidad de la amenaza por avenidas torrenciales son menores a los definidos para las inundaciones. El primer umbral adoptado corresponde al nivel observado a partir del cual las comunidades desalojan sus viviendas (0.25 m) y el segundo umbral corresponde al criterio en el cual la vida de una persona se encuentra en riesgo (0.5 m). En lo que respecta a las velocidades, los umbrales corresponden a 0.25 m/s y 0.5 m/s, respectivamente. Los umbrales del producto de la profundidad por la velocidad son 0.1 m<sup>2</sup>/s y 0.25 m<sup>2</sup>/s. Los umbrales definitivos de intensidad o magnitud de la amenaza por avenida torrencial se toman de acuerdo con el rango de niveles, el rango de velocidades y los rangos del producto de la profundidad por la velocidad del flujo.

### ***Determinación de los niveles de amenaza por avenidas torrenciales***

Después de determinar los umbrales y niveles de frecuencia e intensidad del evento se procede a clasificar los mapas de inundación en diferentes niveles cualitativos de amenaza (alta, media, moderada alta, moderada, moderada baja, baja, etc.).

Los niveles de amenaza que se recomienda utilizar son alta, media y baja, los cuales dependen de los niveles de frecuencia o recurrencia del evento y de los niveles de intensidad de la amenaza, expresada mediante los tres rangos de profundidades de agua recomendados, como se presenta en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Nivel de amenaza según la frecuencia y la intensidad o magnitud de avenidas torrenciales

		Nivel de amenaza		
Nivel de intensidad	<b>Nivel de intensidad alto</b> $H \geq 0.5 \text{ m}$ ó $V \geq 0.5 \text{ m/s}$ ó $H*V \geq 0.25 \text{ m}^2/\text{s}$	<b>Alto</b>	<b>Alto</b>	<b>Alto</b>
	<b>Nivel de intensidad medio</b> $0.25 \text{ m} \leq H < 0.5 \text{ m}$ ó $0.25 \text{ m/s} \leq V < 0.5 \text{ m/s}$ ó $0.1 \leq H*V < 0.25 \text{ m}^2/\text{s}$	<b>Alto</b>	<b>Medio</b>	<b>Medio</b>
	<b>Nivel de intensidad bajo</b> $0.05 \text{ m} < H < 0.25 \text{ m}$ y $V < 0.25 \text{ m/s}$ y $H*V < 0.1 \text{ m}^2/\text{s}$	<b>Medio</b>	<b>Bajo</b>	<b>Bajo</b>
<b>Frecuencia de la inundación</b>		Frecuencia alta $Tr \leq 10$	Frecuencia media $10 < Tr \leq 30$	Frecuencia baja $30 < Tr \leq 100$

Los resultados obtenidos de la modelación hidráulica para los diferentes escenarios simulados (es decir, para los diferentes periodos de retorno), tanto para el fenómeno de inundaciones como para el fenómeno de avenidas torrenciales, se implementan en el sistema de información geográfica de la zona de estudio. Inicialmente se elaboran los mapas de profundidades del flujo en las zonas afectadas para los diferentes periodos de retorno analizados. Posteriormente, con base en los niveles de intensidad identificados se elaboran los mapas de amenaza para los diferentes periodos de retorno evaluados. Finalmente, con base en estos mapas de amenaza (elaborados para los periodos de retorno de 10, 30 y 100 años) se construye el mapa de amenaza global o integral para cada fenómeno, en el cual para cada celda se define el nivel de amenaza más crítico hallado, es decir, a cada celda del área de estudio se le asigna el máximo nivel de amenaza hallado para los tres periodos de retorno considerados. En las figuras 7 y 8 se pueden evidenciar los mapas que representan las inundaciones y avenidas torrenciales consideradas para el periodo de retorno de 100 años que es en consecuencia el escenario más crítico posible.

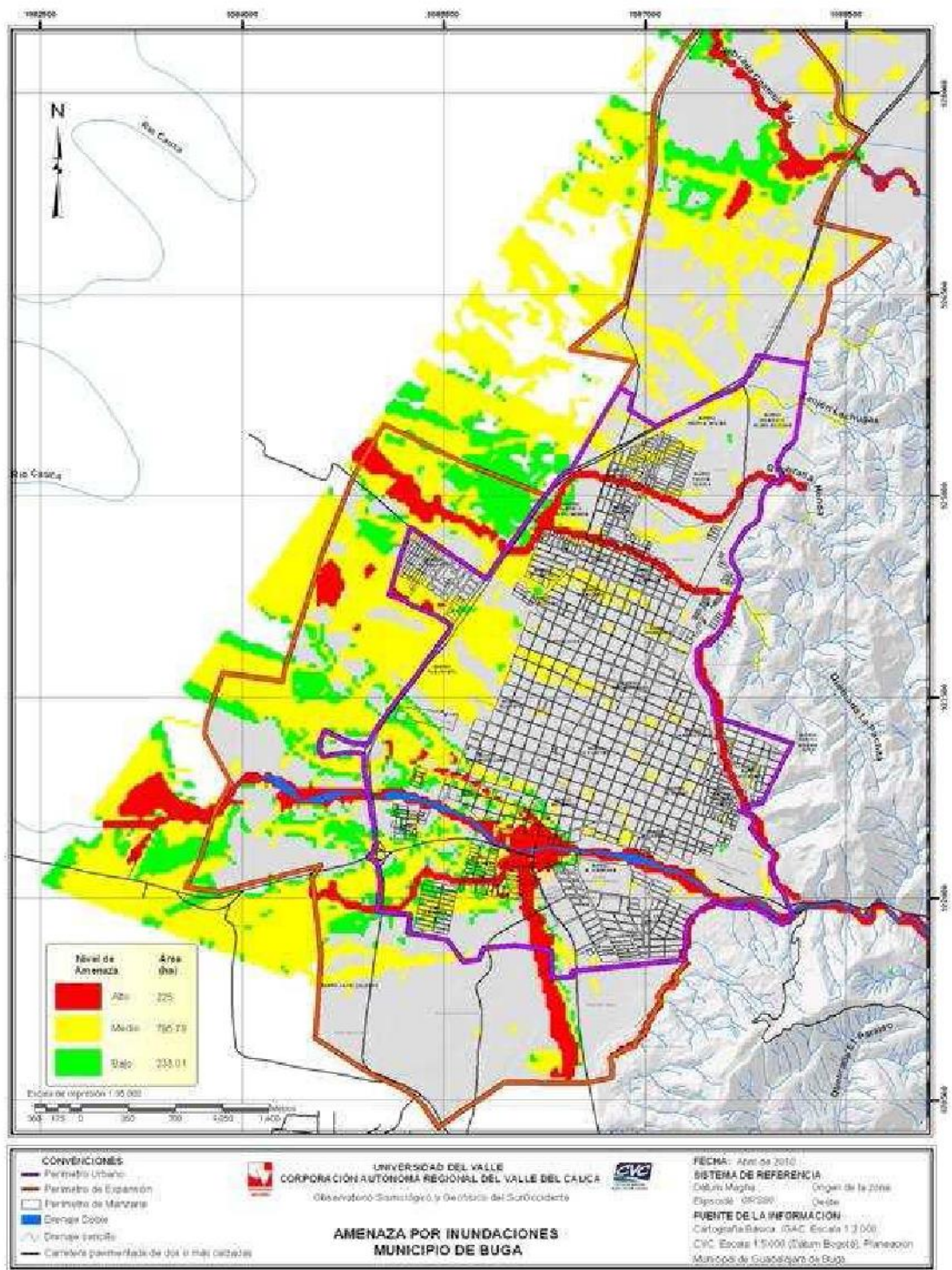


Figura 7. Amenaza por inundaciones municipio de Buga.



