

# **El posible escenario por la ocurrencia de un sismo con Magnitud $\geq 6.5$ para la ciudad de Villavicencio, Colombia**

**Germán Chicangana\***

**Carlos Alberto Vargas – Jiménez\*\***

**Alexander Caneva\*\*\***

\*Centro de Investigaciones de Ingenierías y Arquitectura “Rogelio Salmona”, Vicerrectoría de Investigaciones, Corporación Universitaria del Meta, Villavicencio, Colombia.

\*\*Departamento de Geociencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C.

\*\*\*Dirección Nacional de Investigaciones, Universidad Antonio Nariño, Bogotá D.C., Colombia.

## **Resumen**

Para la ciudad de Villavicencio, Colombia, su amenaza sísmica ha sido definida como alta desde su estudio de microzonificación sísmica. En este trabajo se muestran aspectos morfotectónicos y sismológicos que corroboran esto y se exponen las posibles consecuencias que dejarían para la ciudad la ocurrencia de

un sismo de gran magnitud, ya que su vulnerabilidad se incrementa por las fallencias en su infraestructura, la falta de planes gubernamentales frente a este tipo de contingencia tanto en prevención como en atención y a que su población no está preparada para este tipo de amenaza natural.

**Palabras Claves:** Amenaza Sísmica, Villavicencio, Colombia, Gestión de Riesgo, Desarrollo Sostenible, Escenario Post - Desastre.

**O possível cenário pela ocorrência de um sismo de magnitude  $\geq 6.5$  para a cidade de Villavicêncio, Colômbia**

## **Resumo**

Na cidade de Villavicêncio, Colômbia, a ameaça sísmica tem sido definida como 'alta' desde o seu estudo de microzonificação sísmica. Neste trabalho mostram-se aspectos morfotectônicos e sismológicos que corroboram dita ameaça e expõem-se as possíveis consequências que deixaria a ocorrência de um sismo de grande magnitude na cidade, pois sua vulnerabilidade se incrementa devido às falências na sua infra-estrutura e pela falta de planejamento governamental frente a esse tipo de contingência tanto na prevenção e na atenção de desastres, quanto à não preparação da sua população para esse tipo de ameaça natural.

**Palavras Chave:** Ameaça sísmica, Villavicêncio, Colômbia, Gestão de Risco, Desenvolvimento sustentável, Cenário pós-desastre.

## **The possible scene by an earthquake $M \geq 6.5$ in Villavicencio, Colombia.**

### **Abstract**

In Villavicencio, Colombia, the seismic hazard was defined how high by his seismic microzonification study. In this paper show morph tectonic and seismologic aspects that confirmed this, and are exposed the possible consequences that for the city would leave the occurrence of a big earthquake because to that his vulnerability is increased by his poor infrastructure, absence of governmental plans in front this theme booth in prevention like attention, and that his inhabitants not be prepared for the seismic hazard.

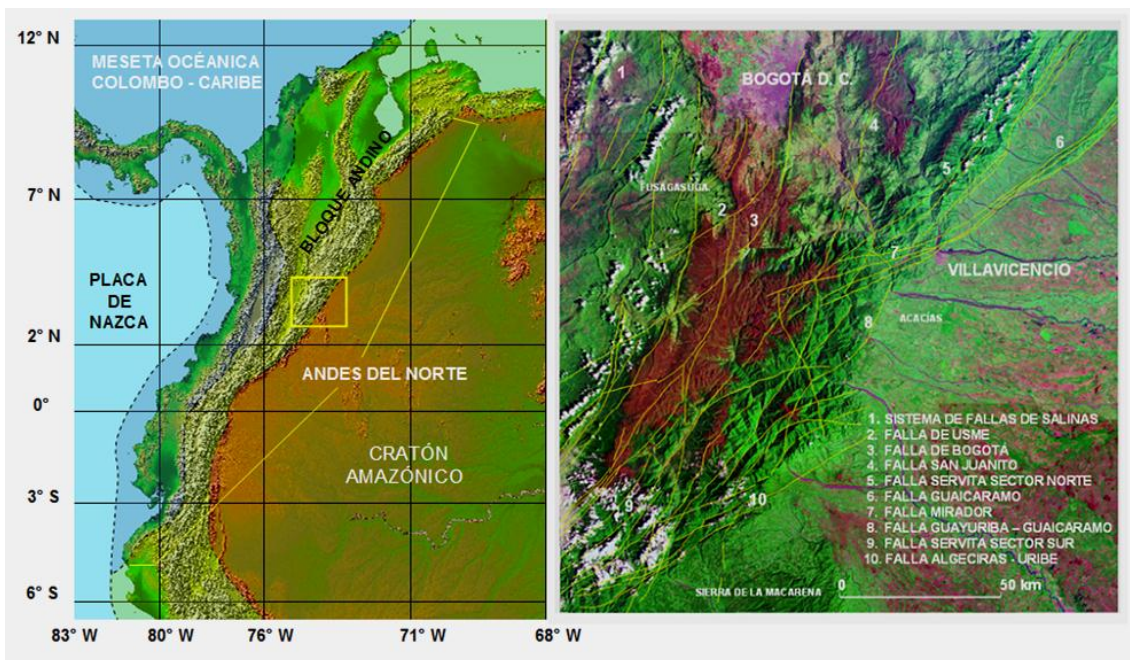
**Key words:** Seismic Hazard, Villavicencio, Colombia, Risk Management, Sustainable Development, Post – disaster scenario.

\*Dirección Postal: Carrera 33 N° 34 – 06, Piso 7, Villavicencio, Colombia

Correo electrónico: gechicanganam@unal.edu.co,  
german.chicangana@unimeta.edu.co

### **Introducción**

La ciudad de Villavicencio está ubicada en el centro de Colombia (Figura 1), tiene más de 450.000 habitantes de acuerdo a la proyección sobre su crecimiento poblacional que para 2012 ha estimado el DANE (2005). La ciudad es el principal centro administrativo y económico de la Orinoquía colombiana. Su amenaza sísmica más que justificada, se debe a que esta se encuentra asentada por donde cruzan las fallas del Sistema de Fallas del Piedemonte Llanero (AIS - INGEOMINAS, 1996), técnicamente denominado por París et al. (2000) como el Sistema de Fallas de la Falla Frontal de la Cordillera Oriental (SFFFCO). Este sistema de fallas es reconocido como uno de los más importantes de los Andes del Norte (Figura 1), ya que su marco tectónico conforme una valoración previa de sus aspectos neotectónicos, pone en evidencia su movilidad para lapsos de tiempo



**Figura 1.** El centro de Colombia en una ubicación regional para los Andes del norte, a la izquierda. A la derecha, Imagen tipo LANDSAT TM - 5 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 con Chicangana et al. (2007).

muy recientes en términos geológicos en comparación con otros marcos tectónicos activos del territorio colombiano o de los Andes. Frente a esto, Robertson (1989 y 2005) ha puesto ya de relevancia las evidencias de tectónica activa de estas fallas y aquí se muestran aspectos relacionados a la tectónica activa que justifican la vulnerabilidad de la ciudad frente a un sismo de grandes dimensiones con consecuencias mayores a las presentadas ya en Colombia en otras ciudades que han sufrido terremotos en época reciente, como Popayán en 1983 y Armenia en 1999. En este trabajo se exponen además, los aspectos geotécnicos del suelo en donde se ha desarrollado la ciudad, un análisis de los registros sismológicos instrumentales existentes para la región y los aspectos socio - económicos y gubernamentales, que contribuyen igualmente a incrementar la vulnerabilidad de la ciudad frente un sismo. Con los resultados de este análisis se hace una descripción de un posible escenario post-sísmico resultante de los efectos de un sismo con magnitud  $M \geq 6.5$ . Aquí se estima como magnitud mínima 6.5 debido a que las fallas que se presentan en esta región en términos de tamaño, tipo y al significado que tiene el SFFFCO en el contexto

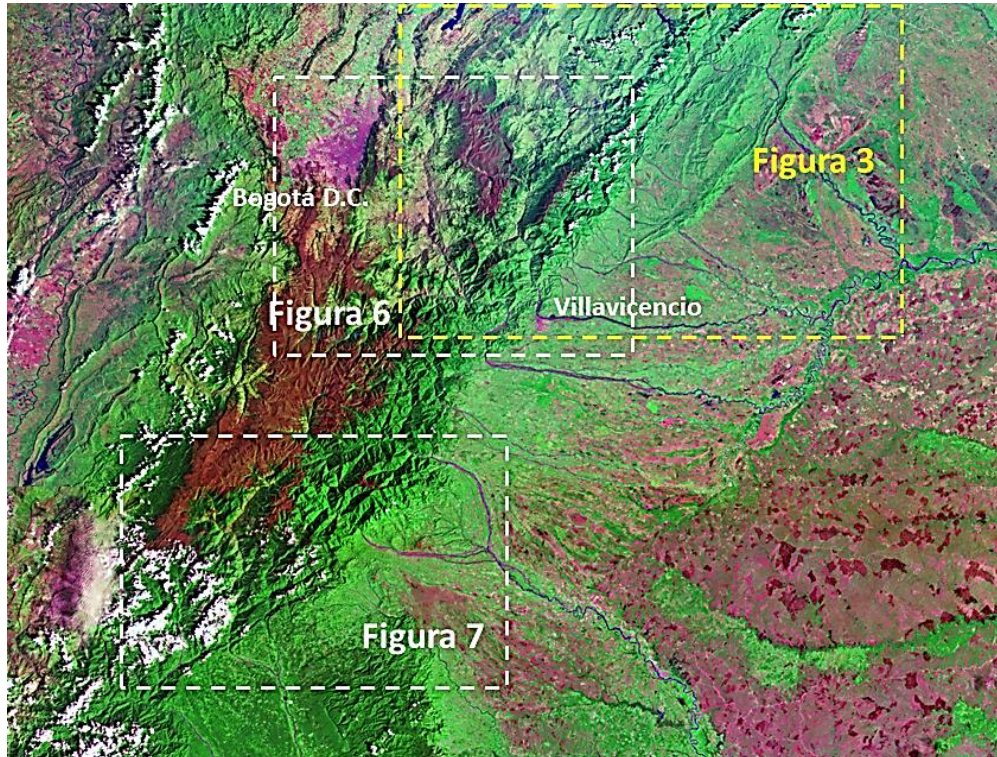
geotectónico del noroeste de Suramérica, sí bien es justificado, es posible que por las dimensiones de estas y lo encontrado en estudios precedentes tanto desde sus características geotectónicas como sismológicas en comparación a otros escenarios andinos, esta magnitud esperada podría ser mayor. Con respecto al marco geotectónico de esta región, hay que tener en cuenta que el territorio continental colombiano se conforma de oeste a este por tres placas diferentes que son en su orden, la placa Caribe, el Bloque Andino y el Cratón Amazónico o placa suramericana (Figura 1). La sismicidad en Colombia se debe al empuje que ejerce en las placas continentales la placa de Nazca al subducir bajo el continente. Cómo el SFFFCO es un límite de placas entre el Bloque Andino y la placa suramericana, la movilidad resultante de este empuje en las placas se incrementa en esta región generando una alta sismicidad. Al tener en cuenta esta situación, el Servicio Geológico Colombiano - INGEOMINAS, en los ajustes que se le están haciendo a la microzonificación sismogeotécnica de las ciudades colombianas y conforme a la norma sismo resistente vigente que es la correspondiente al año 2010 (NSR – 10), ha estimado para Villavicencio una magnitud mínima de 7.0 (Carlos Alvarado, comentario personal). Entonces los autores de éste artículo somos benevolentes en este sentido y aun así con 6.5 de magnitud mínima, el ejercicio sobre el escenario que exhibe este artículo es real y no subestimado, aunque de todas maneras podría serlo teniendo presente las consideraciones geotectónicas y sismológicas que exponemos enseguida aquí.

