

# LA SOCIEDAD FRENTE A LA GESTIÓN DEL RIESGO: CASO SOBRE LA AMENAZA SÍSMICA EN LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO.

**Germán Ernesto Chicangana Montón<sup>1,2</sup>, Carlos Alberto Vargas Jiménez<sup>2</sup>, Alexander Caneva Rincón<sup>2,3</sup>, Claudia Mojica Sánchez<sup>1</sup>, Tulio Aymerich Hernández Hernández<sup>1</sup>, Johann Ardila Escobar<sup>4</sup> y Alejandra Bernal Jiménez<sup>5</sup>.**

## RESUMEN

El alto riesgo que representan los eventos sísmicos para la ciudad de Villavicencio (Colombia), es un aspecto muy relevante a considerar por parte de las autoridades competentes, locales y regionales, con el fin de establecer políticas de desarrollo a corto, mediano y largo plazos. Ante esta situación, diferentes universidades y centros de investigación, en representación de la academia, han aportado conocimientos relacionados con el alcance de la amenaza sísmica en esta región de Colombia y han lanzado llamados de alerta ante el alto nivel de vulnerabilidad de la ciudad.

En el presente trabajo se exponen algunos antecedentes históricos relacionados con la amenaza sísmica en Villavicencio, se presenta un análisis de los registros instrumentales existentes, se analiza la vulnerabilidad y el papel desempeñado por los entes involucrados (las autoridades político-administrativas y la academia), se hace una descripción de un posible escenario post-sísmico, y son presentadas ciertas recomendaciones para mitigar los efectos de un sismo de importancia.

Con el análisis aquí presentado, se hace un llamado desde la academia con el fin de buscar nuevas estrategias para que en el corto plazo se consiga aumentar la efectividad de la gestión del riesgo en Colombia.

**Palabras Claves:** Amenaza Sísmica, Villavicencio, Colombia, Gestión de Riesgo, Desarrollo Sostenible, Recuperación.

## THE SOCIETY IN FRONT OF THE RISK MANAGEMENT: ABOUT THE SEISMIC HAZARD IN VILLAVICENCIO CITY, COLOMBIA

### ABSTRACT

The high risk that represents an earthquake for Villavicencio city (Colombia), it is a very important aspect that civil local and regional authorities should assume and establish in the development plans in short, medium and long terms. In front of this situation, universities and research groups, like representatives of academy sector have contributed with knowledge related with the reach of the seismic hazard in this Colombian region and make alert calls due to the high level of vulnerability of the city.

In this work some historical antecedents related with the seismic hazard in Villavicencio city are show, an analysis of the existent seismic instrumental registrations is presented, the vulnerability is analyzed and the role carried out by the involved entities is analyzed (the government authorities and the academy), a description of a possible post-seismic scenario is made, and certain recommendations to mitigate the effects of an earthquake of importance are presented.

With the analysis here realized, the academy call to society is with the purpose of search new strategies so that in the short term it is possible to increase the effectiveness of the risk management in Colombia.

**Key Words:** Seismic Hazard, Villavicencio, Colombia, Risk Management, Sustainable Development, Recovery.

<sup>1</sup> Corporación Universitaria del Meta, Escuela de Ingenierías y Arquitectura, Villavicencio, Colombia. Calle 49 N° 45-88, Barrio Santa Josefa, Villavicencio, Meta. [gechicanganam@unal.edu.co](mailto:gechicanganam@unal.edu.co).

<sup>2</sup> Grupo de Geofísica, Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Colombia.

<sup>3</sup> Grupo de Geofísica, Dirección Nacional de Investigaciones, Universidad Antonio Nariño, Bogotá D.C., Colombia.

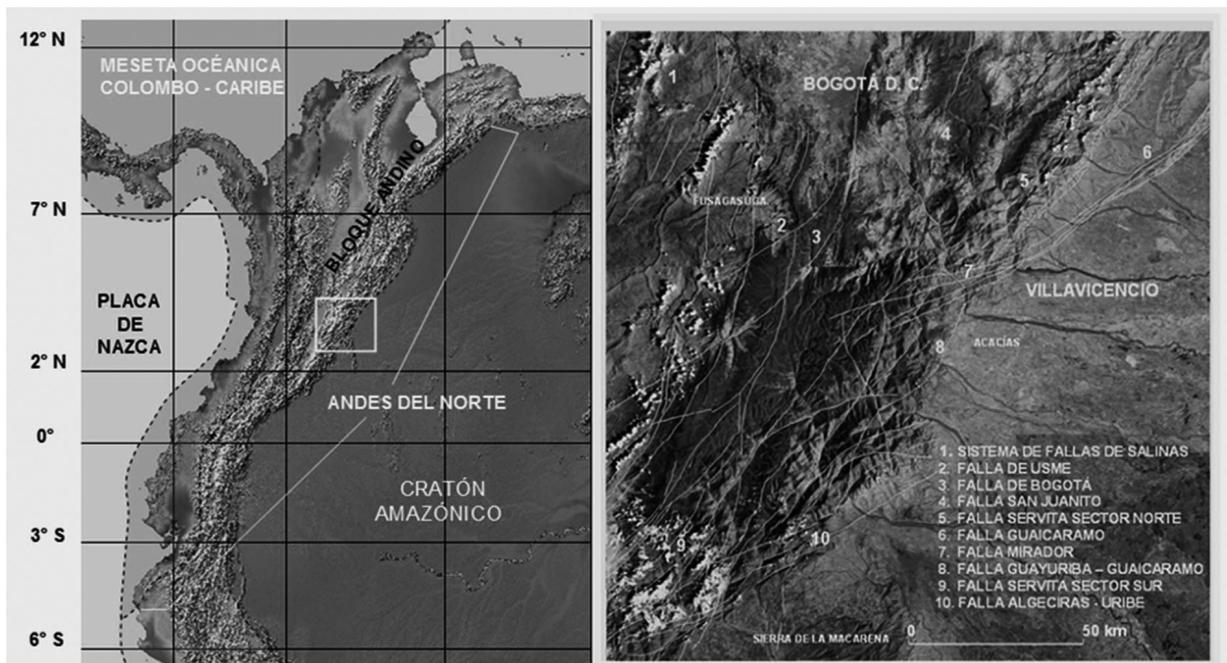
<sup>4</sup> Fundación Kinkaju, Villavicencio, Colombia.

<sup>5</sup> Fundación Nueva Herencia, Villavicencio, Colombia.

## INTRODUCCIÓN

La ciudad de Villavicencio, capital del departamento colombiano del Meta (Figura 1), está ubicada en la región del Piedemonte Llanero colombiano. Esta ciudad con cerca de 400000 habitantes, la cual es el centro administrativo y económico de la Orinoquía colombiana, se encuentra bajo una amenaza sísmica alta. Esta amenaza sísmica más que justificada se debe a que la ciudad se encuentra asentada por donde cruzan las fallas del Sistema de Fallas del Piedemonte llanero (AIS – INGEOMINAS, 1996), técnicamente denominado Sistema de Fallas de la Falla Frontal de la Cordillera Oriental (SFFFCO) (París et al., 2000), reconocido como uno de los más importantes de los Andes del norte (Figura 1), ya que su marco tectónico en cuanto a una valoración previa de su tectónica activa es mucho más evidente en comparación con otros marcos tectónicos

activos del territorio colombiano, en donde ya se han presentado sismos importantes en las últimas décadas, como lo son los sismos de la ciudad de Popayán en 1983 y el sismo del departamento del Quindío en 1999 que afectó principalmente a la ciudad de Armenia. En este trabajo se pretende mostrar de manera muy general el marco geológico y tectónico en que se asienta la ciudad de Villavicencio, un análisis de los registros sismológicos instrumentales existentes para la región, se analiza la vulnerabilidad de la ciudad en cuanto a sus aspectos socio – económicos, y se indica además el papel desempeñado por los entes involucrados como las autoridades y la academia, los cuales entran a liderar en la toma de decisiones y el conocimiento del riesgo sísmico para la ciudad. Al final, se hace una descripción de un posible escenario post-sísmico a modo de discusión, señalando ciertas recomendaciones para mitigar los efectos de un sismo de magnitud  $M = 6.5$ .



**FIGURA 1.** El centro de Colombia en una ubicación regional para los Andes del norte, a la izquierda. A la derecha, fotografía satelital que muestra en detalle esta región con la ubicación de la ciudad de Villavicencio y las principales fallas potencialmente activas que contribuyen a su amenaza sísmica de acuerdo a Chicangana et al. (2007).

## ANTECEDENTES

A pesar de que históricamente la ciudad sufrió un sismo severo el 31 de agosto de 1917 en el que se presentaron pérdida de vidas y daños cuantiosos (Cifuentes et al., 2006), la alarma de su amenaza sísmica solo se incrementó con la ocurrencia del sismo del 19 de enero de 1995, el cual afectó al municipio de Tauramena en el Departamento de Casanare distante 110 km al norte de esta ciudad. A raíz de este suceso, el gobierno

colombiano por intermedio de INGEOMINAS, junto con algunos organismos especializados en el tema como la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica – AIS 300, la Universidad de Los Andes y el Instituto Geofísico de la Pontificia Universidad Javeriana, comenzaron la ejecución de estudios de prevención de la amenaza sísmica, que dieron inicio en 1998. Para el año 2003, INGEOMINAS entrega a las autoridades locales la primera fase de la microzonificación

sismogeotécnica indicativa de Villavicencio. Además de este primer estudio, se ha determinado igualmente que esta región del país es susceptible de ser afectada por un sismo de iguales o mayores proporciones al que se presentó en el Departamento del Quindío en 1999, con consecuencias desastrosas no solo para la ciudad de Villavicencio, sino a toda la región del Piedemonte Llanero tanto en el departamento de Cundinamarca con el área metropolitana de Bogotá D. C. que dista 50 km de la ciudad de Villavicencio, como en el departamento del Meta, dejando pérdidas económicas para el país que superarían hasta más de 30 puntos de su PIB.

