



## **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 LA UNIÓN**

**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>	8
<i>4. ESTUDIOS REALIZADOS</i>	10
4.1 HISTORICIDAD	10
4.2. TOPOGRAFÍA	10
4.3. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y CARTOGRAFÍA	12
4.4 GEOLOGÍA	14
4.5. GEOFÍSICA	16
4.6. HIDROLOGIA	18
4.7. HIDRÁULICA	19
4.8. GEOTÉCNIA	19
<i>5. AMENAZAS POR REMOCIÓN EN MASA</i>	20
<i>6. AMENAZAS POR INUNDACIONES</i>	22
<i>9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>	32
9.1. CONCLUSIONES	32
9.2 RECOMENDACIONES	34
<i>AGRADECIMIENTOS</i>	36

## **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”, correspondientes al contrato interadministrativo CVC – UNIVALLE No.188 de 2008.

Los resultados del estudio se constituyen 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 estipulan 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 La Unión.

## **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 La Unión.

### **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 del Municipio, porque, por una parte, proporciona la información y la visión actualizada del estado en que se encuentra 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 el municipios elabore o actualice el Planes Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT), el Plan de Desarrollo Sectorial (PDS), el Plan de Gestión del Riesgo y el Plan 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 del municipio.

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 riesgo, 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 acerca de cómo proceder para enfrentar este tipo de problemáticas, sirviendo de guía para realizar estudios similares en otros municipios y regiones del país.

## 2. ORGANIZACIÓN Y GRUPOS DE TRABAJO

Durante el desarrollo del presente proyecto 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:

- 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

### 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

Geotecnia

- C. I. Ambiental Ltda.
- Jacobo Ojeda
- Jesús García
- 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 Lucía 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

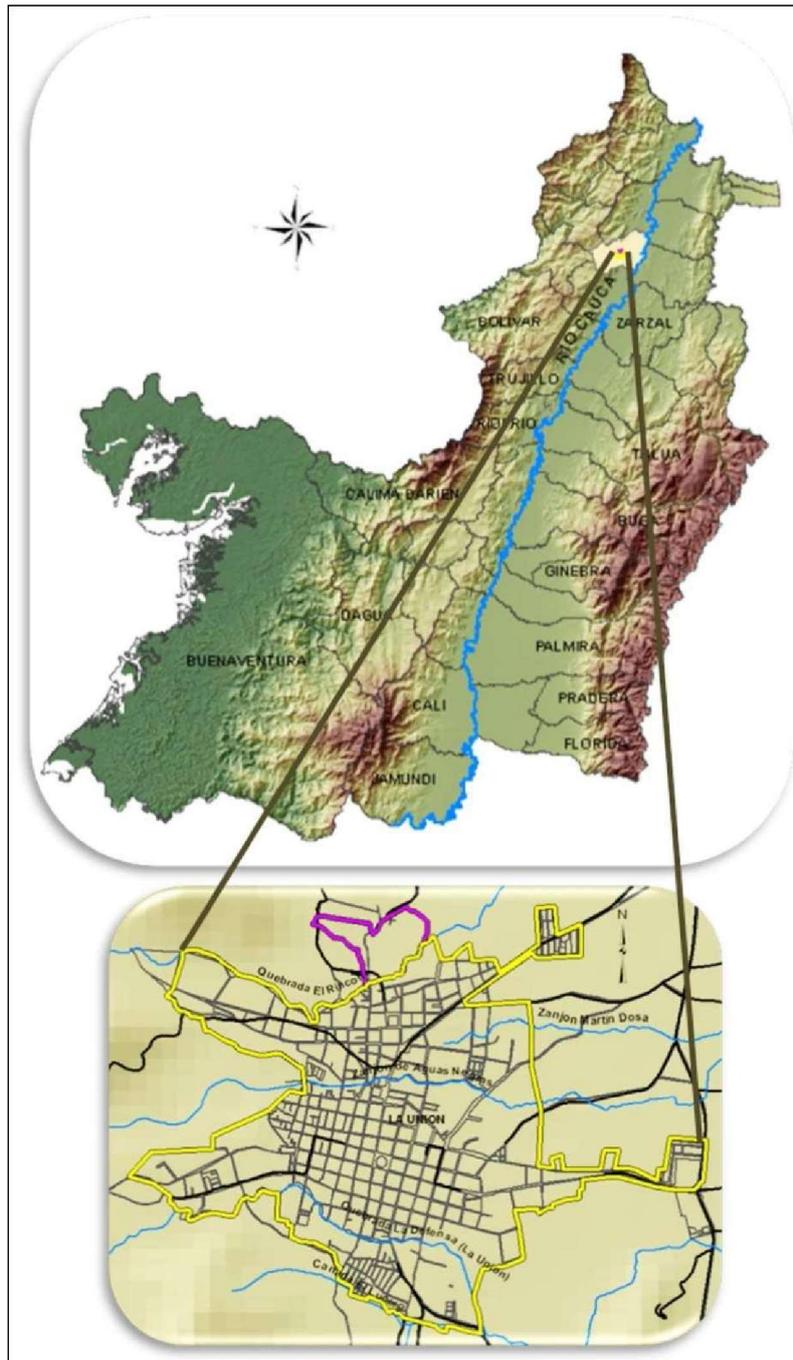
Experto: Samuel Almeida

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

La Unión es un próspero municipio situado al noroccidente del departamento del Valle del Cauca, República de Colombia; cuenta con dos regiones diferentes: Una plana, correspondiente al valle del río Cauca y otra montañosa en el occidente del municipio, que hace parte de la vertiente oriental de la cordillera de Los Andes. Entre los accidentes importantes, se destacan los altos de Los Paraguas, Paramillo y Santa Elena y las cuchillas de Carpintero, El Rodeo, Guaimalito, La Sonora y La Meseta. Limita al norte con el municipio de Toro, al sur con Roldanillo, al oriente con el río Cauca y los municipios de La Victoria y Obando, y al occidente con el Dovio y Versailles; dista 163 Km de Santiago de Cali, capital del departamento. Además, se encuentra ubicado en un eje de ciudades intermedias y de gran importancia como Pereira, capital del departamento del Risaralda y Armenia capital del departamento del Quindío. (Figura 1).

Cuenta con una población aproximada de 34.577 habitantes, en una extensión de 125 kilómetros cuadrados aproximadamente, repartidos en 2.81 Km<sup>2</sup> en el área urbana y 122.19 Km<sup>2</sup> en el área rural; una temperatura promedio de 23 °C; y goza de adecuadas vías de comunicación terrestre, por medio de las cuales se conecta con los municipios adyacentes y ciudades del resto del país.