### **Evidencias Neotectónicas de las fallas del SFFFCO cercanas a Villavicencio**

El término *neotectónica* define a la deformación cortical que ha ocurrido solo para el lapso comprendido entre finales del Plioceno Superior y el Presente (Diederix, 2001), es decir corresponde la deformación de la corteza que se desarrolló en los últimos 2,5 millones de años. De otro modo, por *neotectónica* entendemos los indicios de movilidad tectónica que sí bien están algo borrados en sus huellas por el paso del tiempo, la mayoría de los autores coincide que se refiere a rasgos de actividad tectónica cuyo último episodio ocurrió para un tiempo mínimo de miles a máximo de un par de millones de años antes del Presente, pero que aun es activo en la actualidad. En síntesis, *neotectónica* abarca a la movilidad tectónica que deriva del régimen de esfuerzos que dio origen a las fallas activas o a la reactivación de fallas más antiguas y que hoy son activas o son susceptibles de movilizarse en un futuro próximo (Martínez, 1998).

La actividad neotectónica de un lugar se manifiesta por evidenciarse en su paisaje rasgos relacionados a la actividad de fallas próximas o incluidas dentro de este. De la misma manera, el término *tectónica activa* es el que pone en consideración a una estructura o falla que se haya movido en miles de años y que podrá eventualmente generar un sismo en un lapso de tiempo futuro, ósea que significa lo mismo que *neotectónica*. En la región de estudio son claros los rasgos neotectónicos de las principales fallas del SFFFCO y para su análisis tomamos en consideración las fallas pertenecientes a este sistema próximas a Villavicencio que manifiestan evidencias de neotectónica (Figuras 2, 3, 6 y 7). La liberación de esfuerzos en las fallas de cabalgamiento que conforman el SFFFCO (Chicangana et al., 2007), es bastante similar desde el punto de vista sismológico al definido en

Argentina para la falla La Laja en la Precordillera Oriental (Figuras 4 y 5). Esta última fue la responsable del Terremoto con  $M_S = 7,4$  que afectó a la ciudad de San Juan en enero de 1944 y produjo efectos catastróficos en esta (Perucca y Paredes, 2003; Meigs et al, 2006).

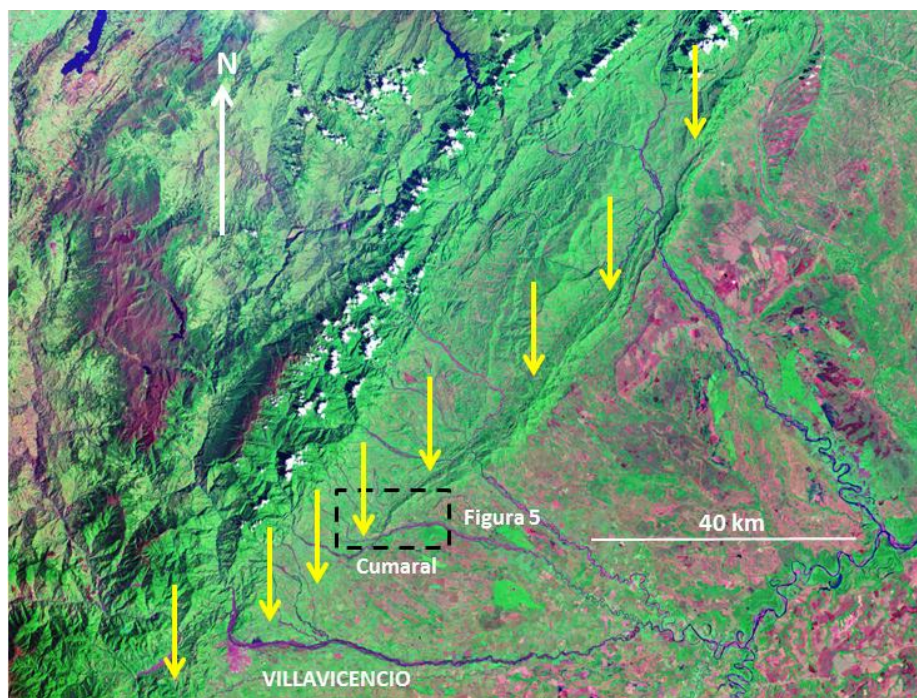


**Figura 2.** Imagen tipo LANDSAT TM - 5 (Véase figura 1) indicando con las áreas que abarcan las figuras 3, 6 y 7, la ubicación de los sectores correspondientes a las fallas del SFFFCO que contribuyen con la amenaza sísmica del centro de Colombia.

La gran dimensión de las fallas pertenecientes al SFFFCO, la relativa proximidad del basamento en esta región, junto con las evidencias neotectónicas y de



actividad morfotectónica puestas en evidencia en campo y desde el análisis morfotectónico apoyado por sensores remotos y fotogeología (Robertson, 1989, 2005; Vergara et al., 1996; París et al, 2000, Chicangana et al., 2007), hacen estimar que estos planos de falla son altamente activos y propensos a liberar sismos con gran magnitud ( $M \geq 6,5$ ) como en el caso argentino. Dimaté et al. (2003) establecieron desde el análisis de las réplicas del sismo de Tauramena de 1995 con  $M = 6,5$ , que este obedeció a la movilidad de dos planos antitéticos

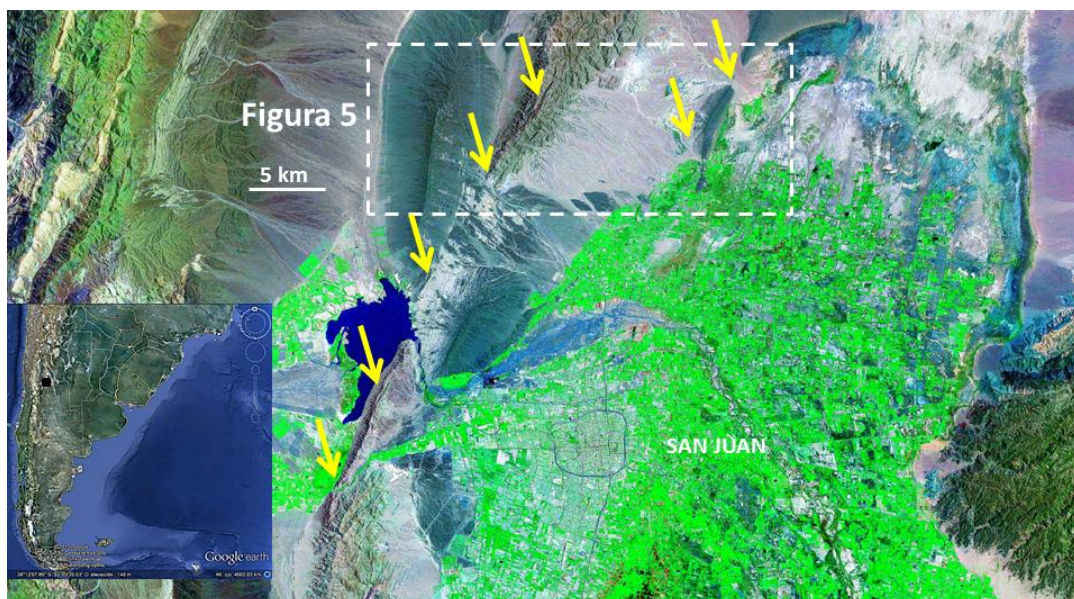


**Figura 3.** Imagen LANDSAT - 5 TM mostrando los rasgos morfotectónicos relacionados al trazo de la falla Guaicaramo (Señalado con las flechas). Sus rasgos morfotectónicos y neotectónicos ponen en evidencia la tectónica activa de esta estructura la cual constituye el frente orogénico denominado Serranía de Las

Palomas (Indicada con las flechas), cuyo extremo sur se ubica en el municipio de Cumaral a 25 km al norte de Villavicencio. Desde la parte superior derecha se observan de arriba hacia abajo y de derecha a izquierda, los ríos Upía, Humea, Guacavía, Upín y Guatiquía. La alteración del curso de los ríos pone en evidencia la presencia del trazo de la falla entre el sur de Villavicencio y Cumaral.