Recientemente entre estas dos ciudades se presentó el 24 de mayo de 2008 un sismo con magnitud  $M_L = 5,7$  (INGEOMINAS, 2008), el cual se sintió fuerte tanto en Bogotá D. C. como en Villavicencio, produciendo pérdida de vidas y cuantiosos daños materiales en varios municipios del oriente del departamento de Cundinamarca y el occidente del departamento del Meta. A pesar de lo muy reciente de este sismo, se observó que el alarmismo que inicialmente causó en ambas ciudades, pasó al olvido luego de ocurrido el evento con el transcurrir de solo unos pocos meses. Este fenómeno quizás obedezca a razones culturales y a que tanto en los grandes centros urbanos como Bogotá y Villavicencio, los daños que ocasionó fueron mínimos. Para el SFFFCO, el reconocimiento de las evidencias de tectónica activa y la identificación de sus fallas potencialmente sismoactivas solo se ha abordado de una manera muy general, como lo es el caso del trabajo de París et al. (2000) para valorar sus aspectos neotectónicos a un nivel muy regional, y los trabajos de Robertson (2005), que muestran evidencia de movilidad tectónica reciente en la región incluyendo en ésta al área urbana de Villavicencio. Con una gran desventaja en términos de sismología, ya que su fundación es muy reciente (1850), esta ciudad carece de historia para poder valorar los posibles períodos intersísmicos relacionados a sus fallas locales y frente a esto se deben realizar en éstas estudios paleosismológicos.

Desde el punto de vista de la vulnerabilidad frente a un sismo, es claro que el alcance de este tipo de amenaza es muy alto cuando la comunidad desconoce que existe una amenaza sísmica grande para la ciudad y la región que la circunda. Sobre el reconocimiento preliminar acerca del tipo subsuelo y la ubicación geográfica de la ciudad, la zonificación sismogeotécnica indicativa preliminar realizada para la ciudad, determinó que ésta se encuentra en una desventaja muy grande con respecto a otras ciudades de tamaño intermedio del país y que ya han sufrido sismos previamente, como lo es el caso de Armenia, Pereira o

Popayán. Lo anterior nos lleva a que se deben impulsar estudios y medidas para mitigar el riesgo que implica la ocurrencia de un gran sismo en esta región del país, el cual igualmente afectaría en términos económicos y sociales importantes al centro de Colombia, en donde se asienta más de la cuarta parte de la población del país.

## **MARCO GEOLÓGICO**

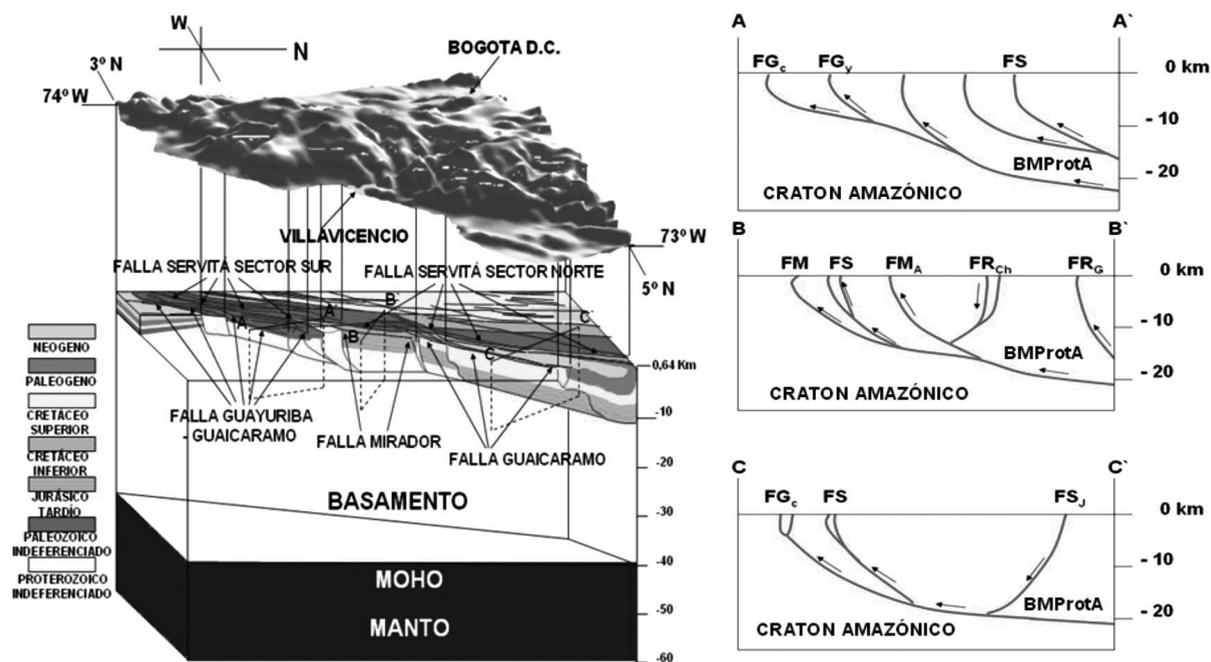
Villavicencio se encuentra en el centro de Colombia en el límite entre el piedemonte oriental de la cordillera Oriental y la altillanura de la Orinoquía colombiana (Figura 1). Su área urbana se asienta en su mayoría sobre un gran abanico aluvial desarrollado durante el lapso Plioceno – Pleistoceno (Figura 3). Bajo el abanico, el cual está delimitado y cruzado por varias fallas pertenecientes al SFFFCO, se presentan rocas sedimentarias y metamórficas. Este subsuelo en parte aflora en el flanco oriental de la cordillera Oriental en vecindades al área urbana. Las rocas más antiguas de ésta región pertenecen al Complejo Quetame, el cual se compone de rocas metamórficas de bajo grado con edades que corresponden al lapso Neoproterozoico – Cámbrico (Maya, 2001; Chicangana y Kammer, 2009). La Falla de Guaicaramo que forma parte del SFFFCO (Figuras 1 y 2), es el plano que tradicionalmente la literatura geológica ha atribuido que conforma una paleosutura entre el Cratón Amazónico y el basamento Mesoproterozoico Andino, y cruza el área urbana de la ciudad, representado aquí por fallas satélites como Bavaria, Buenavista, Coladepato, Mirador y Villavicencio (Figura 3).

Todas las litologías que conforman la cordillera Oriental se encuentran afectadas por varios episodios tectónicos, donde el grado de afectación por tectónica en los paquetes rocosos es directamente proporcional a su edad. Por ésta razón se considera que el basamento Mesoproterozoico por sobre el cual se asientan las unidades litológicas con edades que corresponden al lapso Neoproterozoico Superior hasta el Presente han sufrido procesos tectónicos desde el Mesoproterozoico Superior (Chicangana y Kammer, 2009). Debido a esto se presentan sectores en los bloques rocosos, cuya conducta regirá su respuesta tectónica en toda su historia geológica a modo de herencia (Chicangana et al., 2008), como lo son los planos de falla y estructuras derivados de la colisión Mesoproterozoica inicial entre Laurentia y Gondwana. Estas estructuras que se originaron en las escamas o prismas y los planos de acreción que se desarrollaron en dicha colisión, variaron igualmente su geometría y cambiaron en algunos casos su conducta cinemática a lo largo del tiempo. De esta manera se

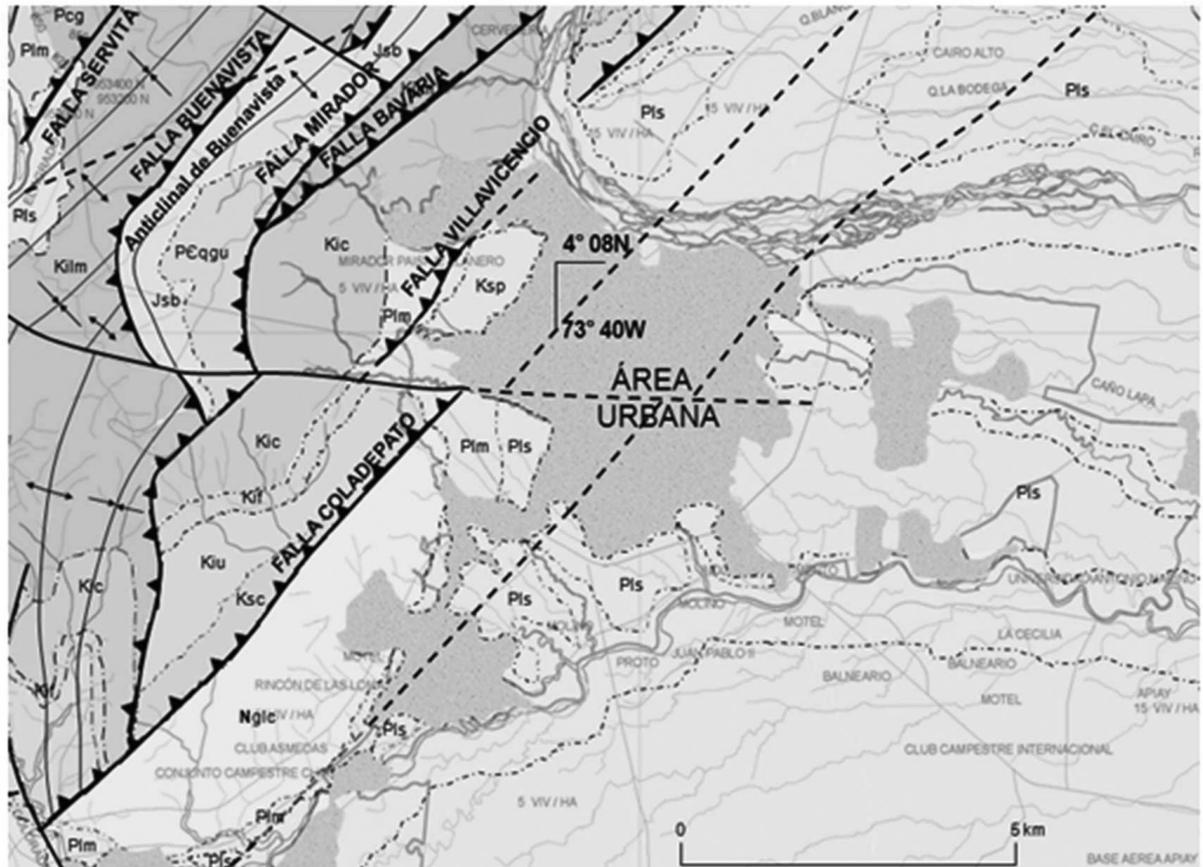
propone que el actual frente de cabalgamiento que define la Falla de Guaicaramo desde el norte de nuestra región de estudio, junto con la Falla Servitá y la Falla Guayuriba – Guaicaramo (Figuras 1 y 2), son el límite de la acreción Mesoproterozoica en el basamento (Chicangana et al., 2007, 2008; Chicangana y Kammer, 2009). En síntesis, estas estructuras han definido los planos en profundidad de los posibles límites de la acreción, expresándose como fallas con vergencia hacia el E con un alto ángulo hacia superficie pero con muy bajo ángulo en profundidad (Mora et al., 2006; Chicangana et al., 2007). En la evolución de los planos principales de la acreción es muy posible que estos sufrieran posterior a su creación, varias reactivaciones tectónicas de primer orden, las cuales se verifican por las sucesivas discordancias que desde el punto de vista estratigráfico, se observan para el Paleozoico y el Mesozoico en el flanco oriental de la Cordillera Oriental (Chicangana et al., 2007). En estos episodios tectónicos, se pone en evidencia un período transtensional Mesozoico que resultó quizás de un efecto sin - orogénico que se manifestó principalmente durante el Cretáceo Inferior en los Andes del norte. El resultado de esta fase transtensional produjo en muchos de los planos fundamentales del basamento una reactivación manifestada por una inversión tectónica negativa, que dio lugar a la aparición de nuevas fallas locales con tendencia normal en la cobertera Fanerozoica.