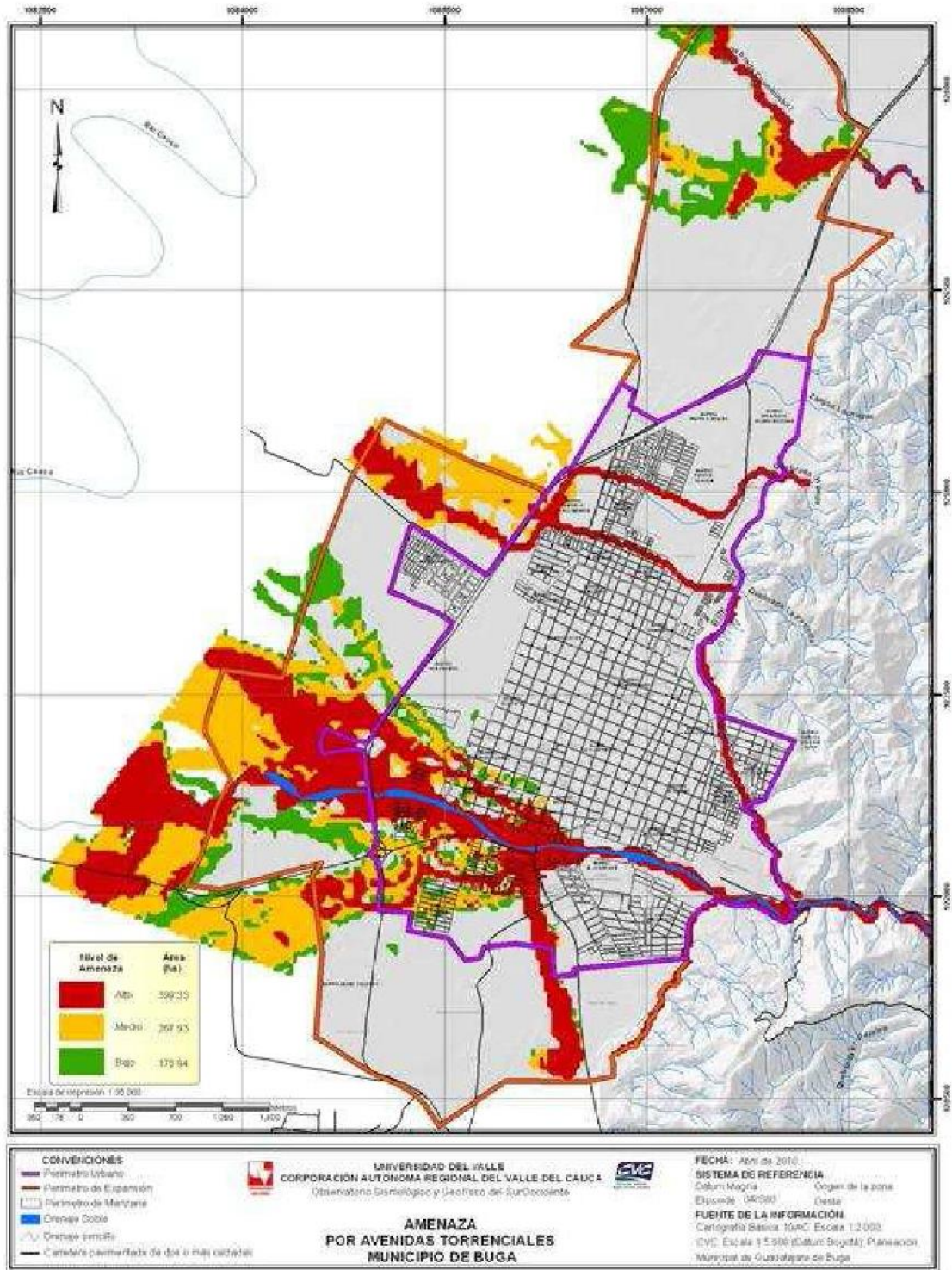


Figura 8. Avenidas Torrenciales Municipio de Buga

## 7. VULNERABILIDAD Y ESCENARIOS DE AFECTACIÓN

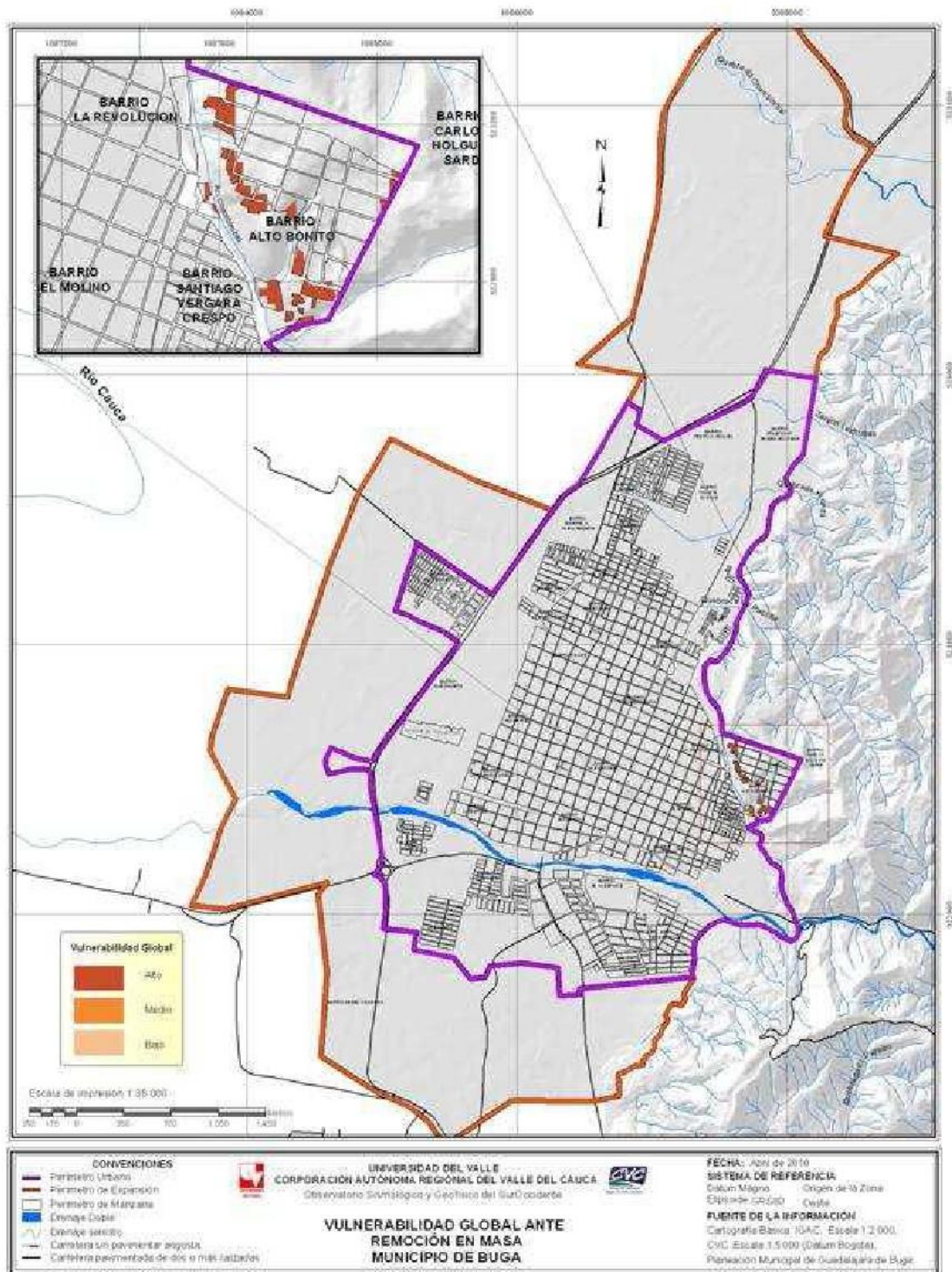
La evaluación de la vulnerabilidad y los escenarios de afectación parte de un modelo conceptual y metodológico que involucra no solamente la medición de parámetros o indicadores estructurales (paredes, cubiertas estado de conservación, etc.), sino también algunos indicadores corporales (edad, sexo, dependencia total, etc.) los cuales permiten un acercamiento mucho más acertado y real a la situación de emergencia de una comunidad. En tal 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; y el riesgo se define como el resultado del producto escalado del factor de amenaza y del factor de vulnerabilidad, que se guardan relación y condicionan 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.