Su principal actividad económica, está constituida por la agroindustria, destacándose la viticultura y la vinicultura, por lo que es reconocido internacionalmente. Es así, como hoy se ha constituido La Unión Valle, en “La Despensa Horti-frutícola de Colombia”, por la variedad de cultivos de frutas y hortalizas de cuya producción, se distribuye al resto del país, siendo estos melón, papaya, mango, guayaba, maracuyá, granadilla, lulo, entre otros. Se destacan también los cultivos de cereales y granos, como soya, sorgo, maíz, a los que se suman otros cultivos como el algodón y la caña, además, ganadería, artesanías, minería, comercio e industria avícola.



*Figura 1. Localización Municipio de La Unión*

## **4. ESTUDIOS REALIZADOS**

### **4.1 HISTORICIDAD**

En el marco de las actividades de los estudios de historicidad se adoptó la metodología intensivista mediante la cual, 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, tomada de entidades como la CVC y el Cuerpo de Bomberos Voluntarios.

Los registros de noticias sobre emergencias en el Municipio de la Unión fueron escasos sin embargo, se encontraron algunas noticias que se corroboraron con la ayuda de los demás documentos consultados que hacen referencia, en su mayoría a inundaciones que se presentaron en varios municipios del norte del Valle del Cauca y donde se mencionó muy someramente al municipio de La Unión.

Los principales resultados del estudio se expresan en el mapa de eventos históricos y en el catálogo que contiene los principales registros encontrados durante el periodo de consulta correspondiente al municipio de La Unión.

### **4.2. TOPOGRAFÍA**

Se materializaron un total de 6 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.

El posicionamiento se desarrolló mediante procedimientos estáticos GPS diferencial, usando como principal punto de control el vértice MAGNA GPS D-V-2. 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.

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.

Se construyó el modelo de red de fotocontrol para el municipio y se diseñó su geoposicionamiento GPS con apoyo en el punto MAGNA GPS DV 2 del municipio de La Victoria.

En el municipio de La Unión se seleccionaron 10 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 fotocontrol para el municipio de La Unión*

### 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 La Unión se presenta en escala de impresión 1:5000, y se realizó a partir de la información cartográfica a escala 1:2000, producto de la restitución fotogramétrica de las fotografías aéreas disponibles y más recientes adquiridas en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi a escala 1:10150 correspondientes a las 128, 129, 130 y 131 de la línea de vuelo C-2787 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**

Este mapa incluye las unidades geológicas, estructurales y se integran a éste las unidades superficiales 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 1998 y 2006 y el 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 1:2000 e impreso a escala 1:5000.

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

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 1:10000.

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 1:2000, 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, las cuales se encontraban en coordenadas geográficas, y fue necesario hacer la conversión a coordenadas planas, tomando como Dátum de coordenadas geográficas el de Bogotá y origen de proyección el Oeste.

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

Las isolíneas de precipitación máxima cubren parte de los municipios de La Unión y Toro, de la cual se extrajeron las isolíneas correspondientes al área de estudio del municipio de La Unión.

Los mapas de isoyetas mensuales y anual se realizaron sobre la base cartográfica de la CVC a escala 1:25000 a nivel del municipio de La Unión, previamente migrada al dátum Magna e impresos a escala 1:100000.

Los mapas de precipitaciones máximas de 24, 48 y 72 horas se presentan con las tasas de retorno de 10, 30 y 100 años, sobre la base cartográfica de la CVC a escala 1:25000, en tamaño 42x50 cm a escala 1:30000, en el sistema de referencia Magna.

### **Mapa de Eventos Históricos**

Este mapa contiene los sitios identificados por el grupo de historicidad, donde se tiene registro de ocurrencia de algún evento de inundación. Este mapa se realizó sobre la base cartográfica a escala 1:2000 e impreso a escala 1:17500.

### **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) que se presenta en este estudio producto de la integración de las curvas de nivel generadas en el proceso de restitución fotogramétrica, los levantamientos topográficos realizados en el Municipio y las curvas de nivel de las planchas 1:10000 de CVC, con resolución de 5 metros; éste MDE es utilizado como insumo para el grupo de geotecnia e hidráulica para los respectivos análisis en la determinación de la amenaza por fenómenos de movimientos en masa e inundaciones.

## **4.4 GEOLOGÍA**

El objetivo de este estudio fue Realizar la cartografía a la escala adecuada de las unidades litoestratigráficas, estructuras geológicas, formaciones superficiales y rasgos geomorfológicos de la zona urbana, de expansión y los alrededores del municipio de La Unión, enfatizando en las zonas más propensas a fenómenos de movimientos en masa e inundaciones, que puedan constituir amenaza para la población local.

### **Geología local alrededor de la unión**

A continuación se describen las unidades litológicas y sus estructuras, y los depósitos no consolidados presentes en el municipio de la Unión y sus alrededores próximos. Dichas unidades comprenden parte de la Formación Volcánica (Kv), capas de la Formación Zarzal del Cuaternario antiguo, y extensos depósitos aluviales recientes, cubiertos con mantos de ceniza volcánica re trabajada.

### **Formación Volcánica (Kv)**

La Formación Volcánica en la zona está conformada principalmente por rocas volcánicas básicas; basalto y diabasa, con notables intercalaciones de chert.

### **Rocas básicas**

El basalto y diabasa infrayacen la zona de colinas al occidente del municipio de la UNION, las cuales se extienden al norte y sur, en las estribaciones de la cordillera, por fuera del casco urbano y sus zonas de expansión. Algunos afloramientos se encuentran en la zona del alto de la Cruz, al occidente de la población, donde la roca se encuentra ligeramente meteorizada dando un color amarillo verdoso, con tres juegos de diaclasas. Sobre la cordillera, en la parte inferior de las laderas que bordean el frente montañoso, por lo general la roca básica está cubierta por cenizas volcánicas de caída.

### **Complejo estructural Dagua Kd (e)**

Capas de chert. Estas capas silíceas intercaladas en las rocas volcánicas básicas, se extienden desde la parte SW de la zona, en dirección NE, donde afloran con un ancho de unos 600-700 hasta la quebrada la Unión. Parece que una falla inferida de dirección E-W a lo largo de la quebrada las trunca, y reaparecen con menor anchura en la parte urbana de la población donde afloran en poca extensión (150-200m) en el alto del barrio al Cruz.

El espesor de las capas individuales varía entre 8 y 15 centímetros, las cuales se encuentran fuertemente plegadas y fracturadas y por lo general en buen estado de

conservación. No tiene problemas de estabilidad, ni fenómenos de remoción en masa asociados.

### **Formación Zarzal (QTz)**

Esta Formación en la zona contiene arena tobácea, diatomita y arcilla en bancos delgados. En la zona afloran hacia la parte norte central de la población y hacen parte del polígono de expansión urbana. Sus componentes son por lo general claros de color crema y blanco, lo cual hace difícil su separación de las cenizas que cubren la región.

### **Conos Aluviales**

En el sustrato de la Población predominan depósitos aluviales provenientes de cuencas hidrográficas extensas en la Cordillera Occidental, los cuales se encuentran en parte cubiertos con capas de ceniza volcánica transportada desde los frentes montañosos por aguas de escorrentía. Se han identificado cinco de ellos, unos antiguos (Qal<sub>1</sub> y Qal<sub>2</sub>) y otros más modernos (Qal<sub>3</sub>, Qal<sub>4</sub> y Qal<sub>5</sub>). Y un depósito de terraza local de gravas antiguas QT<sub>1</sub>.