Durante el Cenozoico, tanto las estructuras superficiales que se originaron durante el Cretáceo Inferior, como las que comprometen además al basamento con mayor antigüedad y dimensión, sufrieron un proceso de inversión tectónica positiva durante las dos principales fases de acortamiento litosférico que se presentaron en la esquina NW de Suramérica durante este último lapso. La primera fase de acortamiento fue para el Paleógeno y dio origen a la discordancia del Eoceno Medio. La segunda fase fue para el Plioceno y fue la que dio origen al estilo estructural observado hoy en día en este sector de la cordillera Oriental. En este último, el levantamiento de la cordillera produjo en el límite entre el piedemonte de la cordillera y la altillanura, en donde se ubica en la actualidad Villavicencio, sucesivos abanicos aluviales que rellenaron cuencas pre – existentes y fueron construyendo la actual altillanura. Estos depósitos con sedimentos recientes no consolidados presentan espesores que oscilan de entre unos pocos a varios centenares de metros. Desde el Pleistoceno Inferior hasta el Presente, numerosos cuerpos de agua conformados tanto por ríos como los denominados localmente caños, fueron disectando esta altillanura definiendo las cuencas actuales y en algunos casos, generando grandes áreas pantanosas o humedales.

La evolución de estos sistemas hidrográficos en este sector entre el piedemonte y la altillanura construyó el actual paisaje conformando el actual suelo y subsuelo predominante en el área urbana de la ciudad.



**FIGURA 2.** Izquierda, bosquejo general en 3D de la disposición tectono – estratigráfica con su escenario litosférico de la región de estudio. A la derecha, perfiles A – A', B – B', y C – C' dispuestos en sentido E – W, los cuales se ubican en la figura de la izquierda. FGC: Falla Guaicaramo; FGY: Falla Guayuriba; FM: Falla Mirador; FMA: Falla Manzanares; FRCh: Falla Río Chiquito; FRG: Falla Gallo; FS: Falla Servitá; FSJ: Falla San Juanito. BMProtA: Basamento Meso – Proterozoico Andino. Tomado de Chicangana et al. (2007).



EDAD, UNIDAD LITOLÓGICA		ESTRUCTURAS	
[Blank box]	HOLOCENO, DEPÓSITOS ALUVALES Y LLANURAS ALUVALES.	[Dashed line]	CONTACTO LITOLÓGICO
[Pls]	PLEISTOCENO SUPERIOR, ABANICOS ALUVALES, DEPOSITOS COLUVALES Y TERRAZAS.	[Thick solid line with triangles]	FALLA DE CABALGAMIENTO
[Pim]	PLEISTOCENO MEDIO, DERRUBIOS Y DEPOSITOS COLUVALES.	[Thin solid line]	FALLA NORMAL
[Ngic]	PLIOCENO SUPERIOR, FORMACIÓN LA CORNETA.	[Dotted line]	FALLA O LINEAMIENTO INFERIDO
[Ksp]	MAASTRICHTIANO, GRUPO PALMICHAL.	[Dashed line with dots]	FALLA O LINEAMIENTO FOTOGEOLÓGICO
[Ksc]	TURONIANO, FORMACIÓN CHIPAQUE.	[Wavy line]	ANTICLINAL
[Kiu]	ALBIANO, FORMACIÓN UNE.	[Wavy line with cross]	SINCLINAL
[Kif]	APTIANO, FORMACIÓN FOMEQUE.	[Wavy line with cross]	MONOCLINAL
[Kic]	HAUTERIVIANO, FORMACIÓN ARENISCA DE CAQUEZA.		
[Kilm]	BERRIASIANO, FORMACIÓN LUTITAS DE MACANAL.		
[Jsb]	TITONIANO, FORMACIÓN BRECHAS DE BUENAVISTA.		
[Pcg]	CARBONIFERO SUPERIOR, FORMACIÓN CAPAS ROJAS DEL GUATÍQUA.		
[PCqgu]	NEOPROTEROZOICO SUPERIOR, FILTAS Y CUARCITAS DE GUAYABETA.		

FIGURA 3. Mapa geológico local de la región en donde se asienta el área urbana de Villavicencio en tramado sombreado.

## **METODOLOGÍA**

La metodología en este trabajo sigue el método inductivo deductivo, en donde el desarrollo del trabajo se basa en la descripción de aspectos tanto técnicos como sociales del fenómeno de la amenaza sísmica de Villavicencio. En general se describen aspectos concernientes a la valoración de esta amenaza en el sentido geológico y sismológico, para luego pasar a realizar un análisis sobre la percepción social de este fenómeno de la sociedad involucrada en el. Para esta segunda parte, se tienen entonces en cuenta aspectos como el análisis de la vulnerabilidad en términos tanto económicos como sociales de la población. Con los análisis aquí realizados se pasa a plantear un posible escenario post - desastre, con el cual se lanzaran unas recomendaciones para tener en cuenta con el fin de conseguir mitigar el efecto de un gran sismo en esta región del país.

## **RESULTADOS**

### ***1. La vulnerabilidad desde un punto de vista técnico.***

#### **A. El Entorno Físico**

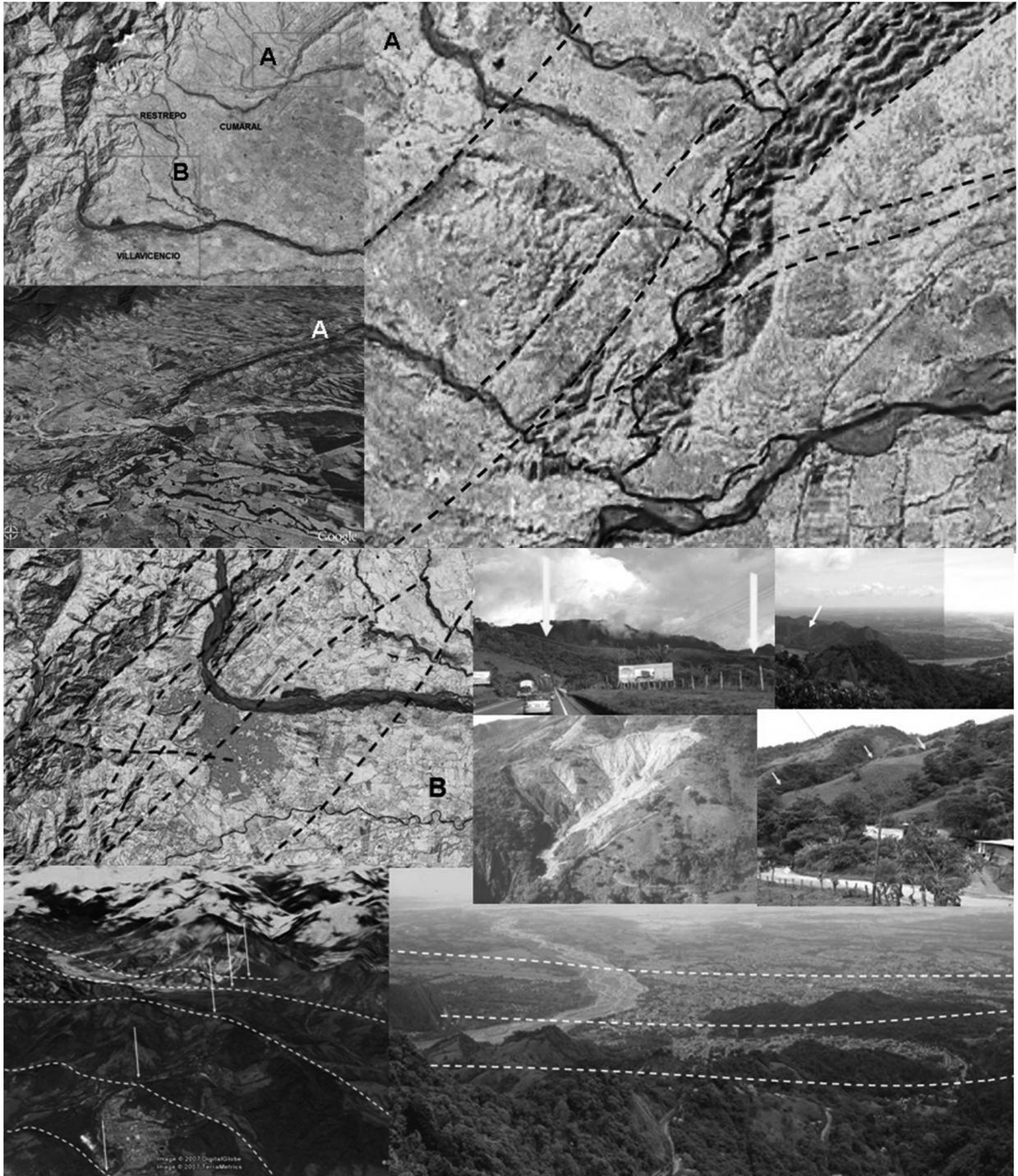
En el Piedemonte Llanero la puesta en evidencia de la amenaza sísmica son los cambios en la conducta de los drenajes de los principales ríos y corrientes fluviales en términos de tiempo corto los cuales no superan lapsos que oscilan entre decenas y centenas de años, junto con los constantes corrimientos de masa o deslizamientos, que están asociados en algunos casos a los escarpes de las fallas. Dichos procesos geológicos periódicamente han afectado a los habitantes tanto de Villavicencio como de la región del Piedemonte Llanero (Alfaro y Ramos, 2001).