La evaluación de la vulnerabilidad en el municipio de Guadalajara de Buga se realizó ante los fenómenos de Remoción en masa, Inundaciones y Avenidas Torrenciales, lo cual permite identificar las viviendas y las personas que habitan en los sectores críticos, donde se presentan altos niveles de exposición a la amenaza para cada uno de los fenómenos, y unas condiciones de fragilidad determinadas.

La figura 9 presenta la distribución espacial de la vulnerabilidad global ante remoción en masa, donde se observa que alrededor del 100% del área de estudio presenta niveles de vulnerabilidad alta; las áreas se localizan entre la ladera del barrio Alto Bonito y el cauce de la acequia Chambimbal.

Cabe resaltar que pese a que la zona afectada por dicho fenómeno es relativamente pequeña, la vulnerabilidad de los elementos expuestos es muy alta, lo cual se traduce en que en esta zona, los elementos (corporales y estructurales) se caracterizan por presentar un nivel de exposición alto ante la amenaza por remoción en masa y unos niveles de fragilidad considerables. Las viviendas se caracterizan por presentar un estado de deterioro, cuya resistencia de los materiales son inaceptables; la población es incapaz de sobreponerse por sí mismos a los efectos provocados por el fenómeno.



*Figura 9. Vulnerabilidad Global ante Remoción en Masa. Municipio de Buga*



La figura 10, presenta la distribución espacial de la vulnerabilidad global ante inundaciones, donde se observa que alrededor del 97% del área de estudio presenta niveles de vulnerabilidad medio; las áreas que presentan dicho grado de vulnerabilidad se localizan en proximidades a los cauces del río Guadalajara de Buga y las quebradas La Honda y La Pachita.

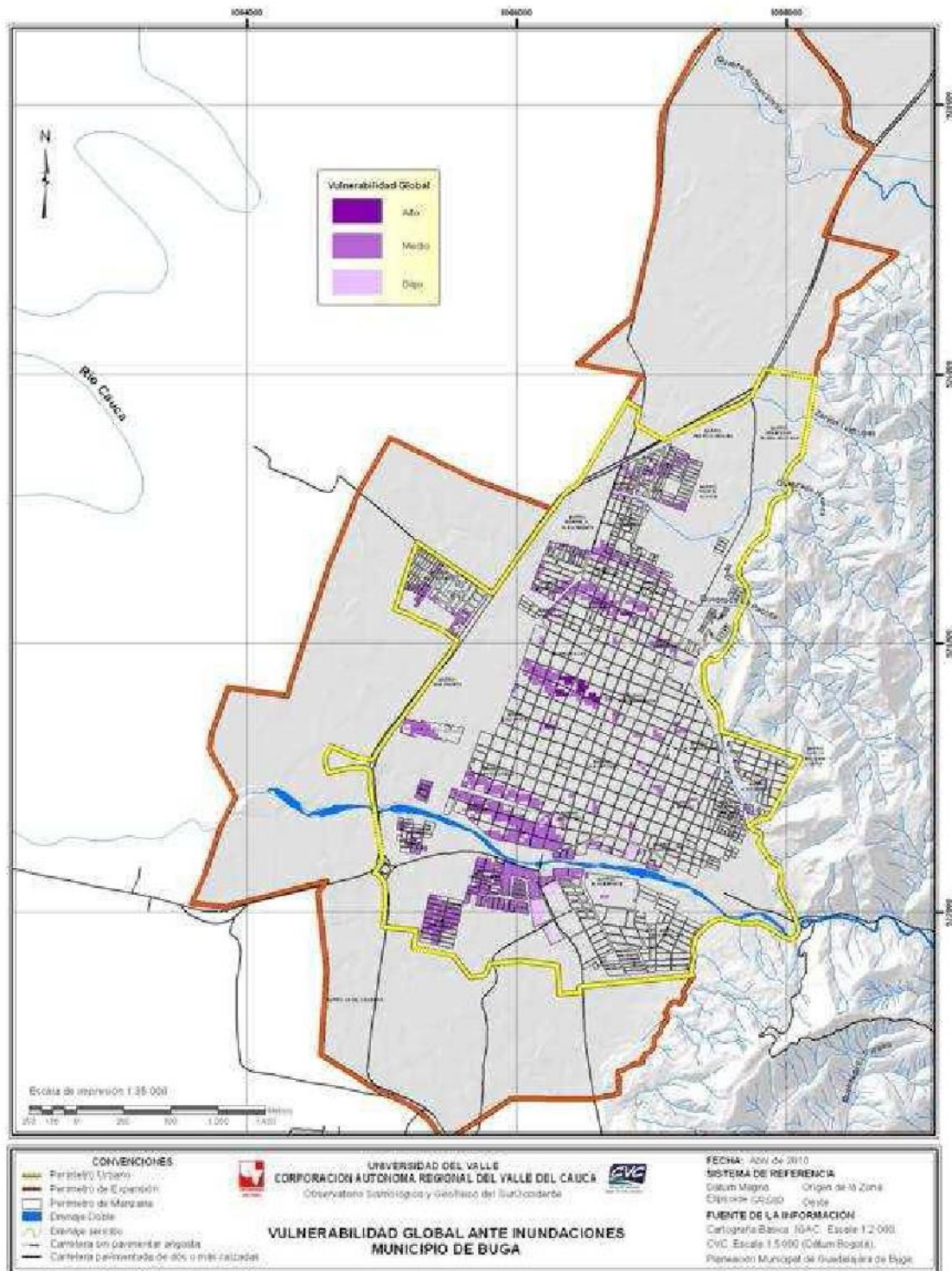
Ante este fenómeno, los elementos expuestos tanto corporales y estructurales se caracterizan por presentar un nivel de exposición moderado ante la amenaza y unos niveles de fragilidad intermedio. El estado de las viviendas y la resistencia de sus materiales son aceptables; la población posee cierto grado de limitación socioeconómica para responder y adaptarse al cambio generado por la ocurrencia del evento crítico.

Los sectores con vulnerabilidad alta tan solo representan el 3% de los elementos expuestos, cuyos niveles de exposición y fragilidad son altos, los elementos estructurales son débiles, inadecuados, y presentan un deterioro; la población se encuentra en incapacidad de sobreponerse a los efectos provocados por el evento crítico.