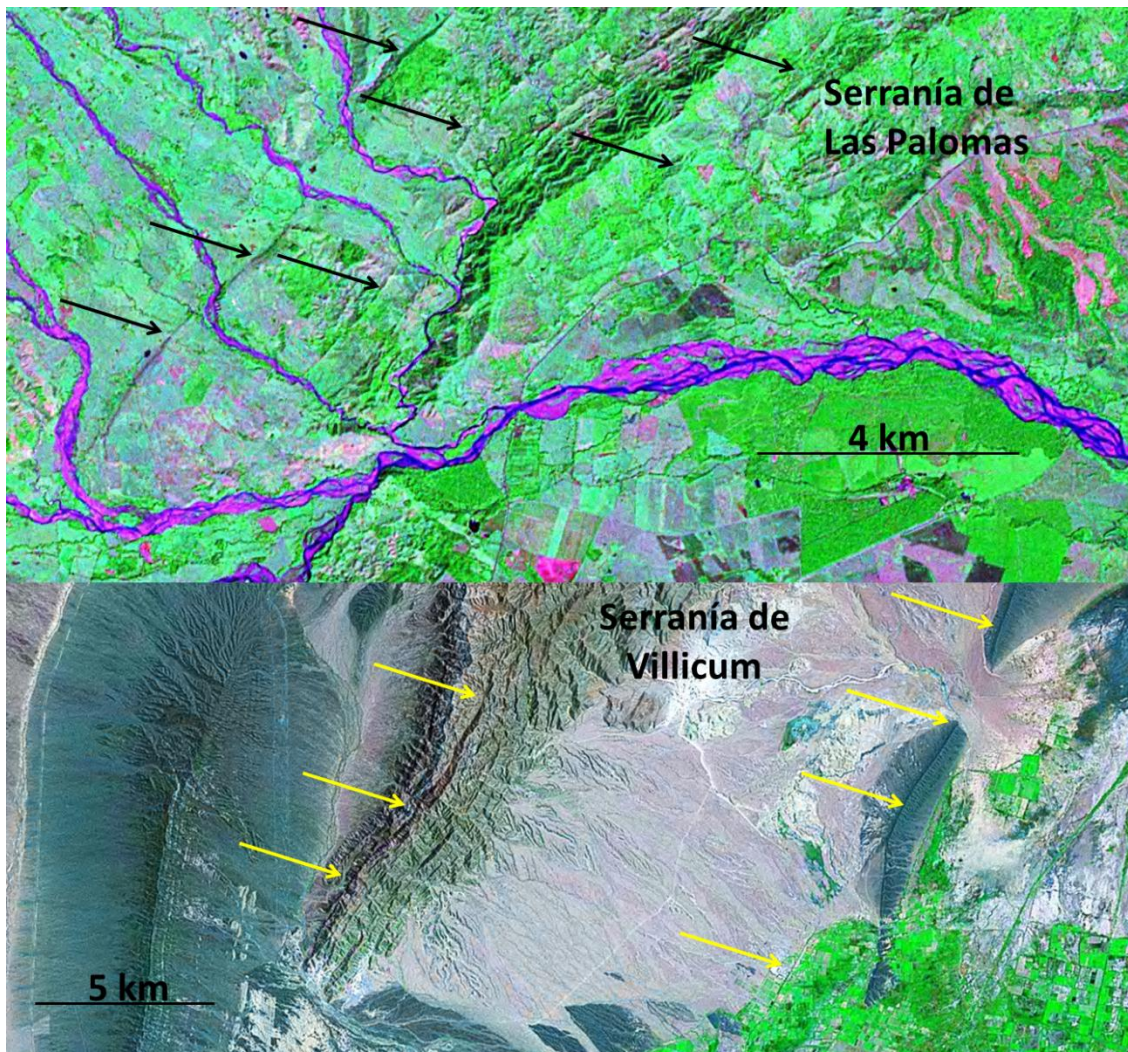
(planos perpendiculares al plano de la falla) y no en un solo plano. El frente de deformación que da origen a la Serranía de Las Palomas al noreste de Villavicencio está definido por el plano de la falla Guaicaramo (figura 3) y este ha servido de punto de apoyo o backstop, para deformar toda la corteza hacia el oeste de esta estructura dando lugar al levantamiento de todas las unidades geológicas que constituyen el subsuelo de este sector. Esta falla tiene una longitud aproximada de 130 km y pertenece a su segmento sur de acuerdo a París et al. (2000). La edad del desarrollo de esta deformación está dada en un orden de centenares de miles a menos de 2 millones de años debido a que las gravas y conglomerados relacionados con la Formación Guayabo Superior o Corneta que abarcan el lapso Plioceno - Pleistoceno?, están deformados y presentan disconformidades con rocas de edad más reciente, siguiendo en este criterio a Parra (2008) quien se basó en la biozonación palinológica reconocida en estos sedimentos. Los indicadores morfotectónicos como la asimetría de cuencas y la sinuosidad de un frente montañoso indican un estado de movilidad tectónica. Con esta última, se refleja el balance entre las fuerzas erosionales que tienden a cortar la configuración del frente montañoso y las fuerzas tectónicas que tienden a producir un frente montañoso resistente, el cual coincide con el trazo de la falla

activa que lo configura (Keller y Pinter, 1996). Este último indicador define igualmente la relación entre la tasa de erosión versus la movilidad tectónica. Dicha movilidad tectónica produce para este tipo de escenario, que los drenajes discurren de forma perpendicular u oblicua al rumbo del frente montañoso y converjan en un gran río longitudinal cerca a este frente en donde los productos detríticos (arenas y gravas) se concentren cerca al mismo por subsidencia del foreland o antepais (Burbank y Anderson, 2001). Todo esto deja en claro que el paisaje desarrollado en esta región obedece al accionar de la tectónica activa. El río longitudinal al frente montañoso en particular es el que forman en éste caso los ríos Guatiquía y Meta en proximidad a Villavicencio y los ríos que cruzan este frente deformado para confluir con este río longitudinal, son de sur a norte el Upin, Guacavía, Humea y el Upía (figura 3).



**Figura 4.** Imagen LANDSAT -7 ETM+ que muestra en Argentina a la ciudad de San Juan con la Serranía de Villicum al norte de esta. Las flechas indican los trazos de las fallas Villicum a la izquierda y La Laja a la derecha (Véase la figura 5 para mayor detalle). En el inserto el punto negro indica la situación de esta región en Argentina.

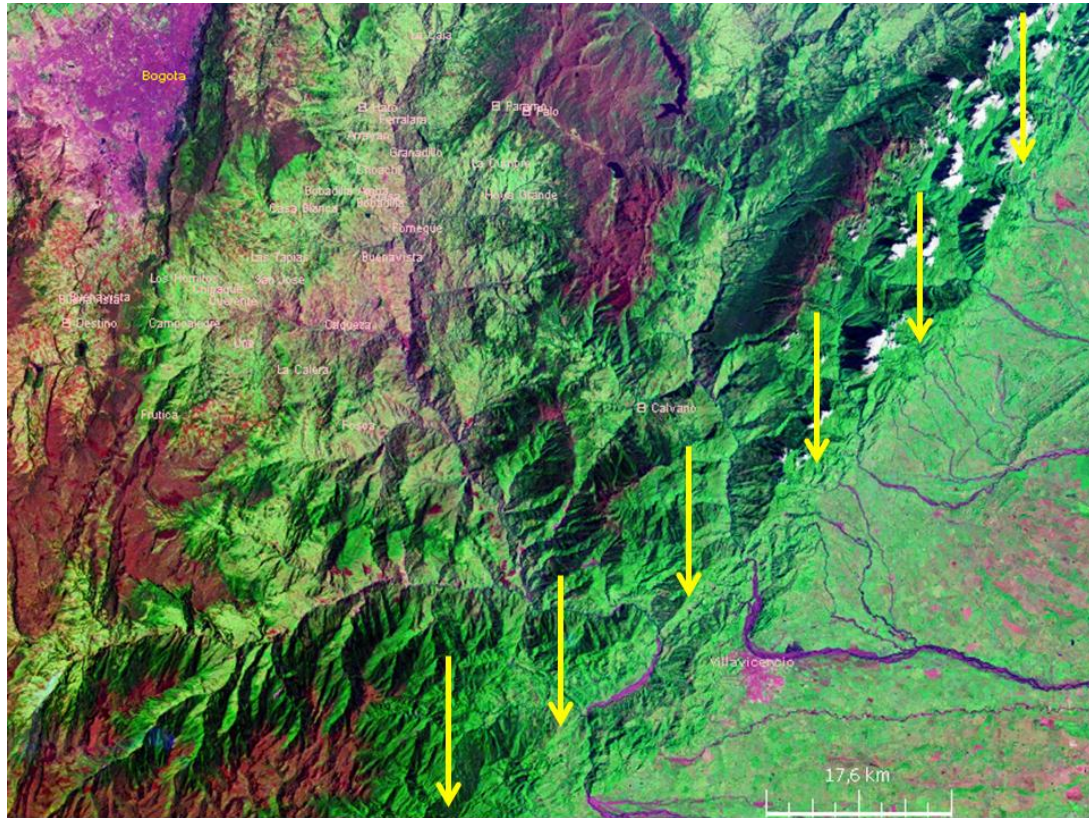
El contexto morfotectónico para la falla Guaicaramo en cercanías a Villavicencio, no es nada diferente en comparación al escenario argentino en donde se produjo el sismo de la provincia de San Juan en Argentina en 1944 (figuras 3, 4 y 5). Para este último caso el plano de falla se profundiza por pocos km y su ángulo de buzamiento es bajo en profundidad y alto hacia superficie, definiendo un cabalgamiento (Alvarado y Beck, 2006; Meigs et al., 2006). El resultado es que el frente de cabalgamiento para el caso argentino es activo tectónicamente debido a que los sedimentos que lo constituyen y cuya edad es inferior al Plioceno (Perucca y Paredes, 2003; Meigs et al., 2006), se encuentran deformados y cizallados. Para el caso colombiano la situación es similar aunque al parecer la estructura que gobierna el cabalgamiento a nivel general en esta región no es la falla Guaicaramo sino la Servitá de acuerdo a los modelos de retrodeformación de Mora (2006) y a lo verificado aquí desde el análisis fotogeológico con imágenes satelitales. De acuerdo a Mora (2006) el frente de cabalgamiento que da origen a la Serranía de Las Palomas, solo se accionó para dar origen a esta en los últimos 3 millones de años. Por consiguiente la serranía misma es la evidencia neotectónica del accionar de estas fallas en esta región.