#### ***Depósito Qal<sub>1</sub>***

Conforma el remanente erosivo de un depósito aluvial antiguo, que hace parte de la cuenca baja de la quebrada la Borrasca. Sobre él no hay desarrollo urbano significativo, ni zona de extensión prevista.

#### ***Depósitos Qal<sub>2</sub>***

Conforman conos aluviales cuya extensión longitudinal alcanza los 3Km en dirección W-E, por unos 500 a 600m de anchura. Sobre ellos reposa la mayor parte de la cabecera municipal.

Estos conos están compuestos por paquetes de sedimentos aluviales, donde alternan depósitos centimétricos de gravas y limos arcillosos, que alternan con capas de arcilla. Hacia la superficie se observa el recubrimiento de ceniza volcánica transportada. Los espesores son variables; las capas de grava tienen en promedio 1m pero en algunos sitios este se reduce a pocos centímetros. El tamaño de los cantos varía desde pocos hasta unos 15 centímetros. En general a lo largo de los depósitos la secuencia es muy constante.

Los afloramientos son escasos debido al emplazamiento de la cabecera municipal, pero en los sitios con desarrollo de drenaje incipiente en los bordes del depósito, se observa la tinción blanca del terreno debido a la presencia superficial de ceniza.

#### ***Depósitos Qal<sub>3</sub>***

Conforman conos aluviales más modernos emplazados en las depresiones erosivas de los Qal<sub>2</sub>. Estos conos están compuestos por una litología similar a la Qal<sub>2</sub>, la cual consiste de gravas de diferente espesor y tamaño de los granos, de diabasa y chert, con intercalaciones de limos arcillosos y capas de ceniza volcánica retrabajada. Sus mejores exposiciones se encuentran a lo largo de la quebrada La Unión, al sur del casco urbano; cuyo valle antiguo sirvió de emplazamiento para estos materiales. Por el volumen del relleno aluvial, se piensa que debió transcurrir largo tiempo durante el Pleistoceno entre el emplazamiento de un depósito (Qal<sub>2</sub>) y el otro (Qal<sub>3</sub>). La parte alta o superficial presenta frecuentes afloramientos de ceniza. Al norte de la población en la cuenca de la quebrada El Rincón se presentan

gruesos depósitos de grava y cerca de allí, aflora la capa de ceniza alterada cerca a la superficie.

#### ***Depósitos aluviales del río Cauca***

Cubren una gran extensión en la parte oriental de la zona. Su estratigrafía se desconoce en esta región y casi en su totalidad están utilizados en sembrado de caña de azúcar.

#### ***Conos aluviales recientes (Qca)***

Conos aluviales coalescentes se presentan en el extremo norte del área y provienen de los zanjones Monterredondo y Potreritos. Están compuestos por cantos sub-angulares de basalto y chert embebidos en una matriz arenosa y limo-arenosa.

#### **Depósito de terraza antigua Qt<sub>1</sub>**

Este depósito de gravas se encuentra “colgado” en el extremo norte del Alto de La Cruz y corresponde al remanente de un antiguo valle aluvial aterrizado y levantado, posiblemente por procesos neotectónicos no bien precisados en el curso del presente estudio. La terraza está cubierta por ceniza de caída y no retrabajada, lo cual se deduce de su posición elevada sobre los niveles de los conos aluviales más recientes. Es decir que el levantamiento tectónico fue anterior a la formación de los abanicos, que más tarde se cubrieron de cenizas retrabajadas.

### **4.5. GEOFÍSICA**

Se realizó una exploración con métodos indirectos sobre el terreno (ensayos de refracción sísmica) para la continuidad litoestratigráfica del sector, con el propósito de definir los diferentes horizontes de velocidad de los materiales existentes en el sector y determinar los respectivos espesores de los horizontes. Con los valores de velocidad, definir la consistencia de dichos materiales, establecer los sectores donde se realizará la (Geotecnia) exploración directa del subsuelo y definir la profundidad de perforación para la toma de muestras a ser analizadas en laboratorio.

Previa a la iniciación de las labores de campo, se localizaron cada una de las líneas para realizar los ensayos geofísicos. En el presente resumen sólo incluimos los resultados de las tres primeras, las demás pueden ser consultadas en el informe correspondiente al municipio.

#### **Línea sísmica L-1**

Se corrió en el costado norte del área de expansión, al norte de la cabecera municipal, en dirección E-W con coordenadas N:994395,974-E:1108000,727 y N:994395,974-E:1108136,871, con una longitud de 40 metros, para una profundidad de exploración cercana a los 15 metros.

Los resultados muestran tres horizontes de velocidad; los dos primeros se correlacionan con materiales pertenecientes a la Formación Zarzal con velocidad de 370 a 680 metros/segundo y profundidad de 2.80 metros en el costado occidental de la línea de refracción sísmica, de consistencia media a dura. El tercer horizonte muy posiblemente se correlaciona con rocas diabásicas pertenecientes a la Formación Volcánica con velocidad de 900 metros/segundo, de consistencia muy dura.

### **Línea sísmica L-2**

Se corrió en el costado sur del área de expansión al norte de la cabecera municipal, en dirección N-S y coordenadas N:993995,106-E:1107772,308 y N:994116,123-E:1107779,871, con una longitud de 40 metros.

Los resultados muestran tres horizontes de velocidad; los dos primeros se correlacionan con materiales pertenecientes a la Formación Zarzal, alcanzan profundidades hasta de 3.70 metros y velocidades del orden de 430 a 680 metros/segundo de consistencia media a dura. El tercer horizonte corresponde al basamento, constituido muy posiblemente por rocas diabásicas pertenecientes a la Formación Volcánica con velocidad de 820 metros/segundo, de consistencia muy dura.

### **Línea Sísmica L-3**

Se corrió cerca a la iglesia San Pedro Apóstol, en dirección N-S y coordenadas N:993653,233-E:1108034,006 y N:993772,737-E:1108047,621, con una longitud de 40 metros.

Los resultados muestran cuatro horizontes de velocidad; los dos primeros corresponden a los Depósitos de Conos Aluviales, alcanzan profundidades hasta de 3.60 metros y velocidades del orden de 290 a 430 metros/segundo de consistencia blanda a media. El tercer horizonte se correlaciona con rocas meteorizadas alcanzan una profundidad de 7.40 metros y velocidad de 770 metros/segundo. Finalmente, el basamento corresponde a la roca diabásica fracturada a densa con velocidad de 1500 metros/segundo, de consistencia muy dura.

De acuerdo a los ensayos de refracción sísmica, la interpretación y correlación nos definió los diferentes horizontes de velocidad litoestratigráficos a saber:

DEPÓSITOS ALUVIALES, alcanza velocidades del orden de 250 a 550 metros/segundo.