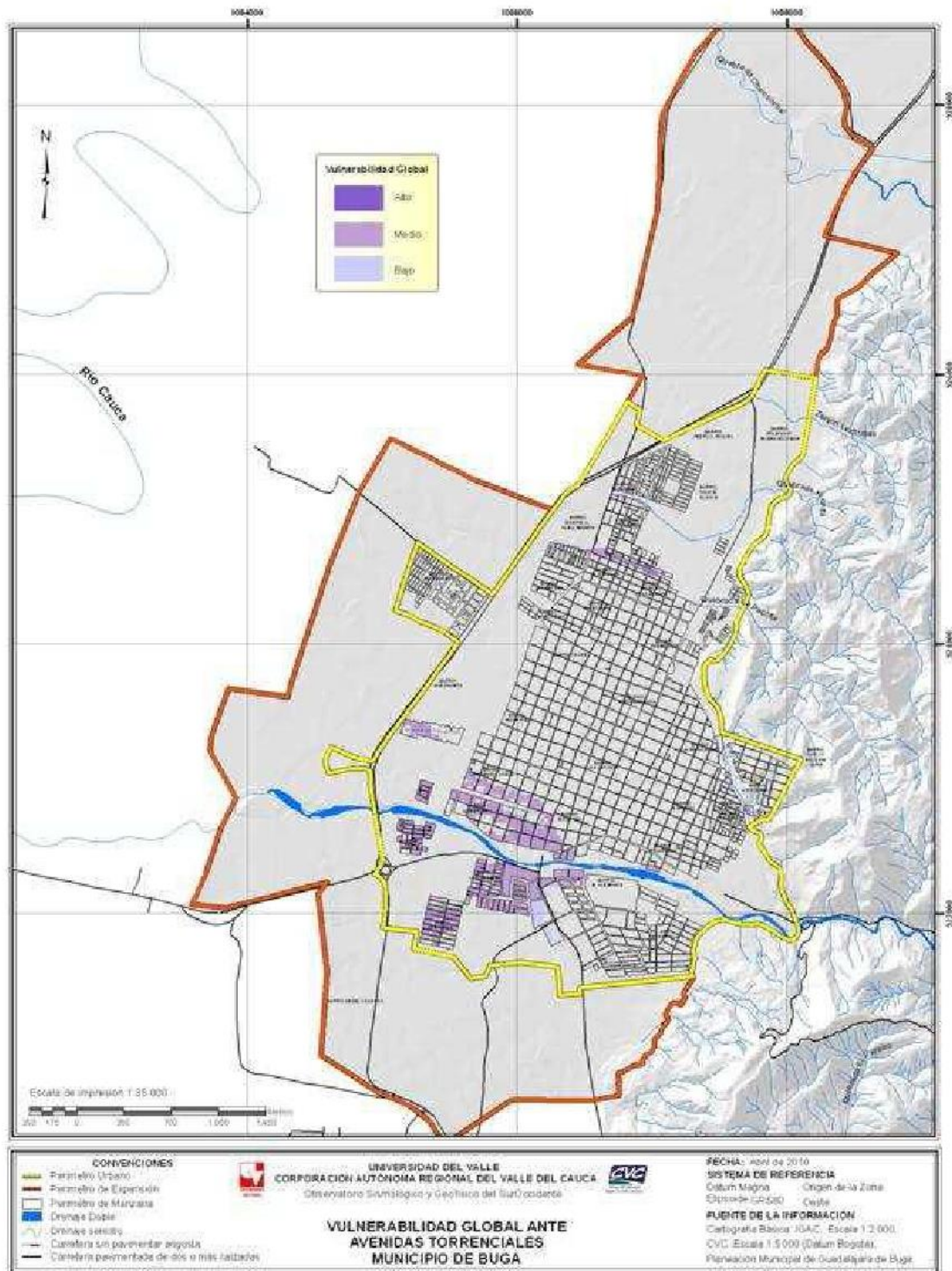
La figura 11 presenta la distribución espacial de la vulnerabilidad global ante avenidas torrenciales, cuya representación estadística es igual a la observada para el fenómeno de inundaciones, alrededor del 97% del área de estudio presenta niveles de vulnerabilidad medio; las áreas que presentan dicho grado de vulnerabilidad se localizan en proximidades a los cauces del río Guadalajara de Buga, hacia el suroeste del casco urbano, barrios La Merced, Estambul, José María Cabal; Prados de la Julia, El Albergue, Los Ángeles, Aures, Portales del Río y Capri.

Como en las inundaciones, los elementos expuestos tanto corporales y estructurales ante la ocurrencia de una avenida torrencial, se caracterizan por presentar un nivel de exposición moderado ante la amenaza y unos niveles de fragilidad intermedio. El estado de las viviendas y la resistencia de sus materiales con aceptables; la población posee cierto grado de limitación socioeconómica para responder y adaptarse al cambio generado por el evento crítico.





*Figura 10. Vulnerabilidad Global por Inundaciones. Municipio de Buga*



*Figura 11. Vulnerabilidad Global por Avenidas Torrenciales. Municipio de Buga*

La relación entre el peligro de un fenómeno natural y las condiciones vulnerables creadas por una 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 figuras 12, 13 y 14 reflejan los resultados obtenidos en cuanto a afectación global para cada uno de los fenómenos: remoción en masa, inundaciones y avenidas torrenciales.

Se puede apreciar que las zonas de mayor afectación por fenómenos de remoción en masa se encuentran localizadas al oriente en laderas del barrio Alto Bonito, cuya ocurrencia crítica se traduce en pérdidas humanas y daños graves, destrucción parcial y/o total de las estructuras.

La zona sur de la cabecera municipal, próxima al río Guadalajara se identifica con mayores niveles de afectación ante los fenómenos de inundaciones y avenidas torrenciales, además de las manzanas próximas a la quebrada La Honda.

Dadas las características de estos sectores, asociadas a la amenaza y la vulnerabilidad, se esperaría que con la ocurrencia de estos fenómenos de origen hidrológico, los daños pudieran ser graves, lo cual se traduciría en un elevado número de personas atrapadas y arrastradas y fallecidas; la población infantil y senil en estos casos sería una de las más afectadas. En cuanto a las viviendas, el modo de afectación esperado podría traducirse en daños estructurales y en cubiertas para todas las viviendas. Para estos fenómenos, el 50 y 60% de la zona de estudio expuesta presentan niveles de afectación altos.

De acuerdo con los resultados, la cabecera municipal afronta una situación de riesgo en la que importantes sectores de la población se encuentra en niveles de afectación moderados y altos, sin incluir la zona de expansión, debido principalmente a la ausencia de urbanización; permitiendo identificar zonas que requieren acciones prioritarias para mitigar o disminuir el grado de afectación ante los distintos fenómenos, y orientar políticas de planificación y toma de decisiones.

En general ante la ocurrencia de los distintos fenómenos en las zonas identificadas, y dados los altos y moderados niveles de afectación, se esperarían desde lesiones físicas leves hasta pérdidas humanas, además de daños estructurales importantes en las viviendas.