Aspectos morfotectónicos regionales contundentes derivados de la movilidad de las fallas del SFFFCO junto con la identificación a partir de las técnicas evaluativas de neotéctonica y tectónica activa para determinar posibles fuentes generadoras de un sismo fuerte, han llevado a concluir desde este punto de vista, que la región del Piedemonte Llanero presenta una amenaza sísmica alta. Estas valoraciones parten del criterio de la observación directa y de mediciones en los planos de falla a partir del trabajo de campo. Ejemplo de este tipo de trabajos realizados en esta región son entre otros, París et al. (2000), Robertson, (2005), López (2005), o Chicangana et al. (2008), (Figura 4).

Igualmente frente a la amenaza sísmica la ciudad de Villavicencio se encuentra igualmente altamente vulnerable, porque además de ubicarse dentro de este

escenario de tectónica activa, está asentada sobre suelos y un subsuelo de muy reciente conformación cuya reciente evolución ya se explico aquí en el marco geológico. De acuerdo a la primera fase de la microzonificación sismogeotécnica indicativa de la ciudad realizada por INGEOMINAS (Ojeda y Alvarado, 2005), Villavicencio está construida sobre un gran depósito de origen fluviotorrencial y aluvial cuyo espesor oscila entre 5 y 100 metros aproximadamente, originado principalmente por el arrastre y depositación de materiales de los diferentes ríos de la zona. La zonificación geotécnica dividió el área de estudio (Figura 5), así: Zona 1 denominada Cerros, la cual está constituida por los cerros occidentales de la ciudad, que están compuestos por rocas sedimentarias consolidadas con edades Meso - Cenozoicas, a las cuales su aceleración espectral esperada es de 0,7 g. Zona 2 denominada Piedemonte Fluviotorrencial, la cual corresponde a la parte alta de los abanicos del Caño Parrado y Villavicencio, con sedimentos no consolidados cuya edad va del Pleistoceno Medio al Presente, su aceleración espectral esperada es de 2,0 g. Zona 3 denominada Piedemonte Aluvial, que se conforma de depósitos aluviales que se ubican al suroccidente de la ciudad cuya edad no supera el Holoceno y están constituidos por gravas, arcillas y limos, su aceleración espectral esperada es de 1,3 g. Zona 4 denominada Llanura Fluviotorrencial, que corresponde a la altillanura y que en área urbana es la zona relativamente plana del Abanico de Villavicencio en la que la presencia de humedales y pantanos es común, su aceleración espectral esperada es de 1,6 g. Zona 5 denominada Llanura Aluvial, corresponde a la zona oriental de la ciudad conformada por terrazas aluviales bajas y medias del Caño Maizaro y los ríos Guatiquía y Ocoa, su aceleración espectral esperada es de 1,6 g. Por último en esta clasificación están las zonas de rondas de los ríos y los humedales en los cuales está prohibido por norma ubicar y desarrollar asentamientos humanos, sin embargo esta regla en Villavicencio no se cumple, por causas históricas que se verán más adelante aquí.

Igualmente en este estudio, se identificaron de una manera cualitativa los terrenos susceptibles a licuación, los cuales son depósitos aluviales arenosos o arenolimosos sueltos, que se encuentran en las riberas de los cauces de los caños Arenoso, Pendejo y el río Ocoa principalmente, los cuales se ubican en el sector del piedemonte al suroccidente del área urbana.



**FIGURA 4.** A) Trazos de fallas y evidencias de tectónica activa a 25 km al norte de Villavicencio, en el municipio de Cumaral. B) Trazos de fallas junto con evidencias de tectónica activa en el municipio de Villavicencio. Tomado de Chicangana et al. (2008).

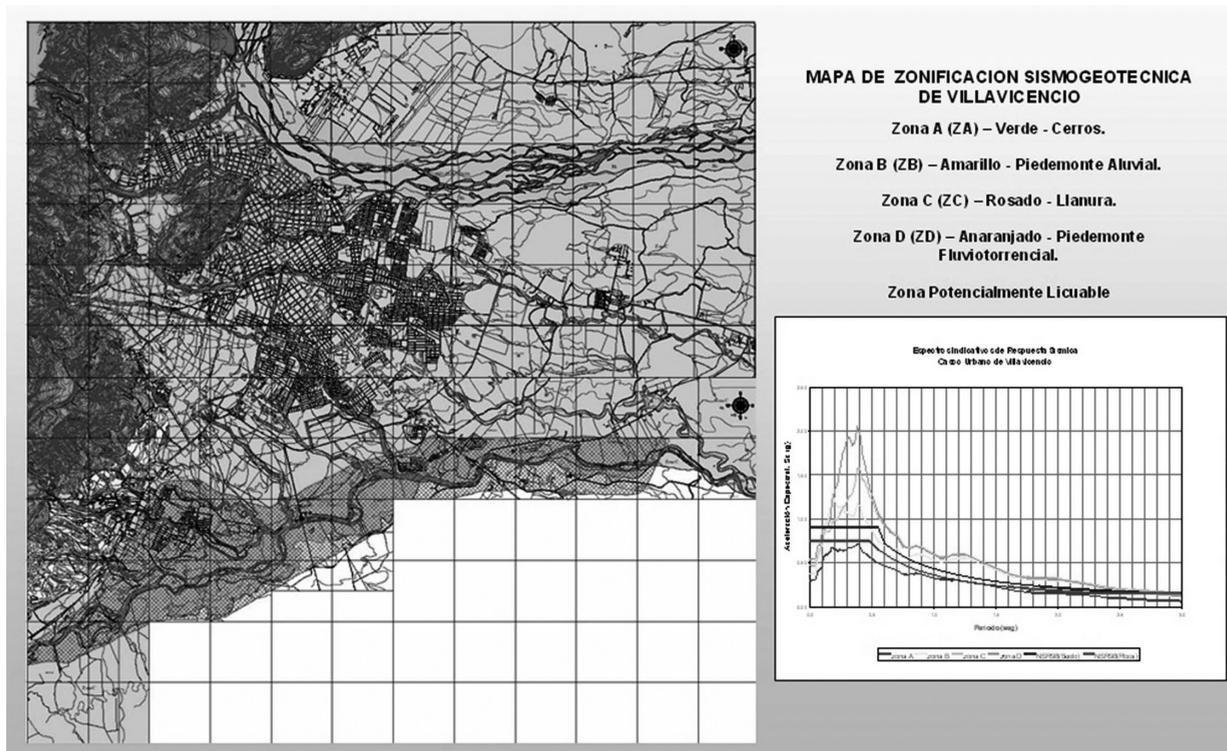


FIGURA 5. Mapa de la Zonificación Sismogeotécnica Indicativa de la Ciudad de Villavicencio. Tomado de Ojeda y Alvarado (2005).

Este estudio sismogeotécnico determinó que para el área urbana de Villavicencio, los periodos fundamentales se encuentran entre 0.20 y 0.75 segundos, siendo acordes con los periodos de registros de sismos tomados en una red portátil durante la realización del estudio, conforme se realizó la estimación con perforaciones, de los espesores del depósito fluvio - torrencial predominante. La variación moderada en los periodos indica la relativa heterogeneidad y rigidez de los suelos de Villavicencio.

### B. El Registro Sismológico

Chicangana et al., (2007), han realizado una revisión y el ajuste sobre la sismicidad histórica de varios catálogos, al igual que la sismicidad instrumental que ha registrado la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC) para el período 1993 – 2001 (Figura 6), apoyados con visitas de campo en diversos lugares del Piedemonte Llanero del Departamento del Meta, derivadas del reconocimiento previo de zonas con evidencia de tectónica activa con apoyo de la fotogeología, Con este trabajo estos autores, han constatado el tipo de contexto estructural para las fallas de esta región que ha llevado a esbozar un modelo sismotectónico preliminar para este sistema de fallas. Por su parte Vargas et al. (2007), señalan que para esta región en especial del Piedemonte Llanero, el

registro sismológico muestra un gap o silencio sísmico preocupante (Figura 7), el cual a la fecha de elaboración de este artículo (mayo de 2009), cumple ya cerca de 92 años desde la ocurrencia del sismo del 31 de agosto de 1917 (Ramírez, 1975; Cifuentes et al., 2006). El gap o período intersísmico, es aquel que nos indica el tiempo requerido para la acumulación de esfuerzos que al final se liberaran en forma de un fuerte movimiento espontáneo que es el generará el sismo (Scholtz, 2002). Este parámetro nos muestra, que para una región dada, entre mayor sea el tiempo transcurrido para este lapso intersísmico, más cerca en el tiempo ocurrirá un sismo y mayor será la liberación de energía o magnitud esperada. La RSNC en su registro instrumental para el lapso 1993 – 2007, muestra este gap para la región de Villavicencio, a pesar de que en esta se presentan muchos trazos de fallas asociados al SFFFCO (Figuras 1, 2, 3 y 7).