**Figura 5.** Arriba, imagen LANDSAT - 7 TM+ con los trazos de fallas relacionados a la falla Guaicaramo en el extremo sur de la Serranía de las Palomas (figura 3) indicados por las flechas, como la falla Cumaral a la izquierda, la falla Guaicaramo al centro y la falla San Pedro a la derecha. Abajo, imagen LANDSAT - 7 TM+ mostrando los trazos de las fallas Villicum a la izquierda y La Laja la derecha al norte de la ciudad de San Juan en Argentina (figura 4). Para ambos casos son claros los rasgos morfotectónicos que ponen en evidencia la tectónica activa de

las fallas que definen un frente cabalgante. En el caso la Serranía de las Palomas el frente cabalgante va en sentido SE, mientras que para el sector de la Serranía de Villicum y sus vecindades, este va en sentido NW. El accionar del frente cabalgante de la Serranía de Villicum, el cual está compuesto por las dos fallas, produjo el sismo con  $M_S = 7.4$  que devastó a la ciudad de San Juan en 1944.

La falla Servitá (Figura 6) de acuerdo a Mora (2006) y Mora et al. (2010), es la estructura que gobierna el estilo de la deformación en este sector del Piedemonte llanero colombiano. Su longitud aproximada es de 138 km (Paris et al., 2000) y su estilo estructural es el de tener un buzamiento de alto ángulo cerca a superficie y ser listrica con bajo ángulo en profundidad (Chicangana et al., 2007). Parra (2008) indica que la tasa de propagación del orogeno para la cordillera Oriental durante el lapso Mioceno - Presente osciló entre 2 y 2.1 mm/año y el frente de deformación que controla la falla de Servitá se desarrolló en menos de 2 millones de años, teniendo presente que este último cálculo la edad de exhumación de las rocas de basamento de acuerdo a Mora et al. (2010).



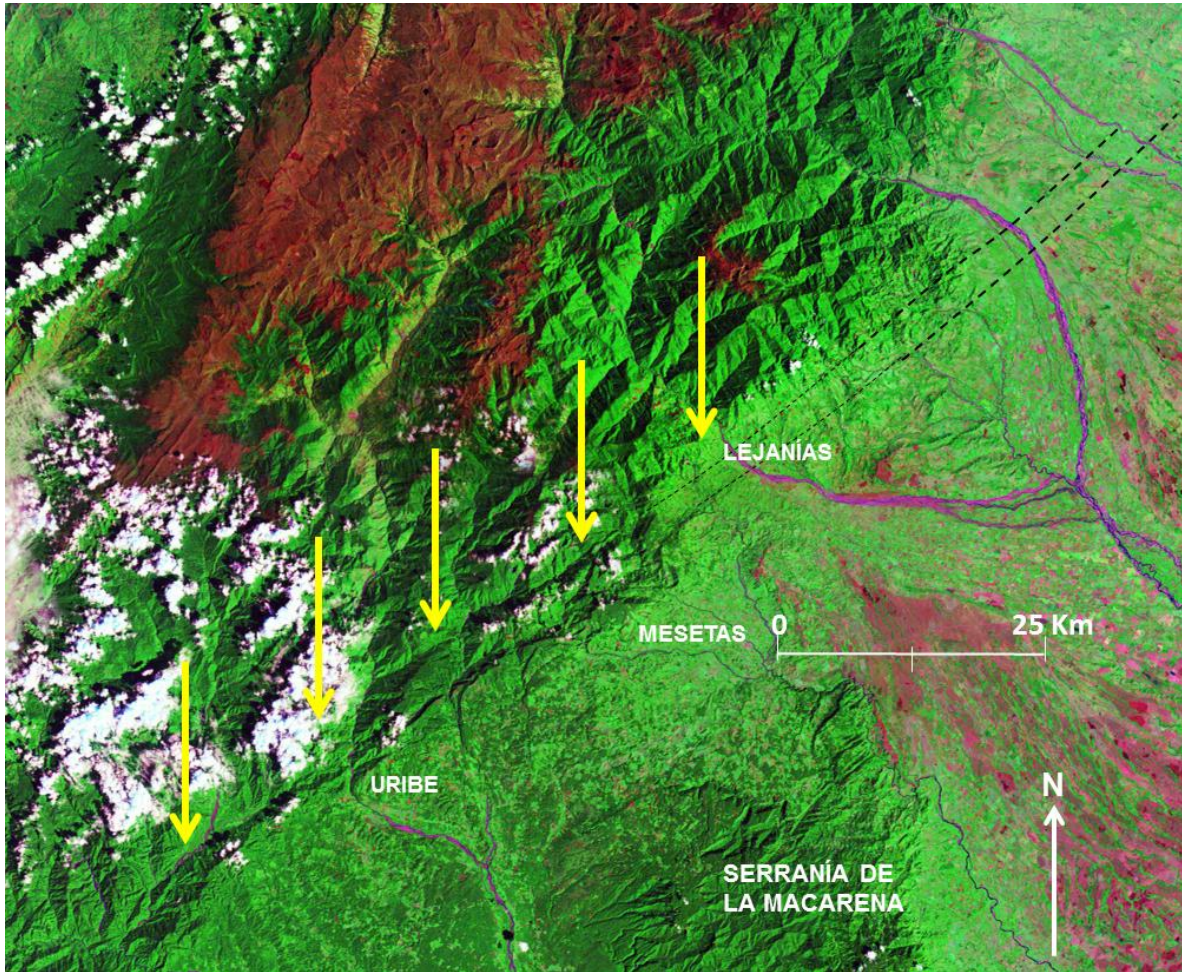
**Figura 6.** Imagen LANDSAT - 5 TM que muestra el rasgo estructural relacionado a la falla Servitá en cercanías a Villavicencio (flechas). Desde la parte superior derecha se observan de arriba hacia abajo y de derecha a izquierda, los ríos Humea, Guacavía, Upín, Guatiquía y Guayuriba. Nótese que esta estructura que define el cambio fuerte entre la topografía abrupta de la cordillera con la suave de la altillanura, controla estructuralmente el curso de los ríos Guatiquía y Guayuriba en el sector en que estos la cruzan, dejando de esta manera una evidencia clara de su alta actividad tectónica.

Los rasgos que muestra la falla desde la imagen satelital cerca a Villavicencio en la figura 6 dejan en claro que esta estructura es tectónicamente activa tal como

inicialmente Page (1986) y París et al. (2000), lo indicaron. En campo a lo largo de su trazo son evidentes los escarpes de falla pronunciados, los deslizamientos alineados al trazo, los valles colgados, el control estructural de los cauces de los ríos que la cruzan y las terrazas y mesas con depósitos levantados y deformados de edad Pleistoceno.

La falla Algeciras - Uribe cruza de manera oblicua a la cordillera Oriental desde el Piedemonte llanero al NE en el Departamento del Meta, hasta el valle alto del río Magdalena a SO en el Departamento del Huila. Este corredor de fallas presenta una longitud aproximada de 160 km (París et al., 2000), aunque Velandia et al. (2005)