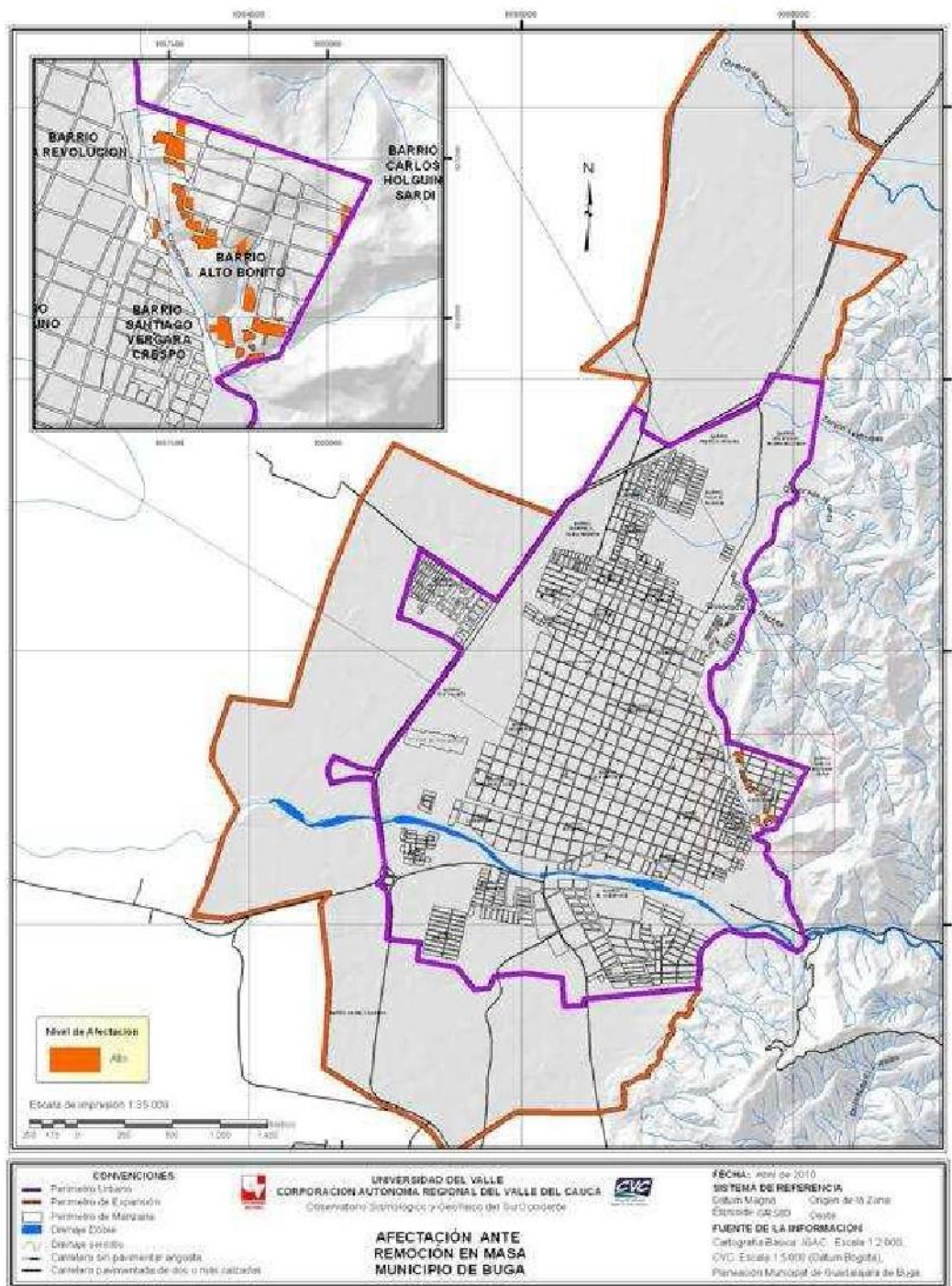
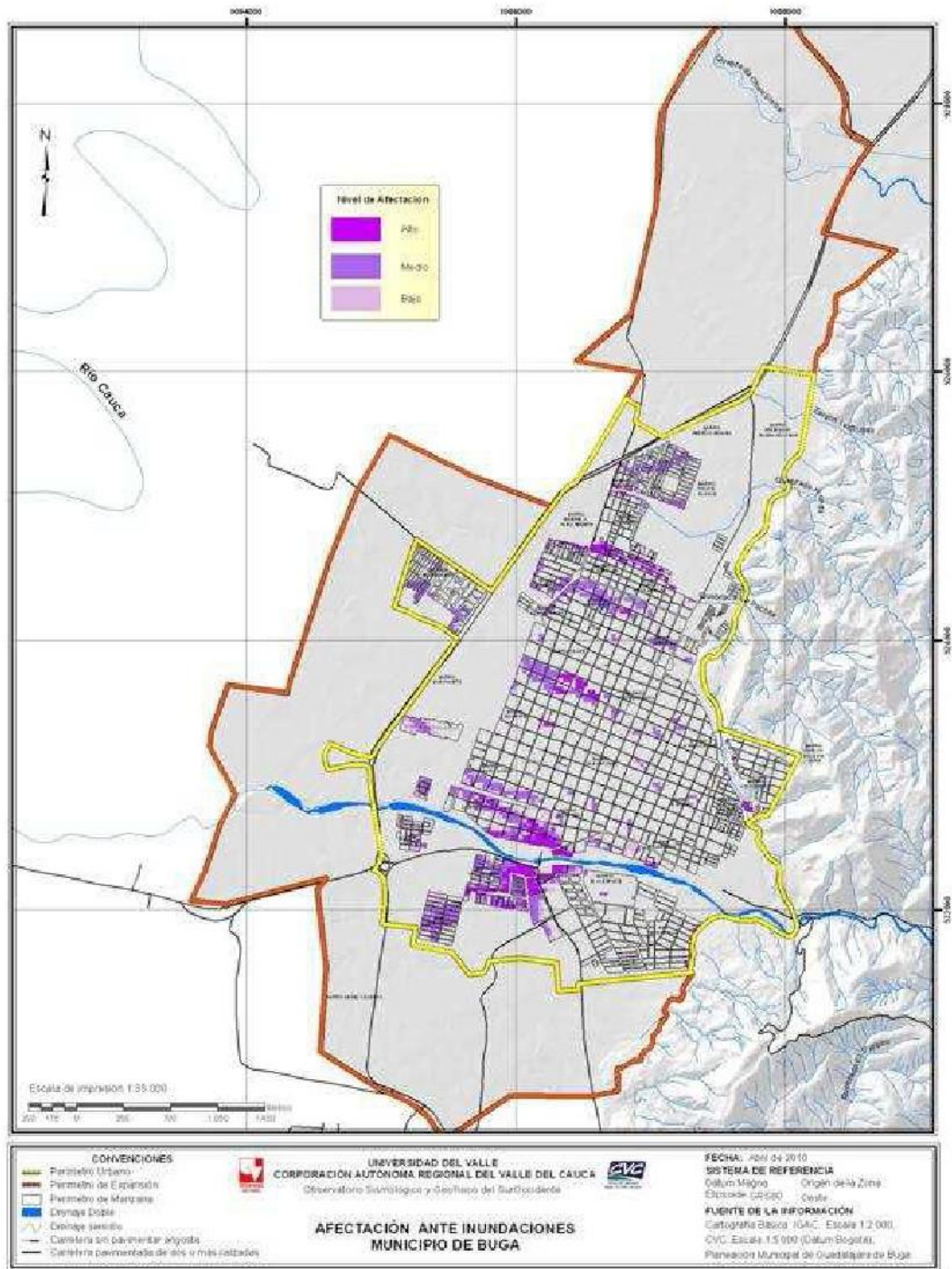