En otras palabras, las fallas del SFFFCO correspondientes a este sector del Piedemonte Llanero colombiano que va desde una latitud de 3° N hasta una latitud de 5° N, con la salvedad del sismo del 24 de mayo de 2008 que ocurrió un poco retirado del piedemonte, durante este largo período de tiempo no han presentado un sismo regional superficial cuya magnitud  $M$  sea igual o mayor a 5,0. Por fuera de esta región, al norte de los 5° N se presentó el sismo en

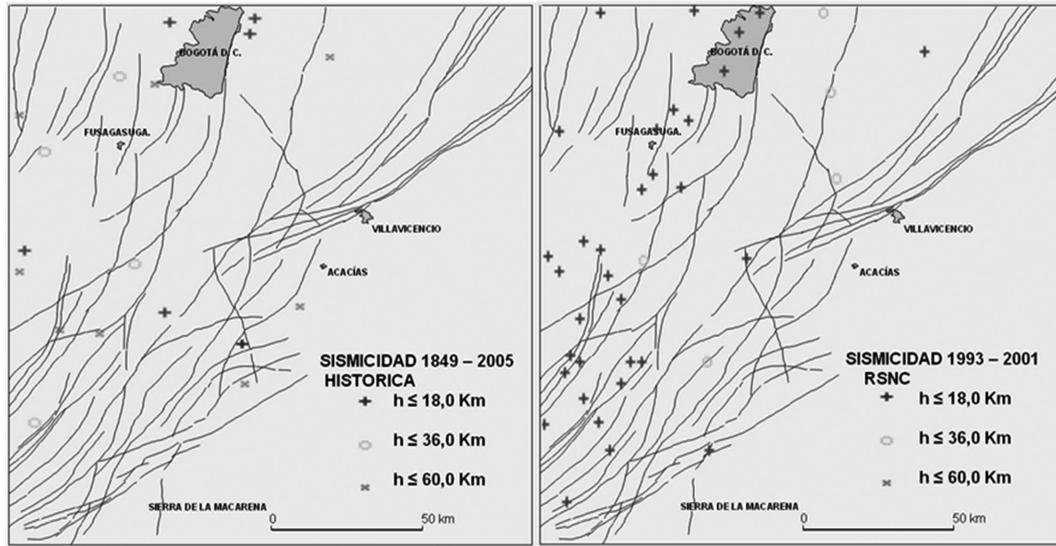


FIGURA 6. Mapas sismotectónicos generales para  $h \leq 60$  km con  $MS \geq 4,0$  a partir de la información macrosísmica y del NEIC para el lapso 1849 – 2005 a la izquierda, y del registro instrumental de la RSN período 1993 - 2001 con  $ML \geq 2,5$  a la derecha. Tomados de Chicangana et al. (2007).

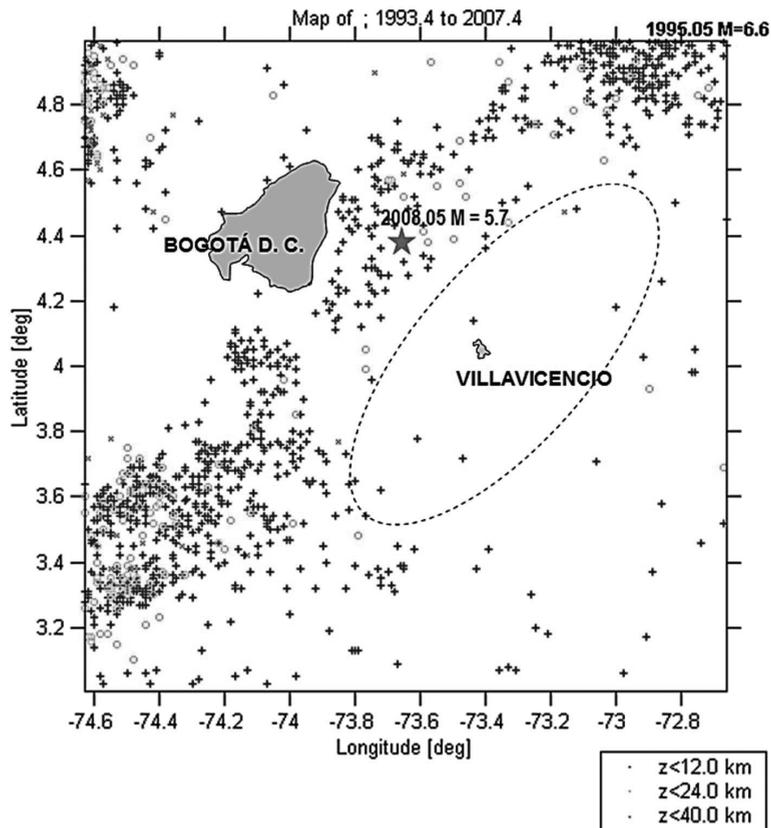


FIGURA 7. Mapa del registro sísmológico instrumental de la RSN, INGEOMINAS (2007), correspondiente al lapso 1993 - 2007 de la región de estudio (Figura 1), para una profundidad focal  $h \leq 40$  km. En este se mapa se observa el gap sísmico (elipse en trazos) que exhibe la región en que se asienta Villavicencio, y se muestran además la ubicación geográfica de los sismos de Tauramena de 1995 y del 24 de mayo de 2008.

el municipio de Tauramena el 19 de enero de 1995 con  $M = 6,5$  y al sur de esta en vecindades a la Serranía de La Macarena, se presenta una sismicidad superficial periódica para lapsos de tiempo inferiores a 10 años con sismos  $M \geq 4,0$  que Chicangana et al. (2007), atribuyen a la actividad de la falla de Algeciras, una de las fuentes sismogénicas más peligrosas del país, la cual ha producido grandes sismos con muchos daños y pérdidas de vidas tanto en el Siglo XIX como el pasado siglo XX (Velandia et al., 2001), afectando principalmente a los departamentos de Caquetá, Cundinamarca, Huila, Meta y Tolima, o lo que es igual a ciudades como Bogotá, Florencia, Neiva o Villavicencio. La falla de Algeciras al parecer presenta periodos de retorno o recurrencia sísmica para la generación de un sismo con  $M \geq 6,0$  en lapsos de tiempo inferiores a 100 años o quizás menos. Su último gran sismo demostrado con una red sismológica fue el de febrero 9 de 1967, con  $M \approx 6,5$ , siendo su epicentro el municipio de Timaná en el departamento del Huila, al suroeste del país. Con esta falla además se incrementa la vulnerabilidad de Villavicencio ya que en dicha época este sismo produjo algunos daños en esta ciudad y en Bogotá.

Con respecto a la región del silencio sísmico o gap que se presenta entre los  $3^\circ$  N y los  $5^\circ$  N, Chicangana et al. (2007), indican de forma preliminar que a la fecha se desconoce el verdadero potencial de la amenaza sísmica en este sector del Piedemonte Llanero, sin embargo hacia el sur de Villavicencio, la microsismicidad reportada por la RSNC en menos de una decena de años, al igual que la sismicidad histórica (Figuras 6 y 7), hacen estimar que esta región presenta una mayor movilidad que hacia el norte de la ciudad, para un termino de tiempo mayor o igual a varias decenas de años. Para el norte de Villavicencio esta movilidad está en un orden de tiempo mucho mayor. Esto significa que las fallas Guaicaramo sur y Servitá – Santa María (París et al., 2000), son candidatas a generar un sismo más pronto por la baja movilidad que un sentido regional exhiben actualmente, pero éste estimativo todavía es muy incierto debido a la falta de una red sismológica local en esta región, que ayude a efectuar éste estimativo con mayor certeza desde el punto de vista de actividad sismogénica local.

Chicangana et al. (2007), solo consiguen realizar dicho estimativo en una perspectiva muy regional, la cual se apoya de la sismicidad histórica que presenta mucha falta de información para esta región y del registro instrumental de la RSNC, que solo muestra la sismicidad en un ámbito muy regional. La localización de los focos con esta red presenta márgenes de error muy alto cuando se trata de la sismicidad producida por un fracturamiento

a una poca profundidad ( $h \leq 40$  km), en planos de falla que quizás sean de muy poca longitud y que representan límites de bloques cabalgantes susceptibles de generar un sismo con  $M \geq 6,0$ , en un esquema sismotectónico para el SFFFCO muy similar al que produjo el terremoto de la ciudad de San Juan en Argentina en enero 15 de 1944 ( $M_s = 7,4$ ), que dejó cuantiosos daños y gran pérdida de vidas (Chicangana et al. 2007). Gómez y Salcedo (2000), señalan que con respecto a la RSNC y su muy baja densidad de estaciones en el territorio nacional (26 en la actualidad), que su margen de error en la localización del foco sísmico oscila dependiendo de la fuente sismogénica. De esta forma estiman un margen de error de 4% para la sismicidad intermedia del Nido Sísmico de Bucaramanga que es una fuente sismogénica de intermedia a profunda ( $h > 120$  km), un 10% para Caldas y Choco, la cual es una fuente sismogénica intermedia ( $60 \text{ km} < h < 120 \text{ km}$ ), mientras que para regiones como el Piedemonte Llanero, Santander, el sur de Nariño, y la sismicidad intraplaca en general que se presenta en el país ( $h < 40$  km), este margen puede superar el 100%. Con respecto a la falta de una red sismológica local y a la amenaza sísmica del área metropolitana de Bogotá, la cual presenta en igual medida la misma amenaza que para Villavicencio, por su relativa cercanía, Vargas et al. (2007), establecen que:

*“Solo una instrumentación adecuada a una red sismológica regional, permitirá conocer patrones de microsismicidad importantes relacionados a eventos importantes de impacto para la sabana de Bogotá. Esta microsismicidad, no es detectada por la RSNC, ni por la Red de Acelerografos de Bogotá, debido a que la primera presenta un umbral de detección para eventos regionales con  $M_L > 2,9$ , (Caneva, 2002), y la segunda está diseñada solo para detectar los movimientos fuertes.”.*

Frente a lo anterior, es claro que la falta de un monitoreo de la sismicidad local para esta región que incluye aquí al Piedemonte Llanero y Villavicencio, aumenta la incertidumbre sobre el alcance de la amenaza sísmica en esta región, lo que por ende se traduce en un aumento de vulnerabilidad frente al fenómeno, ya que la carencia de una red sismológica local produce un desconocimiento de la movilidad de las fallas vecinas a Villavicencio, por lo que a la fecha no es posible visualizar el estado de la acumulación de los esfuerzos en esta región, de una manera que permita cuantificar con certeza en donde se podrá presentar una liberación espontánea de estos en el corto a mediano plazo.