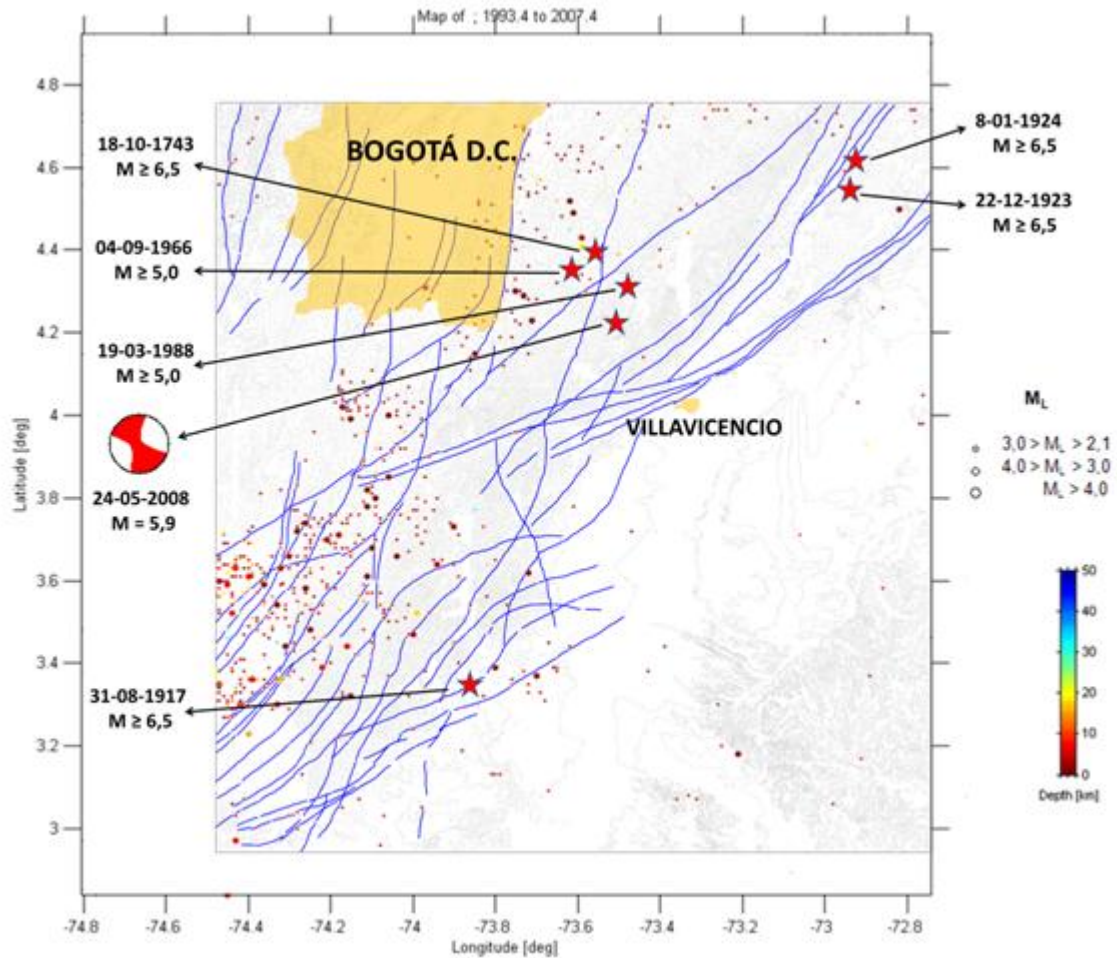




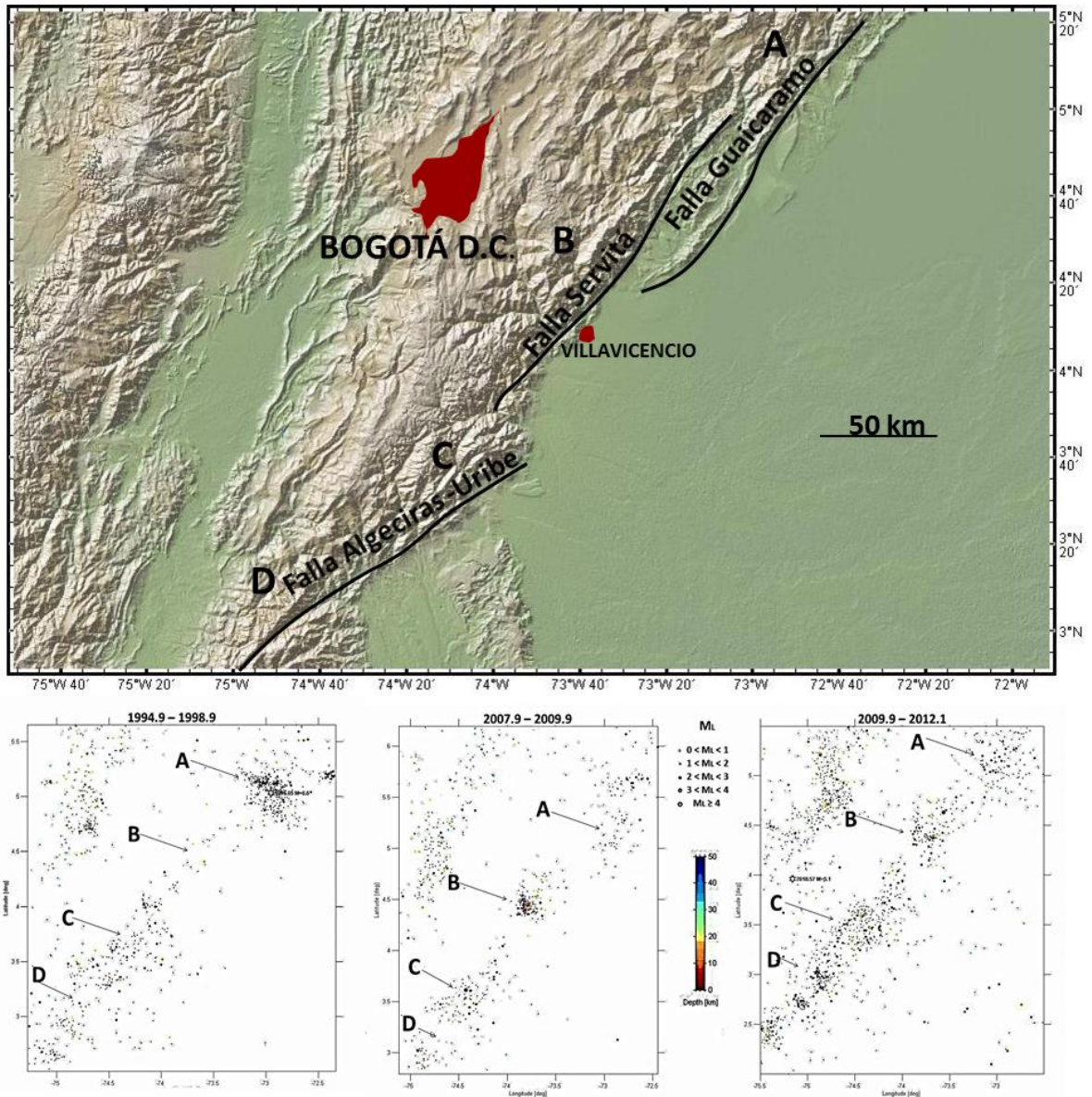
**Figura 7.** Imagen LANDSAT - 5 TM que muestran aspectos fisiográficos relacionados con los trazos de la falla Algeciras - Uribe en el municipio de La Uribe, 85 km al sur de Villavicencio. Desde la parte superior derecha se observan de arriba hacia abajo y de derecha a izquierda, los ríos Guamal, Ariari, Guape, Guejar y Duda. En la parte inferior derecha se observa como rasgo de relieve aislado al extremo norte de la Serranía de La Macarena. Las estructuras indicadas por las flechas son el extremo norte de la Falla Algeciras de acuerdo a París et al. (2000) y Velandia et al. (2005).

indican que es de 350 km. Los indicios de tectónica activa de esta falla están claramente expuestos por Velandia y Montes (2005) para un sector de la falla Algeciras al sur de nuestro sector de análisis (figura 7) y de igual manera París et al. (2000) establecen varios rasgos morfotectónicos que demuestran la actividad tectónica reciente de esta estructura. Desde el punto geológico, la falla Algeciras coloca en contacto el basamento Mesoproterozoico del Macizo de Garzón con rocas Paleógenas y del Cuaternario (Gómez et al., 2006). Se trata de un cabalgamiento en donde el basamento se exhibe al occidente y está controlado por la estructura. El Cuaternario presente en la estructura, el cual se observa para el sector correspondiente al municipio de Lejanías, de acuerdo a la información geológica que indican Gómez et al. (2006) consiste de abanicos aluviales disectados por los actuales ríos, deduciendo entonces que se trata de depósitos aluviales con edades que van desde el Pleistoceno Inferior a Superior. Al afectar la falla estos sedimentos se evidencia movilidad tectónica reciente para este sector en donde se observan escarpes de falla, valles colgados, drenajes controlados estructuralmente, junto con levantamiento y basculamiento de terrazas aluviales. Estos rasgos de tectónica activa son observables más que todo en las cuencas altas de los ríos Duda (municipio de Uribe), Guejar (municipio de Mesetas) y Guape (municipio de Lejanías). El cambio abrupto topográfico que se presenta entre la cordillera Oriental y la altillanura está controlado en esta región por la falla (figura 7).

### **Sismicidad de las fallas del SFFFCO cercanas a Villavicencio**



**Figura 8.** Grandes sismos históricos con las estrellas y detalle del registro de la sismicidad instrumental de la RSNC para el lapso 1993 - 2007 (INGEOMINAS, 2012) de la región de Villavicencio y el Piedemonte llanero del centro de Colombia con los círculos. Los epicentros de estos sismos históricos están soportados tanto desde la información histórica recogida de archivos y diversas fuentes como desde el registro de la instrumental de la Red Sismológica Mundial (CERESIS, 2012) para los sismos correspondientes al siglo XX previos al despliegue de la RSNC.



**Figura 9.** Arriba, modelo de elevación digital mostrando a las fallas Algeciras - Uribe, Servitá y Guaicaramo. Las letras indican las cuatro regiones por donde se emplazan los segmentos mayores de falla e ilustran abajo la variación temporal

para tres lapsos de tiempo del registro de la sismicidad instrumental con base en el catálogo de la RSNC para el lapso 1993 - 2012 (INGEOMINAS, 2012). Aquí se destaca una coincidencia en la disposición de los enjambres sísmicos con la ubicación de las estructuras.

Aquí se ha realizado una revisión y ajuste de la sismicidad histórica de esta región a partir de la compilación de varios catálogos (figura 8). Igualmente se exhibe también la sismicidad instrumental que ha registrado la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC) para el período 1993 - 2012 (Figura 9).

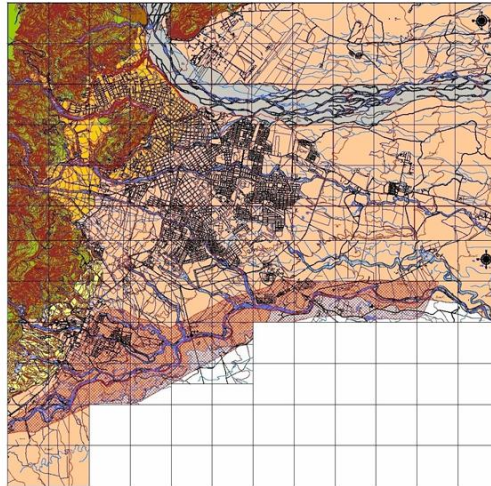
La sismicidad histórica está debidamente soportada por diversos autores como Ramírez (1975) y Espinosa (2004) entre otros, pero en concreto para esta región se destaca el trabajo de Sarabia et al. (2010), el cual es muy puntual con el objetivo de este trabajo. Con respecto a la sismicidad instrumental del siglo XX para antes de la instalación y despliegue de la RSNC, se destaca la información compilada por CERESIS (2012) y el estudio con respecto a la falla Algeciras que realizaron Dimaté et al. (2005) sobre el sismo del 9 de febrero de 1967 (IRIS, 2012).