CONOS ALUVIALES, alcanza velocidades del orden de 210 a 430 metros/segundo.

DEPÓSITOS PIROCLÁSTICOS, alcanzan velocidades del orden de 270 a 450 metros/segundo.

FORMACIÓN ZARZAL, alcanza velocidades del orden de 370 a 680 metros/segundo.

FORMACIÓN VOLCÁNICA, alcanza velocidades del orden de 820 a 1500 metros/segundo.

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.

#### 4.6. HIDROLOGIA

Entre las actividades realizadas por el grupo de hidrología para el municipio de La Unión se encuentran, la revisión de información secundaria, recolección y análisis de información hidrometeorológica de estaciones cercanas, para lo cual se consulto algunas instituciones como CVC, CENICAFE e IDEAM. Se realizaron dos visitas al municipio, la primera de reconocimiento de la zona, la evaluación del uso del suelo en la parte alta de la cuenca, pruebas de infiltración, levantamiento de los perfiles de suelo en el casco urbano y en las zonas de expansión, además se aforo la quebrada la Unión y la quebrada Rincón 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. En la segunda visita se evaluó los usos del suelo en la zona urbana y de expansión.

La distribución espacial de la precipitación en el municipio de La Unión presenta un rango de variación que se encuentra entre los 1.000 mm a valores superiores a los 1.300 mm al año, a diferencia de lo registrado por el POT, 2000. En gran parte de la región predominan las lluvias entre 1.100 y 1.250mm en dirección Sur-occidente - Nor-oriente.

Se puede distinguir un amplio núcleo de precipitación con valores entre 1.200 y 1.350 mm anuales, al occidente de la zona urbana del municipio de La Unión.

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 45 mm a valores superiores a los 170 mm en promedio al mes. En gran parte de la región predominan las lluvias entre 70 y 140 mm mensuales, estas aumentan en dirección Oriente -Occidente.

Se puede visualizar un comportamiento bimodal de las precipitaciones con dos periodos secos y dos periodos húmedos, los cuales son diciembre, enero y febrero y un segundo periodo seco entre junio, julio y agosto, siendo enero el mes más seco, donde las precipitaciones son menores a 43 mm. Los meses más húmedos también se dividen en dos periodos, uno en los meses de marzo, abril y mayo y el segundo periodo en los meses de septiembre, octubre y noviembre. En esta zona las precipitaciones más altas se presentan en el mes de abril (145 mm).

El municipio de La Unión tiene una gran particularidad, en comparación a los otros municipios, dentro del perímetro urbano se presenta una mezcla de usos del suelo urbano y muy relevante cantidad de actividades agrícolas productivas. Esto debido a la influencia de la importante firma Casa Grajales en el municipio, una industria de vinos y frutales que concentra e impulsa la mayor parte de producción agrícola de esa parte de la región (Bolívar, Roldanillo, La Unión, Toro, Obando, Zarzal, La Victoria y el corregimiento de Ricaurte). Es de tomar en cuenta que se mejoro las condiciones de abastecimiento de agua a las comunidades de los municipios de la zona mediante el proyecto denominado SARABRUT.

#### **4.7. HIDRÁULICA**

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 de los cauces en la zona de estudio en el municipio de La Unión, 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 de algunos de los cauces de interés. 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.

Entre los principales resultados obtenidos durante los estudios y actividades ejecutados por el grupo de hidráulica se destacan la caracterización sedimentológica e hidráulica, determinación de caudales, análisis de rugosidad y metodología para la determinación de amenazas por inundación.

#### **4.8. GEOTÉCNIA**

Con el fin de evaluar las características del material arrastrado por las corrientes: Quebrada El Rincón y Quebrada La Unión ubicadas en el Municipio de estudio (dichas quebradas aumentan la amenaza de inundación, debido a sus crecientes) y determinar la capacidad de respuesta de la zona ante las crecientes, además de las posibles avalanchas torrenciales, se realizó el plan de exploración del subsuelo.

Teniendo en cuenta que el problema fundamental de este municipio es el de inundaciones y avalanchas torrenciales, se procedió a realizar la toma de muestras sobre el lecho de los principales cauces, según requerimientos del grupo de hidráulica, con el fin definir la distribución de los diferentes tamaños de las partículas del suelo.

Durante la exploración se tomaron seis muestras alteradas sobre el lecho del río, tres sobre la quebrada El Rincón y tres sobre la quebrada La Unión; además una muestra inalterada del subsuelo, mediante un apique con el propósito de caracterizar las propiedades geomecánicas del material aflorante.

El municipio no presenta fenómenos de remoción en masa, por lo cual la susceptibilidad para toda la zona de estudio es baja, sin embargo cuando se realizó el análisis por amenaza para cada uno de los escenarios, se determinó que existe una amenaza alta y media ante deslizamientos, esto debido a que para realizar dicho análisis se tienen en cuenta los efectos sobre las laderas de agentes externos tales como los sismos y lluvias intensas. Sin embargo dichas zonas no afectan el municipio ni a la zona de expansión, áreas de estudio del presente proyecto.

## 5. AMENAZAS POR REMOCIÓN EN MASA

Para 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.

En la investigación de la influencia de los parámetros físicos en los movimientos en masa, se analiza la correlación entre los movimientos y las variables que los representan. En este estudio las variables utilizadas fueron: pendiente, curvatura, uso del suelo y cuenca acumulada, las cuales son analizadas con el Método Bayesiano.

Dentro de este grupo de variables, las correspondientes con características geométricas del relieve, son derivadas a partir del Modelo Digital de Elevación (MDE). Las variables temáticas como geología y uso del suelo, son obtenidas a partir de la cartografía elaborada en otras componentes del proyecto.