Figura 12. Afectación por remoción en Masa. Municipio de Buga



*Figura 13. Afectación por Inundaciones Municipio de Buga*



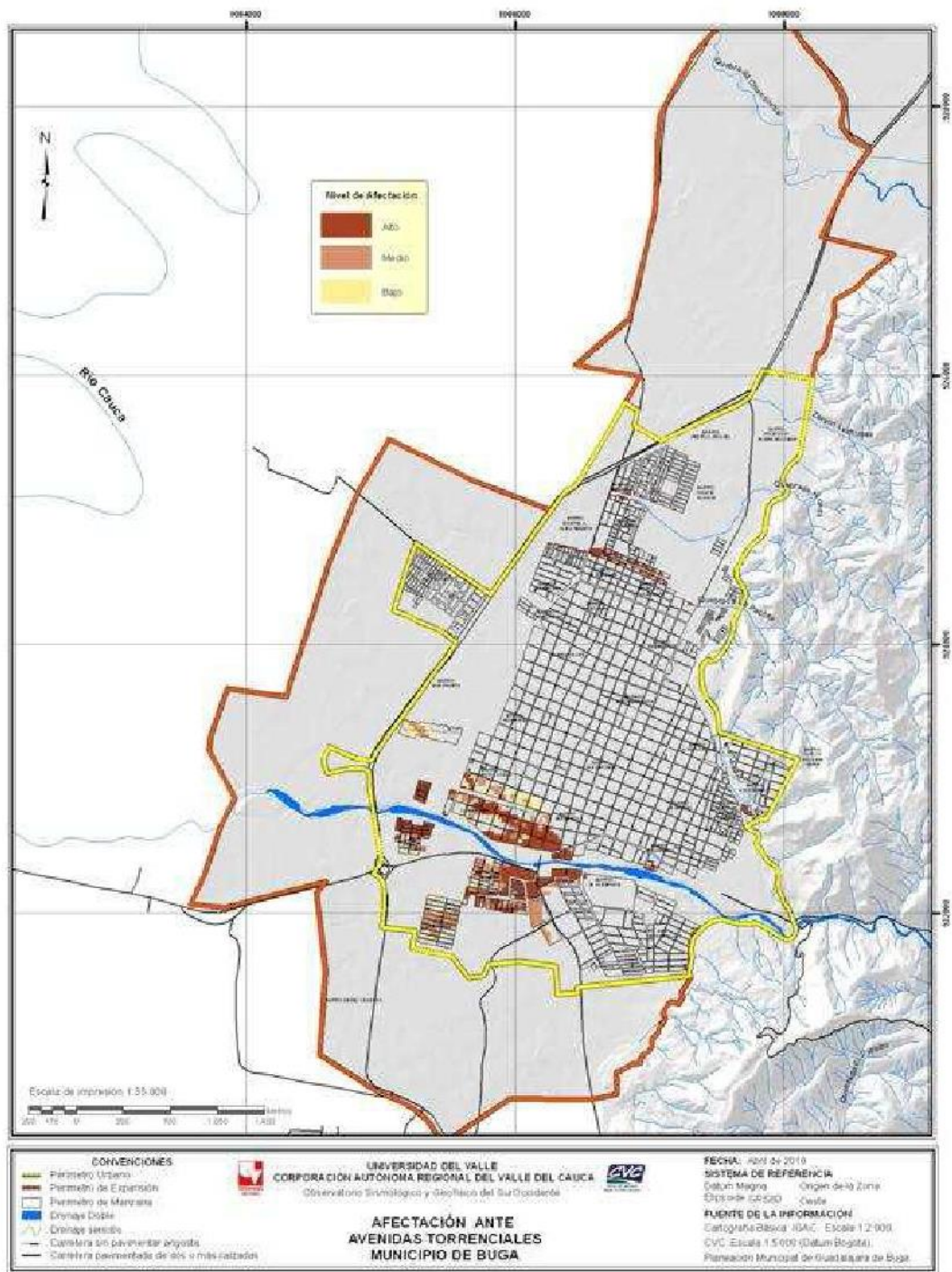
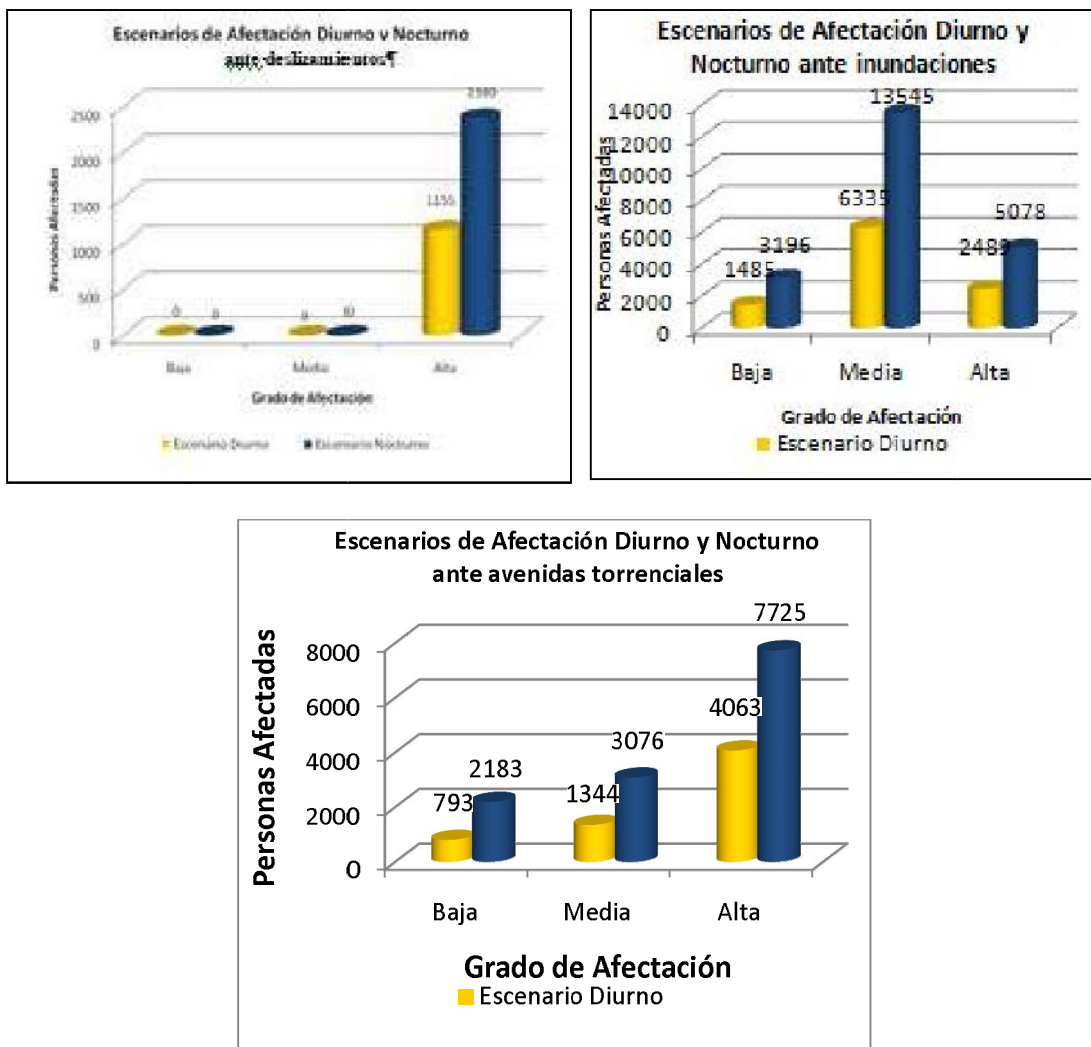


Figura 14. Afectación por Avenidas Torrenciales. Municipio de Buga

Por último, 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 evaluar esta situación se determinan escenarios de afectación, en donde se efectúa el cruce de información correspondiente al modo de daño con el número de personas en la vivienda por escenario (diurno y nocturno).