## **2. La vulnerabilidad desde un punto de vista social.**

### **A. Historia de la sismicidad local**

La ciudad de Villavicencio tiene una gran desventaja con su historia en lo que a parámetros sismológicos se refiere. Su reciente fundación (1850 aproximadamente), presenta frente a su vulnerabilidad ante un sismo, falta de memoria histórica, por lo que para la región en sí ya es una enorme desventaja, porque se desconocen los períodos de recurrencia para sismos y menos aun períodos intersísmicos que estén relacionados al SFFFCO en cercanías a Villavicencio. Frente a su sociedad, esta presenta igualmente inexperiencia frente al fenómeno, debido a la confianza con respecto a la percepción colectiva de “nunca en la región tiembla frecuentemente” y que al menos en varias décadas, salvo obviamente lo ocurrido en 1967 con el sismo del Huila, o el evento de 1995 con Tauramena, es bastante raro que se sienta un temblor fuerte, capaz de desplomar construcciones o de sembrar el pánico entre sus habitantes a un nivel local, menos cuando la mayoría de estos no han vivido por largo tiempo en la ciudad. Un problema muy pronunciado relacionado a la falta de memoria histórica de sus habitantes es el rápido crecimiento de su población para los últimos 40 años que de 90000 habitantes con que contaba la ciudad en 1973 (Tursktra, 1998), paso oficialmente a cerca de 400000 en la actualidad (DANE, 2008). Este fenómeno solo se explica por la inmigración que ha sido constante durante todo este tiempo para conseguir el fuerte crecimiento de esta ciudad colombiana. La inmigración en la ciudad se ha debido a factores como procesos relacionados a la violencia política la cual impero para las décadas de 1950 y 1960, el narcotráfico y el conflicto armado para las décadas de 1980 y 1990, junto con el crecimiento del sector económico de ésta región del país desde 1990 hasta la fecha por la extracción de hidrocarburos y el desarrollo de la agroindustria. Se estima que cerca del 70 % de la población de la ciudad no lleva más de dos generaciones asentada en ella, considerando para esto su crecimiento vertiginoso en los últimos 40 años. La población de la ciudad procede de todas las regiones del país sin excepción y solo una minoría que no supera el 30 %, proviene de los municipios vecinos de los departamentos de Cundinamarca y Meta junto con la Orinoquía.

Para la época del sismo del 31 de agosto de 1917, la ciudad solo contaba con poco más de 3000 habitantes (Tursktra, 1998) y los efectos de este sismo produjeron 7 víctimas mortales en Villavicencio y 4 en San Martín. Dicho sismo produjo cuantiosas pérdidas económicas y daños severos a construcciones en Bogotá. Lo severo

de los efectos de este sismo para Villavicencio y San Martín, llevo a Cifuentes et al. (2006), a señalar que el área epicentral se ubico entre estas dos poblaciones del Piedemonte Llanero.

Bogotá como testigo de excepción y por ser el centro urbano más importante del país, cuenta con una amplia documentación histórica, la cual tiene más de 470 años de historia. Durante todo este tiempo ha recibido el azote de varios sismos. Al ubicarse Bogotá a menos de 75 km de Villavicencio, ha servido como referencia histórica para realizar un análisis de la sismicidad histórica en esta región de Colombia. Espinosa (2004), indica que la sabana de Bogotá ha sufrido al menos 14 sismos en su historia y esta arranca con incertidumbre desde 1614. Sin embargo, en materia de sismos históricos, los temblores sentidos en Bogotá pueden proceder de varios lugares del país y no solamente de la región del Piedemonte Llanero. La sismicidad histórica en Bogotá pudo proceder de la zona de subducción al occidente colombiano, el Nido Sísmico de Bucaramanga al nororiente o está relacionada con la falla de Algeciras, como es el caso del gran sismo de 1827 (Velandía et al., 2001; Espinosa, 2004). Para el Piedemonte Llanero con la excepción de cabeceras urbanas como Medina y San Martín, las cuales fueron fundadas durante la colonización española, Villavicencio y el Meta tienen una historia muy joven y precaria en cuanto a materia de sismos. El municipio de Medina ubicado en el Piedemonte Llanero del departamento de Cundinamarca, 30 km al norte de Villavicencio, sufrió el sismo del 22 de diciembre de 1923 al que Espinosa (2004), le asigno una intensidad VIII. Solo este último sismo junto con el de Villavicencio de 1917, son testimonios de la ocurrencia de sismos en el Piedemonte Llanero con una relativa cercanía a Villavicencio durante el siglo XX. Espinosa mide la intensidad en un epicentro sísmico de acuerdo al alcance de los daños en las edificaciones y los testimonios históricos plasmados en documentos, pero no mide en realidad la magnitud y una buena estimación de la ubicación del foco hipocentral, quedándose únicamente en los términos de la macrosísmica, o en el “como se sintió” en la región. Esto obviamente tiene limitaciones pero es muy valido en la sismología. Solo hasta la ocurrencia del sismo de Medina de 1923, que es el año en que se instala el primer sismógrafo en Colombia y con el que se da inicio a la labor del Instituto Geofísico de Los Andes (Caneva, 2002), es posible indicar con cierto grado de seguridad científica una aproximación relativamente segura a la zona sismogénica que produjo el sismo y la verdadera magnitud que a nivel regional manifestó éste.

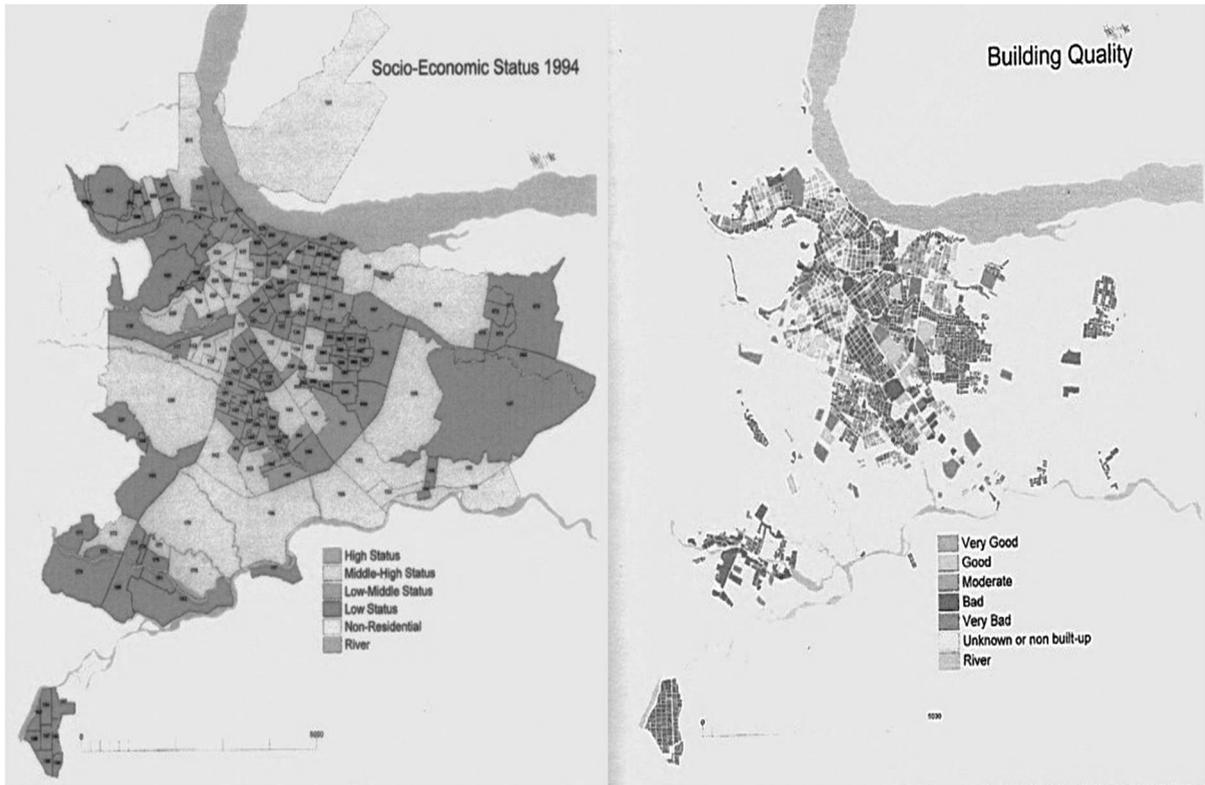
## **B. La población**

En Villavicencio en particular, las comunidades asentadas en zonas de riesgo repetidamente están afectadas por fenómenos derivados de la actividad tectónica en la región y sus autoridades siempre han realizado la labor de la atención más no de la prevención, algo que es una costumbre general en Colombia al igual que en Latinoamérica con respecto a la gestión del riesgo. El término vulnerabilidad se define como las condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales, que aumentan la susceptibilidad de una comunidad al impacto de las amenazas. La evolución urbana reciente de Villavicencio según el trabajo de Tursktra, (1998), muestra que para 1994 el 25 % de la población de la ciudad se encontraba con un nivel socio – económico bajo a muy bajo (Figura 8). Para 2008 el DANE mostraba que en 2005, el 17,77 % de la población de la ciudad se encontraba con necesidades básicas insatisfechas, el 25,7 % de los hogares presentaban déficit convencional de vivienda, y de acuerdo a la Superintendencia de Servicios Públicos, a febrero de 2009 el 49,1 % de la población pertenecían a los estratos socioeconómicos 1 y 2, de los cuales el 17,4% pertenece al estrato 1, que es el estrato socio – económico más bajo (CENAC, 2009). Esta última medida no ha variado para Villavicencio desde 1994 cuando Tursktra, (1998), culminó su trabajo sobre el desarrollo urbano de la ciudad. Desde el trabajo de Tursktra, (1998), en el cual se mostraba la vulnerabilidad de la población hacia las amenazas naturales como inundaciones y corrimientos de masa, poco o nada es lo que se ha atendido o se ha hecho al respecto por parte del sector gubernamental con el fin de reducir su efecto a los sectores de la población más vulnerables. Se destaca para la ciudad que desde la década de 1960 se inició la invasión de predios baldíos pertenecientes al sector gubernamental por parte de la población inmigrante de bajos recursos desplazada por la violencia política. Normalmente estos predios o se encuentran en zonas inestables susceptibles de corrimiento de masa, o son susceptibles de inundaciones como humedales y rondas de los ríos o caños. Éste último caso se ha incrementado desde la década de 1980 cuando se dio inicio al asentamiento pirata por parte de una nueva población desplazada inmigrante y de bajos recursos producto del desplazamiento forzado por el conflicto armado y el narcotráfico (Tursktra, 1998). Esta situación de desplazamiento continúa hoy y sigue incrementado la población de la ciudad. Considerando entonces que el 25% de la población se ubica dentro de la población más vulnerable, aquí tenemos una consideración a nivel nacional en la cual el DANE (2008), estima que cerca del 10% de la población del país no presenta ningún tipo de escolaridad y este factor aumenta la vulnerabilidad produciendo fácilmente nuevos grupos delincuenciales en situaciones post - desastre. Caracterizándose Villavicencio

como una de las ciudades colombianas “promedio” con respecto a la cantidad de población más vulnerable, tenemos en cuenta aquí que la vulnerabilidad a un sismo es mucho mayor en aquella población que presenta déficit convencional de vivienda, lo cual se traduce en que ésta tiene más de una necesidad básica insatisfecha. Esto significa en términos reales para una población de 400000 habitantes, una población de más de 100000 personas, sin considerar otros 100000 que se encuentran con necesidades económicas permanentes que son los que pertenecen al estrato socioeconómico 2. Si por último consideramos aquí la informalidad, Villavicencio según el CENAC (2009), presenta informalidad en el 67,6 % de la población frente a un 32,4% cuyo empleo es formal.