### Zonificación de amenazas por escenarios

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

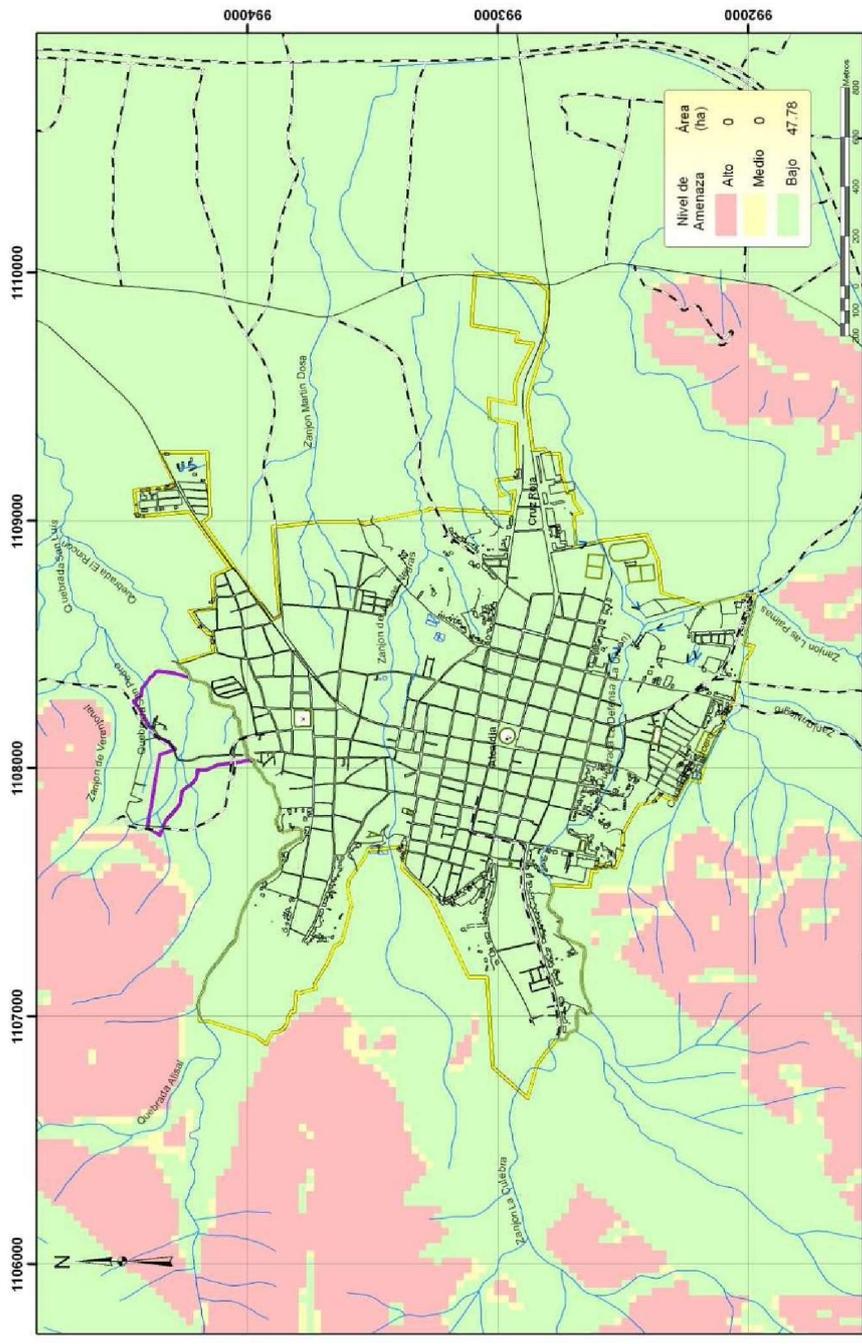
Para simular el efecto de lluvias detonantes correspondientes a un periodo de retorno de 25 años, el modelo toma el nivel freático a nivel superficial (condición saturada). De la misma manera, para simular el efecto de lluvias detonantes correspondientes a un periodo de retorno de 10 años, el modelo tomará 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.

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

En este resumen se incluye el mapa de amenazas correspondiente al escenario tres, (Figura 3). Los mapas de los otros escenarios se pueden consultar en el informe de amenazas por remoción en masa correspondiente al municipio de La Unión.



**CONVENCIONES**

- Perímetro Urbano
- Perímetro de Esplanada
- Perímetro Manzana
- Drenaje Doble
- Drenaje sencillo
- Calle sin pavimentar angosta
- Calle con pavimentación de dos o más calzadas

**UNIVERSIDAD DEL VALLE**  
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA  
Observatorio Sismológico y Centro de Estudios del SurOccidente

**FIGURA 3**  
**MAPA DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA**  
**ESCENARIO 3**  
**MUNICIPIO DE LA UNIÓN**

**FECHA:** Junio de 2010  
**SISTEMA DE REFERENCIA:** Datum Mapa, Origen de la Zona, Caste  
**FUENTE DE LA INFORMACIÓN:** Cartografía Básica, Escala 1:2.000  
CVC - Univalle, Escala 1:5.000 (Datum Bogotá), Escala 1:5.000 (Datum Bogotá)

## 6. AMENAZAS POR INUNDACIONES

La metodología propuesta en el presente estudio para la determinación de los niveles de amenaza por el fenómeno de inundaciones se fundamentó 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.

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 2 para el fenómeno de inundaciones.

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

Magnitud de la inundación	NIVEL DE LA AMENAZA		
	Frecuencia de la inundación		
	Alta $Tr \leq 10$	Media $10 < Tr \leq 30$	Baja $30 < Tr \leq 100$
<b>Alta</b> $H \geq 0.9 \text{ m}$ ó $V \geq 0.8 \text{ m/s}$ ó $H*V \geq 0.45 \text{ m}^2/\text{s}$	Alto	Alto	Alto
<b>Media</b> $0.45 \text{ m} \leq H < 0.9 \text{ m}$ ó $0.5 \text{ m/s} \leq V < 0.8 \text{ m/s}$ ó $0.225 \text{ m}^2/\text{s} \leq H*V < 0.45 \text{ m}^2/\text{s}$	Alto	Medio	Medio
<b>Baja</b> $0.05 \text{ m} < H < 0.45 \text{ m}$ y $V < 0.5 \text{ m/s}$ y $H*V < 0.225 \text{ m}^2/\text{s}$	Medio	Bajo	Bajo

### Modelación matemática

El modelo bidimensional de diferencias finitas FLO-2D (O'Brien, 1988) empleado en este estudio permite simular fluidos newtonianos y no-newtonianos (flujos hiperconcentrados con altas concentraciones de sedimentos) como avenidas torrenciales o flujos de lodos. El modelo es apto para trabajar en topografías complejas, tales como planicies de inundación, conos de deyección y áreas urbanizadas; adicionalmente permite el intercambio de flujo entre el canal y la planicie de inundación.

Una vez introducida la información esquematizada o discreta de toda el área a analizar en el modelo matemático FLO-2D se debe dar inicio al proceso de calibración y verificación del modelo con base en la información disponible de caudales, niveles, áreas inundables y registros históricos. Igualmente, se realiza el análisis de sensibilidad con el fin de investigar la influencia de los principales parámetros numéricos y físicos en el comportamiento hidrodinámico de los cauces y canales de la zona de estudio del municipio de La Unión.

Posteriormente, y habiendo definido los valores de los diferentes parámetros mediante los procesos de análisis de sensibilidad y calibración, se procedió a realizar las simulaciones para la determinación de las áreas potencialmente inundables y los niveles de amenaza para los escenarios correspondientes a los periodos de retorno de 10, 30 y 100 años, para el fenómeno de inundaciones.

### **Resultados**

Una vez obtenidos los mapas de inundaciones 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 inundaciones, 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 inundaciones finalmente obtenido para el municipio de La Unión se presenta en la Figura 4. En este mapa se indica la zonificación de los diferentes niveles de amenaza por inundaciones.