Con respecto al registro instrumental de la RSNC, esta solo muestra la sismicidad en un ámbito regional pero ayuda a visualizar la sismicidad de las tres principales fallas exhibidas aquí. Salvo la ocurrencia del sismo de Quetame del 24 de mayo de 2008 desde un contexto local para Villavicencio, solo el sismo de agosto 31 de 1917 es el único antecedente histórico importante que ha hecho que la amenaza sísmica para la ciudad se considere alta. Con la incertidumbre que se presenta

para esta región y para Bogotá la ocurrencia de un gran sismo asociado principalmente a las fallas Servitá o Guaicaramo por ser estas las más próximas a Villavicencio, es hasta la fecha imposible realizar pronósticos para indicar cual de estas fallas accionará un gran sismo en un futuro cercano, debido a la carencia de un registro previo de sismicidad instrumental local que tenga una duración de más de dos décadas para dichas fallas. La quiescencia o período intersísmico es aquel que nos indica el tiempo requerido para la acumulación de esfuerzos en un sector de la corteza inestable, como por ejemplo una zona de falla, la cual es el límite entre dos bloques o fragmentos de esta. El movimiento brusco de estos produce la liberación espontánea de dichos esfuerzos generando con ello el sismo (Scholtz, 2002). El tamaño de la zona desplazada de manera espontánea está directamente relacionada con la magnitud del sismo. Entre más grande sea esta, mayor será su magnitud (Brune, 1970). Con la RSNC hasta ahora solo se ha conseguido verificar desde un ámbito regional sismos con focos cuya profundidad es menor a 50 km que están asociados a las regiones de influencia de las fallas Algeciras - Uribe, Guaicaramo y Servitá. En estas zonas se presentan enjambres de sismos que se relacionan con estas estructuras, las cuales son las mayores en cada región (figura 9). Para un lapso de tiempo inferior de 20 años que corresponde al período 1993 - 2012 se ha constatado aquí que la zona de influencia de la falla Algeciras - Uribe presenta una sismicidad alta y la RSNC ha registrado durante este lapso varios sismos con  $M_L = 4.0$ . A esta región se le atribuyen los terremotos de julio 12 de 1785 (Sarabia et al., 2010) y del 31 de agosto de 1917 (Chicangana et al., 2011). La zona de influencia de la falla de Servitá presenta igualmente variación en función del tiempo con respecto a su sismicidad y durante este lapso de tiempo

en esta se presentó el sismo de Quetame con  $M = 5.9$ . Esta región ha presentado varios sismos históricos destacándose entre estos el sismo del 18 de octubre de 1743 (figura 8). Para la región que abarca la falla de Guaicaramo se observa igualmente variación en su sismicidad y se destaca el sismo del 19 de enero de 1995 de Tauramena en el Departamento de Casanare con  $M = 6.5$  e históricamente se la asocia con los sismos de 1923 y 1924 que afectaron a los municipios de Gachalá y Medina en el Departamento de Cundinamarca (Espinosa, 2004).

### **Aspectos sismogeotécnicos y la vulnerabilidad de la población por factores sociales y económicos**



**MAPA DE ZONIFICACION SISMOGEOTECNICA DE VILLAVICENCIO**

- Zona A (ZA) – Verde - Cerros.
- Zona B (ZB) – Amarillo - Piedemonte Aluvial.
- Zona C (ZC) – Rosado - Llanura.
- Zona D (ZD) – Anaranjado - Piedemonte Fluvio-torrencial.
- Zona Potencialmente Licuable

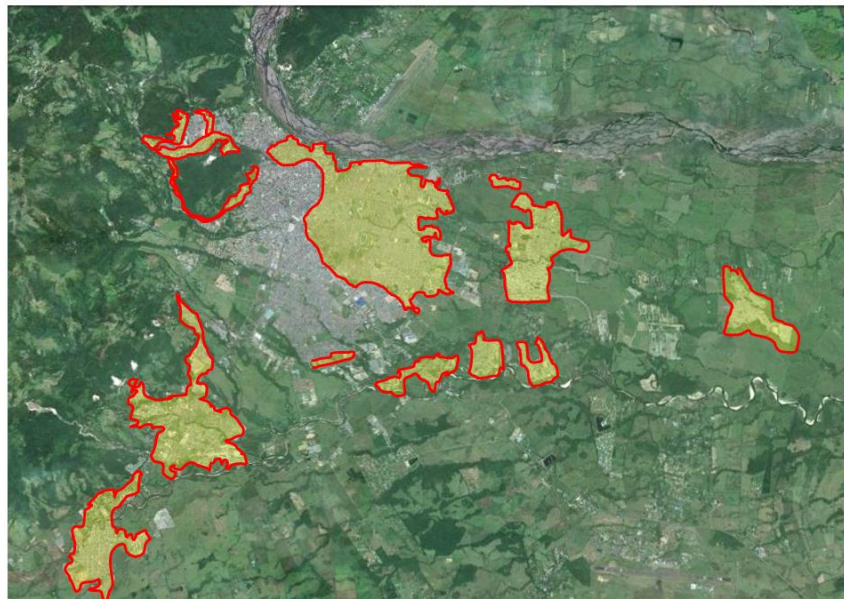
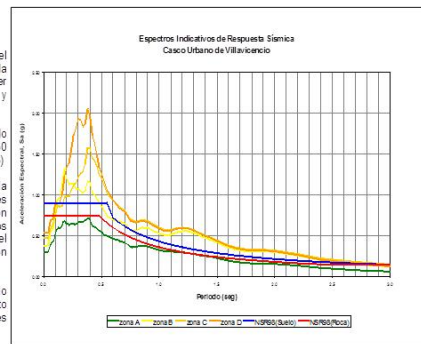
**ZONAS SISMOGEOTECNICAS INDICATIVAS DEFINIDAS**

**Zona A (ZA) – Cerros.** Esta zona corresponde al macizo rocoso localizado sobre el costado occidental del área de estudio, incluyendo el Cerro de Cristo Rey, conformada por intercalaciones de arcillolitas, areniscas y lodolitas. Se caracteriza por tener aceleraciones espectrales hasta de 0.7g aproximadamente, forma espectral y aceleraciones máximas muy similares a lo propuesto por la NSRS96 para roca. (Z1)

**Zona B (ZB) – Piedemonte Aluvial.** Corresponde al depósito de suelo aluvial localizado en el piedemonte suroccidental de la ciudad, cuyo espesor oscila entre los 10 y 30 metros, presentando aceleraciones espectrales moderadamente altas hasta de 1.3g. (Z3)

**Zona C (ZC) – Llanura.** Corresponde a la zona donde está asentada la mayor parte de la población del área urbana, conformada por los depósitos de suelos fluvio-torrenciales localizados en sectores relativamente planos hacia el occidente de la ciudad y con espesores entre 20 y 60 metros. Igualmente la conforman los depósitos de suelos aluviales con espesores mayores a los 60 metros, ubicados en el sector plano hacia el oriente de la ciudad. Se presentan aceleraciones espectrales considerablemente con valores hasta de 1.6g. (Z2B, Z2C, Z4B, Z4C, Z5A, Z5B)

**Zona D (ZD) – Piedemonte Fluvio-torrencial.** Corresponde al depósito de suelo fluvio-torrencial localizado en el piedemonte noroccidental de la ciudad y del Cerro Cristo Rey, con espesores entre 20 y 60 metros, el cual presenta las mayores aceleraciones espectrales del orden de 2.0g. (Z2A, Z4A)



**Figura 10.** Arriba mapa de la zonificación sismogeotécnica indicativa de Villavicencio de Ojeda y Alvarado (2002). Abajo, ubicación de los barrios cuya



estratificación social pertenece a los estratos 1 y 2. Comparece la ubicación de estos barrios con los parámetros sismogeotécnicos de los suelos que ocupan. La baja calidad de sus viviendas sumado a las características de los suelos indican que los resultados serán desastrosos en la ocurrencia de un sismo.

El subsuelo de la ciudad se ha conformado muy recientemente en términos geológicos. Este está constituido por sedimentos no consolidados que proceden del desarrollo de abanicos aluviales con edades que van desde el Pleistoceno Medio al Pleistoceno Superior e incluso Holoceno (Chicangana et al., 2010). Dichos sedimentos conforman cerca del 70% de subsuelo del área urbana, se constituyen de arcillas, arenas y gravas no consolidadas con un alto porcentaje de saturación con espesores que superan los 100 m al oriente de la ciudad, son susceptibles al fenómeno de la licuación de suelos y por esta causa, la aceleración sísmica esperada por la ocurrencia de un sismo de gran magnitud a nivel local fácilmente superaría las 2 g (Ojeda y Alvarado, 2002). En el sector correspondiente a la llanura el suelo urbano se constituye de meandros y terrazas aluviales pertenecientes a la evolución de los actuales drenajes como lo son los ríos Guatiquía, Ocoa y los caños que son como se denomina a las quebradas a nivel local. Los caños pueden definir cuencas que presentan longitudes de entre un par hasta más de 20 km. Este sector de la ciudad es por esta razón susceptible de presentar inundaciones por causa del desborde de los cauces. Hacia el occidente de la ciudad la situación no es diferente y se añade que algunos barrios de este sector, son vulnerables a los fenómenos de remoción de masa debido a que se asientan en la zona montañosa. La zonificación sismogeotécnica

indicativa preliminar realizada para la ciudad por parte de INGEOMINAS en 2000 (Figura 10), determinó que Villavicencio se asienta en una zona de alto riesgo sísmico y en comparación con ciudades que ya han sufrido terremotos como Armenia y Popayán, su vulnerabilidad es mayor debido a que en términos de suelos, estos presentarán aceleraciones espectrales muy superiores a los de dichas ciudades.

El estudio sismogeotécnico realizado por INGEOMINAS determinó igualmente que en el área urbana de Villavicencio, los periodos fundamentales se encuentran entre 0.20 y 0.75 segundos y estos fueron acordes con los periodos de los registros de sismos tomados en una red portátil durante la realización del estudio cuando se realizó la estimación con perforaciones de los espesores del depósito fluvio - torrencial predominante en la ciudad (Ojeda y Alvarado, 2002). La variación moderada en los periodos indica la relativa heterogeneidad y rigidez de los suelos de Villavicencio, sin embargo tanto en el Presente como hacía los próximos 20 años, la tendencia de la ciudad es urbanizarse hacía donde los suelos son no consolidados y presentan grandes espesores, es decir hacía el oriente del área urbana donde las aceleraciones y los períodos fundamentales son altos. Sumado a lo anterior el incremento del crecimiento de la población de la ciudad que de 2005 a 2011 paso de 384.000 habitantes a más de 450.000 de acuerdo a la proyección del DANE, se observa que este crecimiento extiende en el área urbana las construcciones que no cumplen con la normatividad sobre sismoresistencia ya que las autoridades no la controlan, ni la hacen cumplir.