## **C. El sector gubernamental**

La puesta en marcha de una red sísmológica local tanto para el departamento del Meta como para algunos de sus municipios que cuentan con el capital suficiente para llevarla a cabo en la Orinoquía colombiana, es algo muy viable ya que la región percibe periódicamente regalías por gran cuantía por ser productora de hidrocarburos, y su costo sería muy barato en lo que a materia de obra pública se trata para esta región del país. La red sísmológica contribuye con la mitigación del desastre ocasionado por un sismo en el mediano a largo plazo. La justificación para el despliegue de una red sísmológica está establecida por el Decreto 919 de 1989 en donde se define el Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres. Esta reglamentación establece que es una obligación que tienen por ley tanto las autoridades departamentales como locales (municipales), de contribuir con el fortalecimiento de dicho sistema a nivel nacional y una red sísmológica cumple con este objetivo. Los recursos financieros que el Departamento del Meta y algunos de sus municipios poseen eventualmente por concepto de las regalías, superan con creces a otras regiones del país, incluyendo dentro de estas a la región del Eje Cafetero que comprende los departamentos de Caldas, Risaralda y Quindío, la cual fue afectada por los sismos de Pereira de 1995 y del Quindío de 1999. Sin embargo la negligencia y mal uso de estos recursos públicos, en algunos casos por causas como la corrupción administrativa o en su defecto por la no contemplación de este tipo de planes de prevención de desastres, en éste caso para la amenaza sísmica en los planes de desarrollo y la falta o no realización de planes de ordenamiento territorial que cumplan con los requerimientos mínimos, como es el caso de Villavicencio, en donde en la actualidad (mayo de 2009), la administración municipal de turno postergo la reformulación de su POT para la siguiente administración, aumentan la vulnerabilidad de la población frente a un



**FIGURA 8.** Mapas de la ciudad de Villavicencio mostrando la distribución de los estratos socio – económico a la izquierda, en donde se observa que el color rojo indica el estrato bajo. A la derecha, la calidad del estado de construcciones y/o edificaciones en el área urbana. Los colores rojo y rosado indican calidades malas a muy malas. Ambos indicadores corresponden al año 1994 y fueron tomados de Turkstra (1998).



**FIGURA 9.** Fotografías que muestran algunos ejemplos de las malas condiciones estructurales y de sismo resistencia en algunos de los edificios del centro de la ciudad, como la colindancia entre los edificios de la fotografía de la esquina superior izquierda. Igualmente se observan aquí casos como la falta de reforzamiento estructural, fachadas en voladizo y geometría irregular con escalonamientos o retrocesos. Con estos ejemplos es claro que la vulnerabilidad frente a un sismo se incrementa de manera dramática para Villavicencio.

eventual sismo, por la falta de estrategias y lineamientos para su mitigación. A pesar de que el Decreto 93 de 1998 que reglamenta el Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, estipula que es obligación de las autoridades legalmente constituidas, el de salvaguardar el bienestar junto con la economía de sus habitantes y su región, en Villavicencio no se ha prestado de una forma adecuada por parte del sector gubernamental algún apoyo al respecto. Organismos que hacen parte del sistema tampoco han recibido un apoyo adecuado por parte de los entes gubernamentales y el llamado de atención reciente hacia la comunidad acerca de la amenaza sísmica local, solo ha surgido por iniciativa de algunos representantes de la academia. Esta última es la que no solo a nivel local, sino también en el ámbito nacional ha dado la iniciativa frente a los aspectos técnico – científicos del fenómeno sísmológico y sus consecuencias, propendiendo en su medida asesorar a diversos organismos que forman parte del Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres. Igualmente en el caso particular de Villavicencio, la academia en su papel de servicio a la sociedad con la labor de los grupos de investigación de las Universidades, han hecho un llamado al sector gubernamental para poder conseguir apoyo, el cual ha sido percibido a medias sin conseguir a la fecha resultados concretos. La desatención de las autoridades locales y regionales por factores como concentración de poder, falta de visión a largo plazo, debilidad del Estado, ingobernabilidad y corrupción entre otros, aumentan la vulnerabilidad de la población frente al fenómeno sísmico al no tomarse medidas que permitan prevenir, anticipar, mitigar o responder oportunamente frente a un sismo. Junto a lo anterior, en Villavicencio los diversos episodios de ingobernabilidad y de corrupción administrativa de la ciudad durante las últimas décadas, además de su crecimiento urbano desorganizado en este mismo tiempo, han permitido la proliferación de muchas construcciones con fines comerciales principalmente, que en muchos casos no cumplen con las mínimas normas de sismoresistencia, junto con la baja calidad de la vivienda en los sectores más vulnerables de la población aumenta la penalidad del sismo en el área urbana (Figuras 8 y 9).

## **DISCUSIÓN**

### ***El posible escenario de Riesgo***

Una ciudad que cuenta en la actualidad con cerca de 400000 habitantes, es posible que en menos de dos décadas cuente con más de 1 millón debido a la alta tasa de crecimiento tanto poblacional como económico que ha tenido en las tres últimas décadas. Esta proyección se basa en estudios que expertos sobre desarrollo y

planeación urbana como por ejemplo el IGAC, y el ITC de Holanda (Turkstra, 1998; Gobernación del Meta - IGAC, 2004), han realizado en el transcurso de los últimos 20 años. Esta proyección de crecimiento, conlleva a que si no se toman medidas correctivas en el corto plazo su escenario post - desastre con la ocurrencia de un sismo con magnitud ( $M = 6,5$ ) cuyo epicentro tenga una localización similar a la del evento de 1917 en el Presente, juntando aspectos como la geología, la tectónica, la sismicidad, la geotecnia y la población vulnerable, produciría al menos 1000 víctimas fatales en la ciudad y 1500 en la región al momento de la ocurrencia del terremoto. 2000 más morirían en las ruinas de los edificios colapsados en la siguiente semana si no son rescatados oportunamente. Al menos 50000 personas serían heridas y cerca de 300000 personas se encontrarían damnificadas en Villavicencio y la región vecina a la ciudad. La ciudad se paralizaría, ya que se encontraría sin servicios públicos por lo menos en un lapso de tiempo que superaría los 3 meses, considerando el estado actual de su infraestructura de servicios públicos, la cual es deficiente en muchos aspectos técnicos en toda la ciudad. Fugas de gas producirían incendios locales produciendo algunas víctimas por esta causa e incrementando pérdidas materiales. La carretera Bogotá - Villavicencio quedaría bloqueada por un sinnúmero de corrimientos de masa y eventuales desbancamientos de tramos de la vía, por lo que se retrasaría una oportuna atención externa, en este caso desde Bogotá y el centro del país. Este último factor incrementaría el número de víctimas. Las pérdidas materiales, conforme a la zonificación sísmogeotécnica indicativa ya realizada a la ciudad, teniendo en consideración además al 25,7 % de la población con déficit convencional de vivienda y un previo trabajo de la vulnerabilidad de las construcciones de la ciudad con las amenazas naturales en función de la calidad de los edificios de esta (Figuras 8 y 9), según Turkstra, (1998), ascendería a cerca del 70 % en el área urbana, siendo ruina total el 30% de sus edificaciones.

Las pérdidas económicas serían como mínimo tres veces superiores a lo que en su época representaron las pérdidas económicas en el Sismo del Quindío de enero 25 de 1999. El sector agroindustrial local se paralizaría y a nivel regional la emergencia con el cierre del corredor vial principal entre la Orinoquía y el resto del país que es la carretera Bogotá –Villavicencio, produciría pérdidas económicas y encarecería sustancialmente productos tanto para la región, como para el país por un lapso de tiempo no inferior a varios meses mientras se recupera la carretera para el tráfico pesado. Las pérdidas por efecto del sismo superarían fácilmente 3 puntos del PIB.

Es posible que el potencial de generación económica que la ciudad tenía al momento del sismo se consiga recuperar en menos de un lustro, pero su recuperación en un sentido urbano, considerando que en esta impera un estrato socio económico bajo en más de la mitad de su población y presenta una mala planificación urbana, junto con la falta de un POT realizado acorde a un plan de reacción a largo plazo, podría ser superior a una década, teniendo presente que esta misma situación ya se ha observado en otras ciudades de Colombia como Armenia y Popayán, en las cuales la severidad del fenómeno pudo ser un poco menor a la aquí expuesta de manera hipotética para Villavicencio, teniendo en cuenta para este caso que la no inversión en la prevención de un sismo, cuesta más a largo plazo que la misma inversión que se realiza en el mismo lapso para mejorar la calidad de vida y el desarrollo sostenible de sus habitantes.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Este estudio ha expuesto la vulnerabilidad de Villavicencio ante un sismo local de magnitud similar a los ocurridos en el Departamento del Quindío en 1999 y en el municipio de Tauramena, en el Departamento de Casanare en 1995. Con el escenario de riesgo hipotético expuesto en este trabajo se puede comprobar la gran vulnerabilidad de la ciudad frente a un sismo de gran magnitud cuya sismofuente se presente a una distancia inferior a 30 km, tal como lo estableció la zonificación sismogeotécnica indicativa de Villavicencio presentada por INGEOMINAS a la Alcaldía de Villavicencio en 2003. Para la realización de este escenario de riesgo se tuvieron en cuenta para el área urbana aspectos geológicos, tectónicos, sismológicos, geotécnicos y socio – económicos.