## 7. VULNERABILIDAD Y ESCENARIOS DE AFECTACIÓN

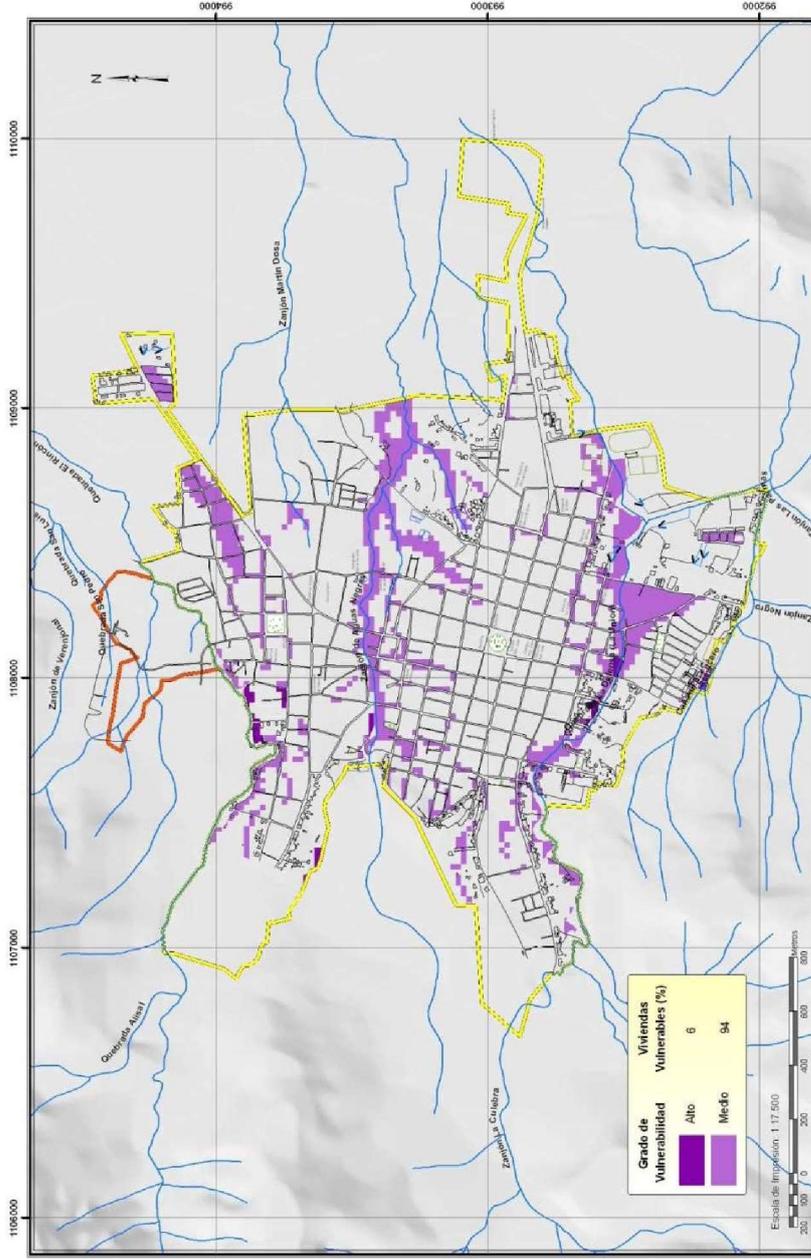
La evaluación de la vulnerabilidad y los escenarios de afectación parte de un modelo conceptual y metodológico que involucra no solamente la medición de parámetros o indicadores estructurales (paredes, cubiertas estado de conservación, etc.), sino también algunos indicadores corporales (edad, sexo, dependencia 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 guardan relación y se 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 ante el fenómeno de inundaciones en la cabecera municipal de La Unión, permite identificar las viviendas y las personas que habitan en los barrios, que presentan unos altos niveles de exposición a la amenaza y unas condiciones de fragilidad determinadas.

En la Figura 5 se presenta la distribución espacial de la vulnerabilidad global ante inundaciones, donde se observa que alrededor del 90% del área de estudio presenta niveles de vulnerabilidad medio; las áreas que presentan vulnerabilidad alta, se encuentran próximas al cauce de la Quebrada la Unión en su paso por el barrio La Cruz, y la quebrada El Rincón, en su paso por los barrios El Carmelo y San Pedro. En el Municipio, los elementos (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 con 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 presentan niveles de exposición y fragilidad alta, donde los elementos estructurales son débiles, inadecuados, además de presentar deterioro avanzado; la población se encuentra en incapacidad de sobreponerse a los efectos provocados por el evento crítico.



**CONVENCIONES**

- Perímetro urbano
- Perímetro de Expansión
- Perímetro Manzana
- Parque
- Calle
- Calle sin pavimentar
- Calle sin pavimentar angosta
- Caminos pavimentados de 0.50 o más calzadas

**UNIVERSIDAD DEL VALLE**  
**CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA**  
 Observatorio Sísmológico y Geológico del Suroccidente