La figura 15 muestra la población que se encuentran en niveles de afectación para cada uno de los fenómenos durante el día y la noche; la mayor participación de la población afectada se da en el rango alto, para los fenómenos de remoción y avenidas, aunque los rangos se diferencian significativamente. Para inundaciones la población se ve afectada principalmente en un nivel intermedio.



*Figura 15* Personas afectadas para los escenarios diurno y nocturno ante los distintos fenómenos en el municipio de Buga.

## **8. SOCIALIZACIÓN**

Como actividad final correspondiente a los términos de referencia del proyecto se llevó a cabo la socialización de resultados y lineamientos generales, la cual se desarrolló el día 3 de Agosto de 2010, en el salón Mayor Heriberto Patiño de Bomberos de Buga. Por medio de una amplia convocatoria que realizó la Alcaldía Municipal a todos los actores institucionales y sociales de la localidad. La dirección del CLOPAD, mediante oficio, invitó a funcionarios representantes de los diversos organismos interesados en conocer la situación de amenazas y afectación en el municipio, tales como funcionarios de la alcaldía, hospital, centros educativos, organizaciones no gubernamentales (ONG's), policía, Cruz Roja, defensa civil, scouts, bomberos y CVC – Buga.

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. Figura 16.

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 de Ordenamiento Territorial (POT).





*Figura 16. Fotografías Actividad de Socialización. Municipio de Buga.*

## 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 9.1 CONCLUSIONES

Con base en los documentos consultados, sobre todo los informes técnicos elaborados por el Grupo de Infraestructura de la CVC, el Municipio se encuentra expuesto a inundaciones y deslizamientos, dada la localización de este en el abanico aluvial del río Guadalajara, lo cual se constituye en una de las causas principales de los eventos que se registran históricamente en la zona al estar urbanizadas ambas márgenes del río.

Esta situación se ve agravada en época invernal, donde las altas precipitaciones, durante los meses de febrero a abril y de octubre a diciembre ocasiona el aumento de los caudales de los afluentes, tanto del río Guadalajara y las quebradas que recorren la cabecera municipal, siendo La Honda, La Pachita, sumado a esto las acequias se ven expuestas al mismo fenómeno, ocasionando la saturación o colapso que produce dichas inundación, en los barrios previamente identificados. Precisamente los barrios aledaños al río son los más afectados con el desbordamiento del mismo en temporada invernal, lo cual es agravado por los usos inadecuados del suelo por parte de los habitantes de las riberas del río, quienes arrojan basuras a las acequias y ríos.

La deforestación es otra causa de los desbordamientos del río e inundaciones de los sectores aledaños a las quebradas y acequias, al destinar los suelos a la ganadería, los habitantes de estos sectores están contribuyendo a erosionar los suelos, lo cual los convierte en una de las principales causas de los desastres durante las olas invernales.

Tal vez un buen camino para cambiar este panorama cada vez que se presenta el invierno, sería, además de llevar a cabo las obras de mitigación, elaborar planes ambientales encaminados a concientizar a la gente sobre las consecuencias de sus actos y como esto altera el espacio que habitan y lo hace más vulnerable a las inundaciones y erosiones. Es importante que entidades como la CVC, sigan realizando planes de manejo ambiental y uso del suelo que permita que estos problemas se puedan solucionar; otra labor importante es la desempeñada por el CLOPAD, que junto a la CVC, debe trabajar conjuntamente para llevar a cabo obras encaminadas a prevenir desastres, un ejemplo de ello es la falta de alcantarillado pluvial en el Municipio, que provoca inundaciones por colmatación

La zona con mayores rasgos de inestabilidad del terreno, que pueden afectar el casco urbano de Guadalajara de Buga y sus zona de expansión, corresponde a las laderas del frente montañoso, entre el sector del barrio las Ferias y el Batallón Palacé. El barrio Alto Bonito, por su historia de deslizamientos, reptación de las laderas, y características topográficas; pendiente alta y poca consolidación del material aluvial y suelo que lo conforma, se puede considerar como una zona de *inestabilidad latente*.

Las quebradas La Pachita, Várelas y Chambimbal, localizadas sobre el frente montañoso al noreste del barrio las Ferias, presentan conos aluviales difusos en cuanto a su extensión, pero indican la posibilidad de que estas corrientes de agua puedan eventualmente producir avenidas torrenciales de corrientes de agua cargadas con sólidos en suspensión de variado tamaño, pero principalmente lodos de acuerdo a la estratigrafía de la geoforma. La erosión

activa y los pequeños deslizamientos, presentes en casi todas las cabeceras de estas quebradas y sus afluentes, y que afectan los suelos residuales de la formación La Paila, suministran el material propicio para que estos fenómenos potencialmente puedan ocurrir aguas abajo.

En el estudio inicialmente se establecieron los mapas de inundaciones y avenidas torrenciales originadas por las crecientes del río Guadalajara y las quebradas La Honda, La pachita y Chambimbal para periodos de retorno de 10, 30 y 100 años y posteriormente se generó la cartografía de amenaza por inundaciones y avenidas torrenciales en la zona urbana y de expansión urbana del municipio de Guadalajara de Buga.

Los caudales correspondientes a las crecientes analizadas se calcularon a través de la modelación hidrológica a partir del análisis de los registros de las precipitaciones en las estaciones climatológicas ubicadas en la cuenca del río Guadalajara, considerando lluvias críticas de 18 horas de duración. Para la generación de los mapas de inundaciones y avenidas torrenciales se construyó e implementó un modelo matemático bidimensional (FLO-2D) mediante el cual se simularon diferentes crecientes correspondientes a periodos de retorno de 10, 30 y 100 años.

La metodología 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, mientras que en las zonas sometidas a niveles de amenaza medio se prohíbe la construcción de viviendas, granjas, hoteles, centros escolares o sanitarios, bomberos, cementerios, campings y actividades de naturaleza similar y en las zonas de nivel de amenaza bajo se permite la construcción de viviendas y hoteles adoptando las medidas de construcción adecuadas.

La cartografía de amenaza por inundaciones y 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 Buga, 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.

Considerando el fenómeno de inundaciones originadas por los desbordamientos de los cauces y las lluvias, el 31.91% (308.47 ha) del área urbana del municipio de Guadalajara de Buga se encuentra expuesto a algún grado de amenaza; es decir, un poco menos de la tercera parte del área urbana se encuentra amenazada. Por otra parte, el 27.86% del área urbana se encuentra expuesto a un nivel de amenaza alto o medio. Además, el 45.09% (465.99 ha) de la zona de expansión urbana del municipio de Buga se encuentra expuesto a algún grado de amenaza (o sea, un poco menos de la mitad del área de expansión urbana total). Asimismo, el 34.79% del área de expansión urbana se halla expuesto a un nivel de amenaza alto o medio por el fenómeno de inundaciones.

Para el fenómeno de avenidas torrenciales el 21.21% (205.04 ha) del área urbana se encuentra expuesto a algún grado de amenaza. Además, el 18.88% del área urbana se encuentra expuesto a un nivel de amenaza alto o medio. Por otra parte, el 32.22% del área de expansión urbana se halla expuesto a algún grado de amenazada por el fenómeno de avenidas torrenciales. Asimismo, el 24.71% del área de expansión urbana se encuentra expuesto a un nivel de amenaza alto o medio. Estas cifras indican que el fenómeno de avenidas torrenciales es un poco más crítico que el de inundaciones para la zona urbana y de expansión urbana del municipio de Buga.