Considerando la alta vulnerabilidad de la ciudad a un terremoto y teniendo presente el desinterés que las autoridades locales tienen con respecto a la amenaza sísmica alta en la ciudad, principalmente por la falta de visión y de planificación a largo plazo, la academia junto con otros actores sociales como el sector privado y los medios de comunicación, deberán conseguir dar validez a lo exigido al sector gubernamental local por el Decreto 919 de 1989 y la Ley 83 de 1998, para conseguir fortalecer los requerimientos exigidos en el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres con respecto a este tipo de amenaza natural en la ciudad. Esta validez se conseguirá exigiendo de manera permanentemente a las autoridades tanto regionales como locales, su cumplimiento con dicha normatividad, con el fin de tomar medidas de prevención

y de mitigación de la amenaza sísmica en la ciudad y el sector del Departamento del Meta que corresponde al Piedemonte Llanero. Se deberá exigir igualmente en el mismo sentido, apoyo al sector gubernamental para conseguir la instalación y puesta en marcha de una red sismológica local, la cual cumplirá una función importante en la prevención y mitigación de la amenaza sísmica para el mediano y largo plazo. Conforme la normatividad, el sector gubernamental local, deberá dar apoyo en la realización de campañas educativas y talleres en las comunidades más vulnerables, con el fin de prevenir y mitigar los efectos indeseables de un sismo para el área urbana de la ciudad de Villavicencio, para que con sus resultados se consiga en el corto plazo, desarrollar una ciudad segura, propendiendo porque se realice en ella una planificación territorial adecuada a su amenaza sísmica, respetando igualmente con ésta, la aplicación de la norma sismorresistente vigente, e impulsando del mismo modo los estudios que completen la microzonificación sismogeotécnica de la ciudad, la cual deberá adaptarse a su plan de ordenamiento territorial. Estos trabajos serán liderados por la academia y entidades estatales como el IGAC e INGEOMINAS. La ocurrencia de un sismo en Villavicencio con las características expuestas aquí es inevitable, pero si se comienzan a seguir estas recomendaciones cumpliéndolas a cabalidad en el corto plazo, es posible que si el sismo expuesto aquí ocurra dentro de 10 o más años, los efectos letales de este sobre la población disminuyan hasta en más de un 75 %.

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo es el resultado de las investigaciones y labores realizadas encaminadas a difundir el alcance de amenaza sísmica en la ciudad de Villavicencio y el Piedemonte Llanero del Departamento del Meta, a diversos estamentos sociales como la academia, la sociedad civil y el sector gubernamental de Villavicencio y el departamento del Meta, por parte de investigadores de los Grupos de Investigación “Estudios sobre Riesgo Sísmico y Amenazas Naturales del Piedemonte llanero” de la Corporación Universitaria del Meta de Villavicencio, el Grupo de Geofísica del Departamento de Geociencias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, y el Grupo Geofísica de la Dirección Nacional de Investigaciones del Universidad Antonio Nariño igualmente de Bogotá, junto con el apoyo de la Asociación Latinoamericana y del Caribe en Geociencias – GEOSLAC y las Fundaciones Kinkaju y Nueva Herencia de Villavicencio. El agradecimiento es para Omar Agudelo del CEPREVE de la Universidad

Nacional de Colombia en Bogotá y para Andrés Alfaro Castillo de la Universidad de La Salle también de Bogotá, los cuales han participado igualmente en esta labor. Se agradece además a los estudiantes, profesores y autoridades de la Corporación Universitaria del Meta, y a muchas personas de la ciudad de Villavicencio que de alguna u otra manera nos han apoyado con esta labor desde principios de 2006 hasta la fecha.

## REFERENCIAS

- AIS – INGEOMINAS. 1996. Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia: Santa Fé de Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - AIS 300, Octubre 1996. 252 p.
- Alfaro, C, A. y Ramos, A. 2000. Fuentes Sismogénicas y deslizamientos en Villavicencio para la Microzonificación Sísmica. *Revista Ingeniería y Universidad*, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C. Vol. 4, N° 2, pp. 42 - 51.
- Caneva, R, A. I. 2002. Magnitud representativa del catálogo de sismos en Colombia. *Revista Ingeniería y Universidad*, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C. Vol. 6, N° 1, pp. 9 – 18.
- CENAC. 2009. Boletín Estadístico, Contexto Sectorial Villavicencio – Meta. Bogotá D. C. Centro de Estudios de la Construcción y el Desarrollo Urbano y Regional- CENAC: <http://www.cenac.org.co>
- Chicangana, G., Vargas - Jiménez, C. A., Kammer, A., Hernández, H, T. A. y Ochoa, G, L. H. 2007. Caracterización Sismotectónica Regional Preliminar de un sector del Piedemonte Llanero colombiano: Corredor San Juan de Arama – Cumaral, Meta. *Boletín de Geología - UIS*, Vol. 29, N° 1, pp. 61 – 74.
- Chicangana, G., Vargas - Jiménez, C. A., Kammer, A., Hernández, H, T. A. y Ochoa, G, L. H. 2008. Aspectos Geotectónicos y Sismotectónicos del Sistema de Fallas de la Falla Frontal de la Cordillera Oriental, Centro de Colombia. *XIII Congreso Latinoamericano de Geología*, Lima, Perú. Volumen de Memorias (CD – Room).
- Chicangana, G. y Kammer, A. 2009. A un modo preliminar sobre la evolución tectónica de la Cordillera Oriental de Colombia: 1. Del Océano Iapeto a la Pangea. *XII Congreso Colombiano de Geología*. Volumen de Memorias (CD – Room).
- Cifuentes, H. G., Sarabia, A. M., Robertson, K. G. y Dimaté, A. C. 2006. Parámetros Macrosísmicos del Sismo de 1917 en Colombia. *II Congreso Latinoamericano de Sismología*. Volumen de Memorias (CD – Room).
- DANE. 2008. Censo General 2005, Nivel Nacional. Bogotá D. C. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 501 p. <http://www.dane.gov.co/censo/files/libroCenso2005nacional.pdf>
- Espinosa, A. 2004. Historia Sísmica de Colombia (1550 – 1830). Gedes – Uniquindío (En CD – Room).
- Gobernación del Meta – IGAC. 2004. El Meta: Un territorio de oportunidades. Instituto Geográfico “Agustín Codazzi”. Bogotá. (En CD – Room).
- Gómez C, A. y Salcedo, E. 2000. Determinación de la profundidad focal de algunos sismos ocurridos en Colombia a partir de datos macrosísmicos. *Revista Red Sismológica Regional Eje Cafetero Viejo Caldas y Tolima*. N° 5, pp. 12 – 16.
- INGEOMINAS. 2007. Boletín de Sismos 1993 – 2007. INGEOMINAS – Red Sismológica Nacional de Colombia.
- INGEOMINAS. 2008. El Sismo de Quetame del 24 de mayo de de 2008. Aspectos Sismológicos y Evaluación preliminar de daños. Informe Preliminar N° 2. INGEOMINAS - Red Sismológica Nacional de Colombia: [http://seisan.ingeominas.gov.co/Info\\_quetame.pdf](http://seisan.ingeominas.gov.co/Info_quetame.pdf)
- López, C, R. O. 2005. Evaluación Neotectónica aplicada a los depósitos cuaternarios del Piedemonte Llanero en los alrededores de la ciudad de Villavicencio. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias. Tesis de grado. 135 p. Anexos. Bogotá D.C.
- Maya, M. 2001. Distribución, facies y edad de las rocas metamórficas de Colombia. INGEOMINAS, Bogotá D. C. Informe 2426, 57 p.
- Mora, A., Parra, M., Strecker, M. R., Kammer, A., Dimaté, C. and Rodríguez, F. 2006. Cenozoic contractional reactivation of Mesozoic extensional structures in the Eastern Cordillera of Colombia. *Tectonics*. Vol. 25, N° 2, TC2010 doi:10.1029/2005TC001854

Ojeda, J. y Alvarado, C. 2005. Zonificación Sismogeotécnica Indicativa de la Ciudad de Villavicencio. *II Seminario de Ingeniería de la Orinoquia y el Piedemonte Llanero*. Sociedad de Ingenieros, Capitulo Meta. Villavicencio, Colombia. Memorias (CD – Room).

París, G., Machette, R., Dart, R. L. and Haller, K. M. 2000. Database and Map of Quaternary faults and folds of Colombia and its offshore regions, Open – File Report 00 – 0284: <http://www.pubs.usgs.gov/of/2003/opf-00-0284>

Ramírez, J. E. 1975. Historia de los Terremotos en Colombia, IGAC, 250p.

Robertson, K. 2005. Evidencias de Neotectónica reciente para el Piedemonte Llanero, sector Meta – Casanare. *X Congreso Colombiano de Geología. Memorias* (CD – Room), Bogotá. D.C.

Scholz, C. H. 2001. The Mechanics of Earthquakes and Faulting. Cambridge University Press, 470 p.

Turkstra, J. 1998. Urban Development and Geographical Information, Spatial and temporal patterns of urban development and land values using integrated geo – data, Villavicencio, Colombia. *ITC Publication Series*. Enschede, Netherlands. 60, 268 p.

Vargas – Jiménez, C. A., Caneva, R. A. y Montes, V. L. A. 2007. ¿Debe monitorearse la sismicidad de la Sabana de Bogotá y sus alrededores?. XI Congreso Colombiano de Geología Memorias (CD – Room)

Velandia, P. F., Terraza, M. R. y Villegas, V. H. 2001. El Sistema de Fallas de Algeciras hacia el suroeste de Colombia y la actual transpresión de los Andes del Norte. VIII Congreso Colombiano de Geología. Memorias (CD – Room).

---

---

Trabajo recibido: Mayo 21 de 2010

Trabajo aceptado: Junio 21 de 2010