En Villavicencio en particular, las comunidades asentadas en zonas de riesgo están afectadas por fenómenos naturales derivados de la actividad tectónica y la

alta pluviosidad que se presenta en la región (IDEAM, 2005). Además de la amenaza sísmica alta, en Villavicencio se presentan los fenómenos de remoción de masa y las inundaciones producidas por los desbordes de los cauces de los ríos y caños. Las autoridades de Villavicencio por lo general siempre han realizado como labor la atención más no de la prevención frente a los desastres naturales, algo que es una costumbre general en Colombia al igual que en Latinoamérica con respecto a la gestión del riesgo. El termino 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. Para 2005 el DANE, mostraba que 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 octubre de 2011 con un total de 442.000 habitantes proyectados para ese año (DANE, 2005), el 51,2 % de la población pertenecían a los estratos socioeconómicos 1 y 2, ósea un total de 226.304 habitantes, de los cuales el 20,6% pertenece al estrato 1, el cual es el estrato socio - económico más bajo (CENAC, 2012). Con respecto al trabajo de Chicangana et al. (2010), este estrato se incrementó en 2,1 % desde 2009. Con este índice se incrementaron por razones obvias los índices que señalan las necesidades básicas insatisfechas y el déficit convencional de vivienda. La tasa de desempleo afectó el 13,7% de la población en 2011. El sector gubernamental junto con el Comité Local de Atención

de Desastres - CLOPAD, poco o nada es lo que ha hecho con respecto a realizar campañas para reducir el efecto de los eventos naturales en los sectores de la población más vulnerables, debido que no se han considerado soluciones concretas y efectivas como por ejemplo la reubicación de dichas comunidades a zonas de bajo riesgo frente a las amenazas naturales, y mucho menos con respecto a tomar medidas que consigan la mitigar los efectos de un terremoto. La población más vulnerable de la ciudad a los fenómenos de remoción o inundaciones inició su ocupación desde la década de 1960, cuando se presentó la invasión de predios baldíos sin dueño o pertenecientes al sector gubernamental. En dicha época se trataba de población de bajos recursos desplazada por la violencia política desde otras partes del país. Luego para la década de 1980 se dio inicio a otra oleada migratoria debido al desplazamiento forzado por el conflicto armado y el narcotráfico (Tursktra, 1998). Esta última oleada migratoria aun continúa y es la que ha incrementado la población de más bajos recursos en la ciudad. Solo desde 2005 hasta hoy, la ciudad ha incrementado su crecimiento urbano en el 16 %. 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 esta tiene más de una necesidad básica insatisfecha. Si por último consideramos aquí la informalidad, Villavicencio según el DANE (2012a) muestra que para el lapso diciembre 2011 - febrero 2012, presenta informalidad en el 61,4 % de la población ocupada de la ciudad que asciende en total a 197.000. Entre mayor sea la informalidad para una ciudad, mayor será la dificultad que esta

presentará en términos de recuperación económica luego de ocurrido un desastre natural. La población informal demuestra la cantidad de la población que no aporta a la economía del Estado, que es el que en últimas asume el costo de la recuperación de la ciudad por consecuencia del desastre. En otras palabras, se produce desde un desastre natural un subsecuente desastre económico. El término vulnerabilidad económica lo acuña Wilches (1993) y este autor lo relaciona con la vulnerabilidad natural. En síntesis la población con bajos ingresos es la más vulnerable al desastre o sismo, la cual junto con la población informal representan el vacío económico para el Estado en términos de recuperación.

Por parte del sector gubernamental, la negligencia y mal uso de los recursos públicos en algunos casos por causas como la corrupción administrativa (El Tiempo, 2006, Auditoría General de la República, 2011), o en su defecto por la no contemplación de políticas que



**Figura 13.** Fotografías que muestran algunos ejemplos de las malas condiciones estructurales y de sismoresistencia en algunos de los edificios de la ciudad. Arriba, edificaciones residenciales de estrato socioeconómico medio con parámetros técnicos irregulares y la no contemplación de la normatividad de sismoresistencia.

Abajo, edificios comerciales y de oficinas ubicados en el centro de la ciudad en donde se observan construcciones de alto riesgo por presentar efecto de colindancia (esquina superior izquierda) y fachadas en voladizo sin diseño antisísmico en los demás casos. Con estos ejemplos es claro que la vulnerabilidad frente a un sismo se incrementa de manera dramática para la ciudad de Villavicencio. Tomado de Chicangana et al. (2009).

incentiven la prevención de desastres y mitigación de efectos derivados por la amenaza sísmica en los planes de desarrollo y el plan de ordenamiento territorial (POT). Todos estos factores aumentan la vulnerabilidad de la población frente a un eventual sismo. La desatención de las autoridades locales y regionales por factores como la concentración de poder, la falta de visión a largo plazo, la debilidad del Estado, la ingobernabilidad y la 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 la última década (El Tiempo, 2006; Fierro, 2007; Alcaldía de Villavicencio, 2012) además de su crecimiento urbano desorganizado en este mismo tiempo, han permitido la proliferación de muchas construcciones con fines comerciales o residenciales, que en muchos casos no cumplen con las mínimas normas de sismoresistencia, estos acompañados de la baja calidad de la vivienda en los sectores más vulnerables de la población aumenta la penalidad del sismo en el área urbana (Figura 13).

## **El posible escenario de Riesgo**

La fuerte tasa del crecimiento urbano de Villavicencio conlleva a que si no se toman medidas correctivas en el corto plazo, su escenario post - desastre derivado de la ocurrencia de un sismo con una magnitud mayor o igual a 6.5, cuyo foco tenga menos de 20 km de profundidad y su epicentro se localice a menos de 20 km de la ciudad, exhibirá efectos devastadores. El tamaño del desastre estimado aquí es resultado de la suma de elementos como la naturaleza del subsuelo de la ciudad, la tectónica, la sismicidad, la población vulnerable por su localización sumando a esta la pésima calidad de las construcciones y la falta de responsabilidad por parte de las autoridades frente al tema. Igualmente se plantea este posible escenario teniendo presente los efectos de grandes sismos que han afectado a las ciudades colombianas para las últimas décadas, como Popayán en 1983 y Armenia en 1999. Nuestro escenario sobretodo se enfatiza más en éste último sismo desde un punto de vista socioeconómico y desde la calidad de las construcciones que predominan en Villavicencio, tomando en consideración a los estratos socioeconómicos 1 y 2, aunque se ha demostrado que no solo los estratos socioeconómicos bajos son los más vulnerables a un sismo, ya que sí hacemos énfasis en el no cumplimiento de la norma sismoresistente en las construcciones de los estratos socioeconómicos medio a alto y en construcciones comerciales cómo hemos visto aquí, el desastre se incrementa. Con lo anterior considerado, tendríamos que el resultado del hipotético sismo produciría al menos 1000 víctimas fatales en la ciudad y 1500 en la región al momento de la ocurrencia



del terremoto. Posiblemente 2000 más morirían en las ruinas de los edificios colapsados para las siguientes dos semanas si no son rescatados oportunamente. Al menos 50.000 personas serían heridas y cerca de 300.000 personas se encontrarían damnificadas en Villavicencio y la región vecina a la ciudad como los municipios de Acacías, Cumaral y Restrepo principalmente, debido a la destrucción de sus viviendas. La ciudad se paralizaría, ya que se encontraría sin servicios públicos por lo menos en un lapso de tiempo que superaría los tres meses considerando el estado actual de su infraestructura, la cual es deficiente en muchos aspectos técnicos en la ciudad. Las fugas de gas producirían incendios locales incrementando víctimas y pérdidas materiales. La carretera Bogotá - Villavicencio quedaría bloqueada por un sinnúmero de fenómenos de remoción de masa que obstruirían o generarían desbancamientos de los 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 igualmente las pérdidas económicas y el número de víctimas. Se estima que cerca del 70 % del área urbana resultaría destruida. Este porcentaje se basa en la zonificación sismogeotécnica indicativa realizada por INGEOMINAS y por la cantidad de la población con déficit convencional de vivienda, poniendo para esto en consideración el trabajo realizado por Turkstra (1998), que exhibió la vulnerabilidad de las construcciones de la ciudad a las amenazas naturales junto con la calidad de los edificios para la década de 1990 y que en términos cuantitativos se mantiene luego de cerca de dos décadas después de haberse realizado. Las pérdidas económicas resultantes del sismo serían superiores hasta en más de tres veces que las equivalentes a las pérdidas que en su época se

presentaron con la ocurrencia el Sismo del Quindío de enero 25 de 1999. Para indicar esta cantidad nos basamos igualmente aquí en lo expuesto por el DANE (2012b), que muestra la participación en el PIB nacional por parte del Departamento de Meta para el lapso 2009 - 2010. El sismo paralizaría la producción agroindustrial y petrolera debido al colapso de la infraestructura vial principalmente, ya que 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. Es posible que el potencial de generación económica que la ciudad tenía al momento del sismo se consiga recuperar en el transcurso de un lustro, pero su recuperación en un sentido urbano, considerando que en esta impera un estrato socioeconómico bajo en más de la mitad de su población, y que la ciudad presenta una mala planificación urbana junto con la falta de un POT coherente para el desarrollo de esta, 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, para las cuales la severidad del fenómeno pudo ser un poco menor a la aquí expuesta de manera hipotética para Villavicencio. En estos casos persistieron los retrasos en la reconstrucción y luego de haber pasado más de un década de ocurrido el sismo, ambas áreas urbanas no se habían recuperado en su totalidad. Frente a esto, hay que recordar la premisa de que la no inversión en la prevención de un sismo en una ciudad o región, 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.