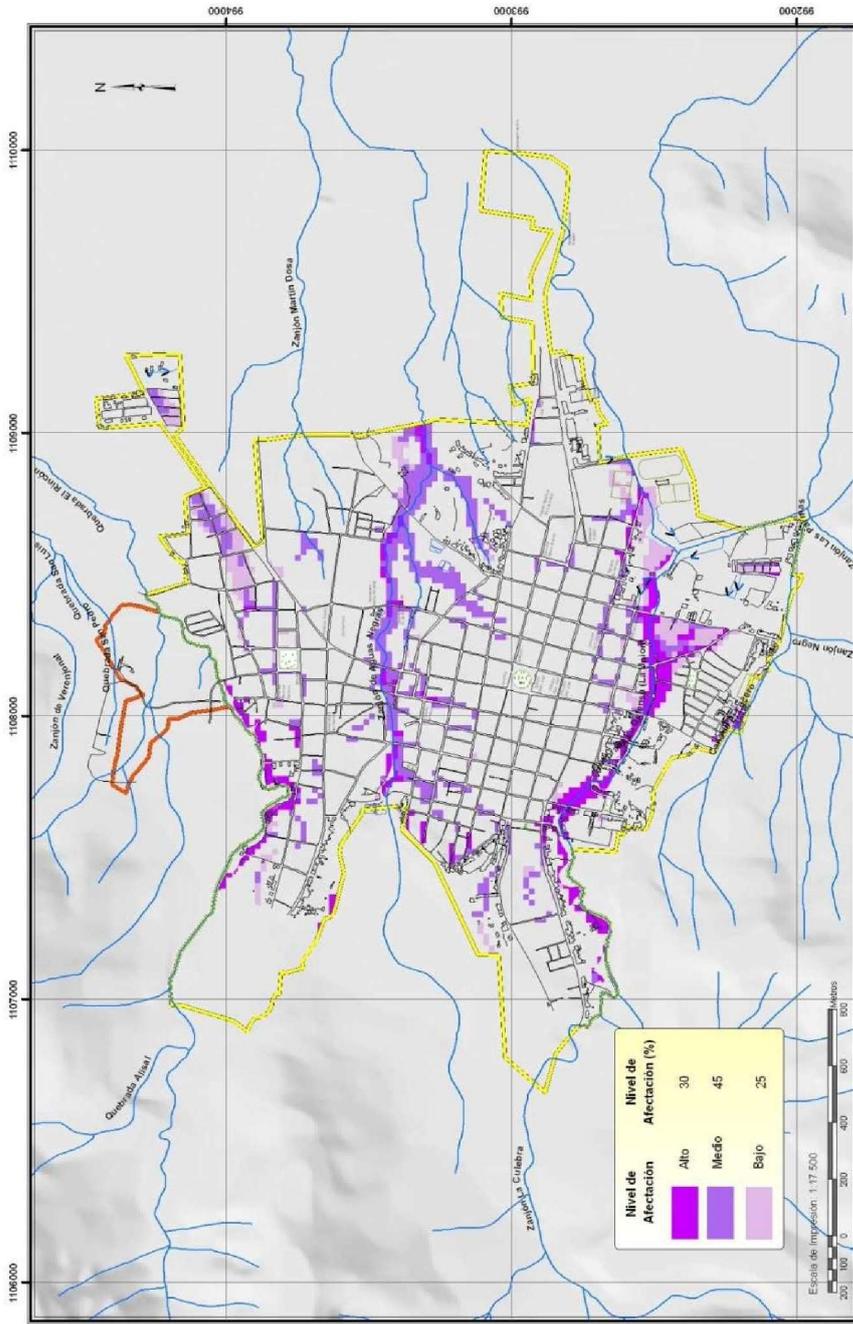
**FECHA:** Agosto de 2010  
**SISTEMA DE REFERENCIA:** Datum Mabira Origen de la Zona Elipsoide GRS80 Datum  
**FUENTE DE LA INFORMACIÓN:** Cartografía Básica CVC - Urvalle Año 2008 Escala 1:2.000 CVC - Año 1998 Escala 1:5.000 (Colum Boyadá)

**FIGURA**  
**VULNERABILIDAD GLOBAL ANTE INUNDACIONES**  
**MUNICIPIO DE LA UNIÓN**

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. La Figura 6 refleja los resultados obtenidos en cuanto a afectación global para inundaciones, se puede apreciar que las zonas de mayor afectación se encuentran localizadas al sur de la cabecera municipal, cerca de la quebrada La Despensa o La Unión, y pequeños sectores cercanos al zanjón Los Muertos, en el Centro, y a la quebrada el Rincón o San Pedro al noroeste.

Dadas las características de estos sectores, asociadas a la amenaza y la vulnerabilidad, se esperaría que con la ocurrencia de un fenómeno de origen hidrológico, como las inundaciones, los daños podrían ser graves, lo cual se traduciría en un elevado número de personas lesionadas, con fracturas, invalidez física y fallecidas; la población infantil y senil en estos casos serían una de las más afectadas. En cuanto a las viviendas, el modo de daño esperado podría traducirse en el deterioro físico de las paredes y daños estructurales en las mismas. Los sectores que presentan mayores niveles de afectación se encuentran localizados los barrios de Fátima, El Jardín, La Cruz, Belén y Ciudadela Grajales, y en Bellavista, El Carmelo.

De acuerdo con los resultados, la cabecera municipal afronta una situación de riesgo en la que importantes sectores de la población se encuentran en niveles de afectación moderados y altos; sin incluir la zona de expansión, debido principalmente a la ausencia de urbanización. Cerca del 30% del área estudiada en la cabecera del municipio presenta niveles moderados de afectación ante inundaciones, mientras que aproximadamente el 45% del área estudiada se encuentra en una zona de afectación alta. En estas zonas, según los niveles de afectación, se esperarían desde lesiones físicas leves hasta pérdidas humanas, además de daños estructurales importantes en las viviendas.



**CONVENCIONES**

- Perímetro Urbano
- Perímetro de Expansión
- Perímetro Manzana
- Párques
- Jardines
- Drenaje sencillo
- Carretera sin pavimentar angosta
- Carretera pavimentada de dos o más calzadas

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

**FIGURA**  
**AFECCIÓN ANTE INUNDACIONES**  
**MUNICIPIO DE LA UNIÓN**

**FECHA:** Agosto de 2010  
**SISTEMA DE REFERENCIA:** Datum Magña, Origen de la Zona Elipsoida QR-590, Oeste  
**FUENTE DE LA INFORMACIÓN:** Cartografía Básica CVC - Urivele Año 2009, Escala 1:2.000; CVC - Urivele Año 1999, Escala 1:5.000 (Datum Bogotá)

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 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 7 muestra la población que se encuentran en niveles de afectación bajo, medio y alto durante el día como durante la noche; la mayor participación de población afectada se da en el rango medio, entre 1500 y 2000 aproximadamente son las personas que se ven afectadas en cada nivel de afectación.

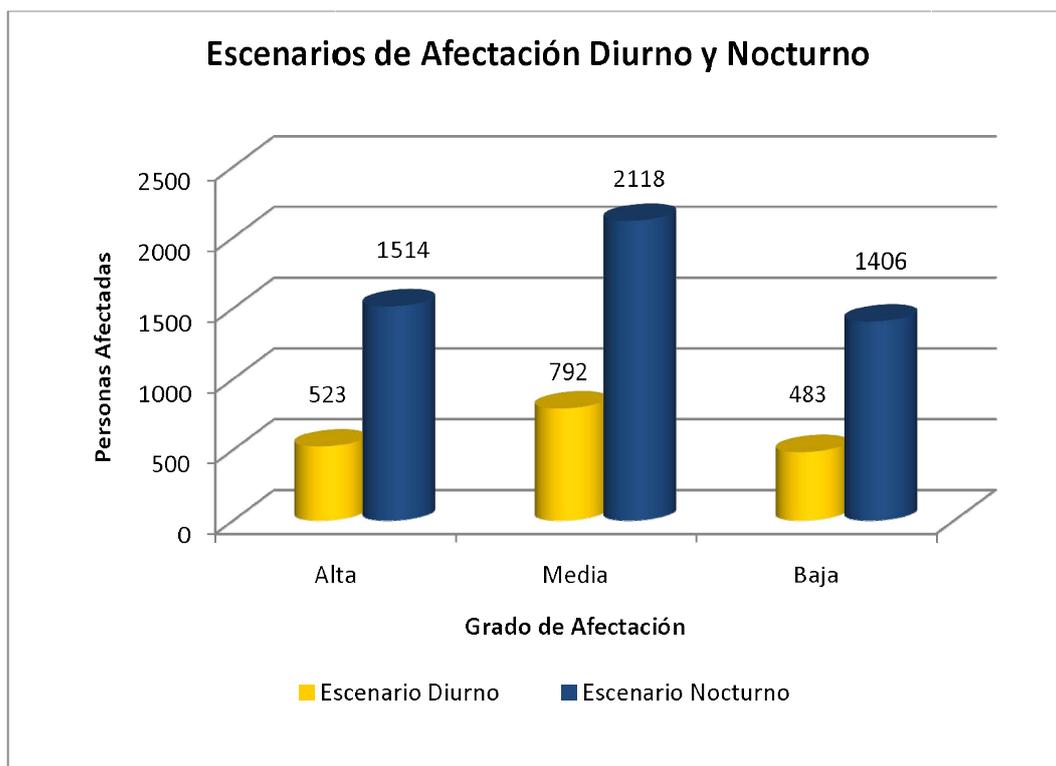


Figura 7. Personas afectadas para los escenarios diurno y nocturno ante inundaciones en La Unión

## **8. SOCIALIZACIÓN**

La actividad se realizó el 13 de Agosto de 2010, en el auditorio de la Alcaldía. 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, bomberos y CVC – La Unión.