Al considerar conjuntamente los mapas de amenaza globales por inundaciones y avenidas torrenciales se obtuvo el mapa de amenaza integrado por estos dos fenómenos. Este mapa indica o representa la condición o nivel de amenaza más crítico que se puede tener en cada punto del área urbana al considerar tanto el fenómeno de inundaciones como el de avenidas torrenciales. Este mapa integrado arrojó las siguientes áreas de la zona urbana y de expansión urbana del municipio de Guadalajara de Buga expuestas a los niveles de amenaza alto, medio y bajo.

Según los resultados obtenidos, el 33.70% del área urbana del municipio se encuentra expuesta a algún grado de amenaza por inundaciones o avenidas torrenciales (es decir, 325.74 ha), lo cual representa un porcentaje relativamente alto de toda el área urbana. Igualmente se debe destacar que el 14.86% del área urbana (o sea 143.67 ha) se halla expuesto a un nivel de amenaza alto. También se observa que el 48.82% del área de expansión urbana del municipio de Buga se encuentra expuesto a algún grado de amenaza por inundaciones o avenidas torrenciales (es decir, 504.58 ha), lo cual representa un porcentaje considerablemente alto de toda el área de expansión urbana. Igualmente se debe destacar que el 14.64% del área de expansión urbana (o sea, 151.25 ha) se encuentra expuesto a un nivel de amenaza alto.

El mapa integrado de amenaza por inundaciones y avenidas torrenciales presenta condiciones más críticas que los resultados de los mapas de amenaza individuales por cada uno de los dos fenómenos, razón por la cual este mapa debería ser tenido en cuenta para el reordenamiento territorial del municipio y el planteamiento de medidas de protección y mitigación necesarias.

Los mapas de amenaza por inundaciones y 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 inundaciones y 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 y las características de los flujos en dichas zonas 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 generada constituye una herramienta útil para el análisis de la amenaza asociada a inundaciones y avenidas torrenciales que resulta indispensable para la determinación de la vulnerabilidad y la cuantificación del riesgo (escenarios de afectación) por estos fenómenos. Esta cuantificación representa el paso inicial para la evaluación del riesgo.

## 9.2 RECOMENDACIONES

Evaluar mediante estudios geotécnicos apropiados, la estabilidad del Barrio Alto Bonito, en particular el sustrato aluvial antiguo que lo sustenta. De igual manera se debe realizar un estudio de control de erosión, en las laderas situadas entre el barrio La Feria y el sector del polideportivo La Bombonera, en el sector del denominado “Lomo”, la cual podría eventualmente afectar la acequia Chambimbal. Evaluar, la incidencia de la erosión y los movimientos de remoción en masa, y en general la inestabilidad potencial de la cuenca media y alta del río Guadalajara, como posible factor de avalanchas, flujos o avenidas torrenciales, y su posible aporte de detritos finos y gruesos a la dinámica del río, que pueda llegar a afectar el casco urbano de la ciudad.

Los mapas de amenaza generados debido a la posible ocurrencia de los fenómenos de inundaciones y avenidas torrenciales deben ser empleados para la determinación de la vulnerabilidad y la cuantificación y evaluación del riesgo, y finalmente para el reordenamiento del territorio del municipio de Buga teniendo en cuenta los diferentes grados o niveles de amenaza establecidos, así:

- Nivel de amenaza alto: zonas de desbordes frecuentes e intensidad alta en la cual podrían generarse graves daños a núcleos urbanos, por lo cual se considera que no debe ser urbanizable y debe contar con una protección especial. Si no se contempla el diseño y construcción de estructuras de protección para las zonas donde existan construcciones (casas, edificios, bodegas, hospitales, instituciones educativas, etc.) es necesario planear a mediano y largo plazo su reubicación.

- Nivel de amenaza medio: zona de desbordes frecuentes e intensidad media en la cual podrían ocurrir daños significativos a instalaciones comerciales, industriales y/o servicios básicos; por tal motivo se debe prohibir la construcción de viviendas, granjas, hoteles, centros escolares o sanitarios, hospitales, bomberos, cementerios y actividades de naturaleza similar. Se debe considerar a largo plazo el cambio de uso del suelo en cuanto a las construcciones existentes en esta zona, si no se contempla el diseño y construcción de

estructuras de protección (con el fin de minimizar los daños que se puedan ocasionar por las inundaciones)

- Nivel de amenaza bajo: zona de desbordes poco frecuentes e intensidad baja en la cual podrían presentarse daños leves a instalaciones comerciales, industriales y/o servicios básicos, por lo cual se puede permitir la construcción de viviendas y hoteles, adoptando las medidas de seguridad correspondientes.

### ***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 y/o control de los desbordamientos durante las crecientes y avenidas torrenciales del río Guadalajara, las quebradas Chambimbal, La Pachita y La Honda y las acequias El Albergue, Chambimbal, La Julia y El Chircal; esto con el fin de evitar o reducir magnitud e intensidad de la amenaza por inundaciones y 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 Buga; construcción de áreas de almacenamiento, las cuales permiten amortiguar las crecientes al retener temporalmente una fracción del volumen de agua transportado por los cauces; y, mejorar las condiciones de acometida de las diferentes acequias que toman agua del río Guadalajara.

En las quebradas La Pachita y La Honda 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.

### ***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 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 Guadalajara y las quebradas Chambimbal, La Pachita y La Honda) 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.

- Realizar una zonificación técnica de las áreas sometidas a diferentes niveles o grados de amenaza, así:

(i) Zona de amenaza alta: cualquier construcción que exista en esta área reduce el área de escurrimiento, elevando los niveles de aguas arriba de esta sección; esta zona debe quedar libre para evitar daños importantes y represamientos; no se debe permitir ninguna nueva construcción en esta zona y el municipio podrá, paulatinamente, trasladar las construcciones existentes; esta área puede ser usada para la agricultura u otro uso similar; adicionalmente, se puede permitir la instalación de líneas de transmisión y conductos hidráulicos o cualquier tipo de obra que no produzca obstrucción al escurrimiento, como por ejemplo, estacionamientos, campos de deportes, entre otros.

(ii) Zona de amenaza media: las áreas expuestas a este nivel de amenaza pueden tener los siguientes usos: (a) parques, actividades de recreación y deportivas cuyo mantenimiento, después de cada crecida, sea simple y de bajo costo; normalmente una simple limpieza restablece rápidamente su condición de uso; (b) agropecuario; (c) viviendas con más de un piso, donde el piso superior quedará por lo menos en el nivel del límite de la crecida y estructuralmente protegida contra crecidas; (d) industrial y comercial, como áreas de cargas, estacionamiento, áreas de almacenamiento de equipos o maquinaria fácilmente removible o que no estén sujetos a los daños que genera una crecida; en este caso no se debe permitir el almacenamiento de artículos perecederos y principalmente tóxicos; (e) servicios básicos, líneas de transmisión, calles y puentes, siempre y cuando estén correctamente proyectados.

(iii) Zona de amenaza baja: teniendo en cuenta la baja probabilidad de ocurrencia y las pequeñas láminas de agua y bajas velocidades de las inundaciones que pueden presentarse en esta zona no se requiere una reglamentación especial debido a que los posibles daños se considera pueden ser de menor cuantía.

Se recomienda diseñar e implementar un programa de mediciones de campo orientado a la recolección de información durante la ocurrencia de los fenómenos de inundaciones y avenidas torrenciales en el municipio de Buga: 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 de los modelos hidrodinámicos y de los 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 en el suministro de registros e información.