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). Figura 8.



*Figura 8. Ejercicio de cartografía social.*

## 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 9.1. CONCLUSIONES

El Municipio de La Unión presenta problemas de inundaciones tanto por el desbordamiento de las Quebradas El Rincón, La Unión y Guasimo-Lucero, 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 de Villa Esterilla y los barrios aledaños a los cauces de las quebradas.

Entre los eventos más graves se encuentran los ocurridos en los años 2000, 2003, 2004, 2007 y los más frecuentes y graves en el 2006 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 2006 y 2008 son los más recordadas por la comunidad.

Los mayores problemas de riesgo se presentan tanto en la cabecera municipal como en las zonas que están por fuera del área de estudio de este proyecto, pero es igualmente importante registrar los problemas de corregimientos y veredas ya que se constituyen, en la mayoría de los casos, en causales de afectación de sectores del casco urbano.

Casi la totalidad de la cabecera municipal se encuentra localizada sobre conos aluviales, asociados a pequeños afluentes del río Cauca, los cuales están compuestos por limo, limo arcilloso, arena y capas de grava, por lo común, cubiertos por mantos de ceniza volcánica transportada desde las faldas de la Cordillera Occidental, cuyo espesor promedio es de 1m. Alguna porción superior puede corresponder a cenizas de caída no diferenciable del resto del depósito.

Estos depósitos, fuera del proceso erosivo lento en sus márgenes, y pequeños deslizamientos muy locales, no muestran fenómenos de remoción en masa notables. El mayor problema está relacionado con las inundaciones y el inadecuado uso del terreno.

Actualmente y como se observó en el trabajo de campo, el municipio no presenta fenómenos de remoción en masa, por lo cual la susceptibilidad para toda la zona de estudio es baja; sin embargo, cuando se realiza el análisis por amenaza para cada uno de los escenarios, se determinó que existe una amenaza alta y media ante deslizamientos, esto debido a que para realizar dicho análisis se tienen en cuenta los efectos sobre las laderas de agentes externos tales como los sismos y lluvias intensas. Es de anotar que dichas zonas no afectan el casco urbano del municipio ni la zona de expansión.

La cartografía de amenaza por inundaciones generada se constituye en una importante herramienta de apoyo que puede ser utilizada para la optimización de los planes de ordenamiento territorial del municipio, 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.

Con base en los mapas de amenazas por inundaciones generados para los diferentes escenarios considerados (es decir, para las crecientes de periodos de retorno de 10, 30 y 100 años) se determinó la extensión de las áreas expuestas a algún nivel de amenaza, tanto en la zona urbana como en la de expansión urbana. También se determinaron los porcentajes de las áreas afectadas por este fenómeno teniendo en cuenta la extensión total de las zonas urbana (331.16 ha) y de expansión urbana (14.67 ha).

Los mapas de amenaza por inundaciones 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. 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 control. Los mapas de amenaza indican las zonas potencialmente inundables, 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 distribución espacial de la vulnerabilidad global ante inundaciones en el municipio muestra que alrededor del 90% del área de estudio presenta niveles de vulnerabilidad medio; las áreas que presentan vulnerabilidad alta, se encuentran próximas al cauce de la Quebrada la Unión en su paso por el barrio La Cruz, y la quebrada El Rincón, en su paso por los barrios El Carmelo y San Pedro. En el Municipio, los elementos (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 con 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 presentan niveles de exposición y fragilidad alta, donde los elementos estructurales son débiles, inadecuados, además de presentar deterioro avanzado; la población se encuentra en incapacidad de sobreponerse a los efectos provocados por el evento crítico.

En cuanto a los escenarios de afectación se puede apreciar que las zonas de mayor riesgo se encuentran localizadas al sur de la cabecera municipal, cerca de la quebrada La Despensa o

La Unión, y pequeños sectores cercanos al zanjón Los Muertos, en el Centro, y a la quebrada el Rincón o San Pedro al noroeste.

## 9.2 RECOMENDACIONES

Los mapas de amenaza generados debido a la posible ocurrencia de los fenómenos de inundaciones deben ser empleados para la determinación de la vulnerabilidad y la cuantificación y evaluación del riesgo y, por supuesto, para el reordenamiento del territorio del municipio de La Unión 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 crecientes de las quebradas La Unión y El Rincón, el zanjón Negro y la cañada El Lucero; esto con el fin de evitar o reducir magnitud e intensidad de la amenaza por inundaciones. Entre estas medidas se pueden considerar las siguientes: obras de protección de orillas, chequeos de la capacidad de las estructuras hidráulicas existentes (puentes y box culverts), mejoramiento de las condiciones hidráulicas mediante dragado de los cauces al paso por la ciudad de La Unión, construcción de diques y obras de protección.

En todos los cauces se recomienda realizar un trabajo educativo y de vigilancia para que 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 no estructurales recomendadas se tienen las siguientes:

- Se debe tener en cuenta que las corrientes naturales de agua deben contar, por ley, con una franja forestal protectora que actúa como zona de carga y descarga, además de ofrecer una vegetación específica (vegetación riparia) de especial importancia para las corrientes de agua naturales. En el perímetro urbano del municipio de La Unión se encuentran muchas viviendas ocupando esta franja o ronda de los cauces que recorren la ciudad. Se recomienda entonces la reubicación de las viviendas que estén ubicadas sobre estas zonas.

- El zanjón Moral, por ser un cauce intermitente, es utilizado como vía; se recomienda el trazado y construcción de vías de acceso con el fin de corregir esta situación.

- Realizar un inventario de las viviendas construidas sobre las franjas protectoras y sobre el lecho de los cauces de las quebradas La Unión, El Rincón y el zanjón Moral con el fin de evitar la proliferación de estos asentamientos subnormales.

- 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 de las quebradas El Rincón y la Unión) 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 de los fenómenos de inundaciones en el municipio de La Unión: 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 en las diferentes zonas afectadas. El análisis de la información recolectada permitirá la optimización y actualización del modelo hidrodinámico 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.