## **Agradecimientos**

Este trabajo es el resultado de las investigaciones y las labores encaminadas a difundir el alcance de amenaza sísmica en la ciudad de Villavicencio y el Piedemonte Llanero, 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 y estudiantes del Grupo de Investigación “Estudios sobre Riesgo Sísmico y Amenazas Naturales del Piedemonte Llanero” de la Corporación Universitaria del Meta de Villavicencio el cual contó con el apoyo de investigadores del 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. El agradecimiento es para los profesores Claudia Mojica Sánchez de la Corporación Universitaria del Meta y Tulio Hernández de la Regional Meta del Instituto Geográfico “Agustín Codazzi” por su asesoría en el tema de la planificación territorial y el plan de ordenamiento de la ciudad de Villavicencio. Se agradece también el apoyo de las Fundaciones Kinkaju y Nueva Herencia de Villavicencio, gracias a las cuales se consiguió realizar aquí la identificación de la población más vulnerable de la ciudad, no solo frente a un sismo sino también a otras amenazas naturales. Igualmente se hace aquí un agradecimiento especial a

dos revisores anónimos gracias a los cuales con sus sugerencias se mejoró y enriqueció el texto.

**Germán Chicangana** Ingeniero de Minas de la Fundación Universitaria de Popayán (1996) tiene una Maestría en Ciencias con énfasis en Geología de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá (2005). Es profesor - investigador de la Corporación Universitaria del Meta de Villavicencio e investigador del grupo Geofísica del Departamento de Geociencias de la Facultad de Ciencias, de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá Su labor investigativa abarca temas como la Amenaza Sísmica, la Geodinámica, la Geotectónica y la Sismotectónica.

**Carlos Alberto Vargas – Jiménez** Geólogo de la Universidad de Caldas (1994), Magister (2000) y PhD (2004) en Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural con la Universidad Politécnica de Catalunya. Actualmente es profesor asociado y líder del Grupo de Geofísica del Departamento de Geociencias de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá su labor investigativa abarca temas en Geología, Geofísica aplicada, Desarrollo de Instrumentación Geofísica y Sismología.

**Alexander Caneva** es Físico (1992), Magister en Física (1995) y PhD en Física (2001) de la Universidad Estatal de Moscú. Es profesor de las universidades

Javeriana y Antonio Nariño en Bogotá e investigador en Física y Sismología de la Dirección Nacional de Investigaciones - DNI de la Universidad Antonio Nariño.

## Referencias

AIS - INGEOMINAS. 1996. *Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia*. Santa Fé de Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - AIS 300 – INGEOMINAS.

Alcaldía de Villavicencio (2012). *Suelo - Espacio público - División territorial. Villavicencio*. Unidad XI, Alcaldía de Villavicencio. 120 p.

<http://www.alcaldiadevillavicencio.gov.co/ws/Documentos/ExpedienteMunicipal/Diagnostico-Sectorial-suelo.pdf> (último acceso 10/05/2012)

Alvarado, P. & Beck, S. (2006). Source characterization of the San Juan (Argentina) crustal earthquakes of 15 January 1944 (Mw 7.0) and 11 June 1952 (Mw 6.8). *Earth and Planetary Science Letters* 243 (3 - 4): 615- 631.

<http://www.geo.arizona.edu/web/Beck/pubs/AlvaradoBeckEPSL2006.pdf>

(último acceso 10/05/2012)

Auditoría General de la República (2011). *Control al control de la contratación: Riesgos, desaciertos y posibilidades*. Bogotá D.C. Auditoría General de la República.

Brune, J. (1970). Tectonics strain and the spectra of seismic shear waves from earthquakes. *Journal of Geophysical Research* 75 (26): 4997-5009.

CENAC (2012). *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/apc-aa-files/bfa6177b81c83455250e861305d7a28f/documento-villavicencio\\_meta-abril-12.pdf](http://www.cenac.org.co/apc-aa-files/bfa6177b81c83455250e861305d7a28f/documento-villavicencio_meta-abril-12.pdf) (último acceso 10/05/2012)

CERESIS (2012): *Consulta al Catálogo de Hipocentros (1520 - 1991)*. Centro Regional de Sismología para América del Sur – CERESIS, Lima, Perú.

[http://www.ceresis.org/portal/catal\\_hipo.php](http://www.ceresis.org/portal/catal_hipo.php) (último acceso 16/05/2012)

Chicangana, G., Vargas, C. A., Kammer, A., Caneva, A. (2011). Determinación de las sismofuentes capaces de generar un sismo  $M \geq 6.5$  para las próximas décadas, en la región del Piedemonte Llanero contiguo a Villavicencio. Memorias del XIV Congreso Latinoamericano de Geología, Medellín, Colombia. pp. 150 -151.

Chicangana, G., Vargas - Jiménez, C.A., Kammer, A., Hernández, T. A. y Ochoa – Gutierrez, 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* 29 (1): 61 - 74.

Chicangana, G., Vargas - Jiménez, C.A., Caneva, A., Hernández, T. A. Mojica, S, C. Ardila, E, J. y Bernal, J, A. (2010). La sociedad frente a la gestión del riesgo: Caso sobre la amenaza sísmica en la ciudad de Villavicencio. *Boletín de Geología - UIS* 32 (1):125 - 141

<http://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaboletindegelogia/article/view/1577>

(Último acceso 27/05/2012).

DANE., 2005. *Censo General 2005, Nivel Nacional*. Bogotá D. C.: Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

<http://www.dane.gov.co/censo/files/libroCenso2005nacional.pdf> (Último acceso 17/05/2012).

DANE (2012a). Información DANE, Sociales: Mercado laboral. Departamento Nacional de Estadística. Bogotá D.C.

[http://www.dane.gov.co/index.php?option=com\\_content&view=article&id=61&Itemid=67](http://www.dane.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=61&Itemid=67)

(Último acceso 17/05/2012).

DANE (2012b). Cuentas departamentales - Base 2005: Resultados PIB Departamental, 2009 y 2010. Boletín de prensa, Bogotá, D. C., 25 de mayo de 2012.

[http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/departamentales/B\\_2005/Resultados\\_2010.pdf](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/departamentales/B_2005/Resultados_2010.pdf) (Último acceso 27/05/2012).

Diederix, Hans. 2001. La geotectónica y la paleosismología para la evaluación del potencial sismogénico de las fallas activas en Colombia: Necesidades y prioridades. Memorias del VIII Congreso Colombiano de Geología, Manizales, Colombia. (CD - Room)

Dimate, C., Rivera, L., Taboada, A., Delouis, B., Osorio, J.A., Jimenez, E., Fuenzalida, A., Cisternas, A. & Gomez. I. (2003). The 19 January 1995 Tauramena (Colombia) earthquake: geometry and stress regime. *Tectonophysics* 363 ( 3 - 4): 159 – 180.

Dimaté, Cristina, Rivera, Luis & Cisternas, Armando (2005): *Re-visiting large historical earthquakes in the Colombian Eastern Cordillera*. Journal of Seismology 9 (1): 1 - 22.

El Tiempo (2006). Cinco alcaldes encargados ha tenido Villavicencio en los últimos 478 días. Periodico El Tiempo, Bogotá D.C. Publicado 5 de octubre de 2006

<http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-3272759> (último acceso 23 - 05 – 2012).

Espinosa, Armando (2004): *Historia Sísmica de Colombia (1550 - 1830)*. Gedes - Uniquindío, Armenia, Colombia.

Fierro, M. J. (2007). Factores que afectan la empresarialidad en el municipio de Villavicencio en el periodo comprendido entre los años 1994 -2004. Trabajo de grado para optar el titulo de magister en gestión del desarrollo con énfasis en desarrollo local y regional. Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín, Medellín, mayo 2007. 127 p.

<http://empresasvillavo.files.wordpress.com/2008/02/estudioempresarialidad.pdf>

(último acceso 10- 05- 2012)

Gómez, J., Nivia, A., Montes, N.E., Jiménez, D.M., Sepúlveda, J., Gaona, T., Osorio, J.A., Diederix, H., Mora, M., Velásquez, M.E. (2007). Atlas Geológico de Colombia. Escala 1:500.000, 26 planchas. Bogotá, D.C.: INGEOMINAS.



<http://www.ingominas.gov.co/Geologia/Mapa-geologico-de-Colombia/Atlas-Geologico-de-Colombia.aspx> (último acceso 12 - 09 – 2011).

IDEAM, (2005). Atlas Climático de Colombia. Bogotá D.C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM.

<https://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/019711/019711.htm>  
(último acceso 23 - 05- 2012).

INGEOMINAS (2012). Red Sismológica Nacional de Colombia, Bogotá D.C., INGEOMINAS.

<http://seisan.ingominas.gov.co/RSNC/> (último acceso 18/03/2012)  
IRIS (2012). 1967 Huila (Colombia) Earthquake Archive. Incorporated Research Institutions for Seismology, Acoustic and Seismics Laboratory, Institute of Science and Technology, The University of Michigan, Ann Harbor, Michigan, USA.

<http://www.iris.edu/seismo/quakes/1967huila/> (último acceso 16/5/2012)  
Keller, E. A. & Pinter, N. (1996). *Active Tectonics, Earthquakes, uplift and Landscape*. Prentice Hall, New York.

Martínez, D, J.J. (1998). Neotectónica y tectónica activa del sector centro-occidental de la región de Murcia y sur de Almería (Cordillera Bética, España). Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Geológicas, Departamento de Geodinámica, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.  
<http://eprints.ucm.es/tesis/19972000/X/4/X4009501.pdf> (último acceso 26/03/2012)

Meigs, A., Krugh, W. C., Schiffman, C., Verges, J. M. & Ramos, V. A. (2006). Refolding of Thin-Skinned thrust sheets by active basement-involved thrust faults in the Eastern Precordillera of western Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 61 (4): 589-603.

<http://www.scielo.org.ar/pdf/raga/v61n4/v61n4a13.pdf> (último acceso

10/05/2012)

Mora, A. (2007). Inversion tectonics and exhumation processes in the Eastern Cordillera of Colombia [Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doktor der Naturwissenschaften (Dr.rer.nat)]. 133 p. Wissenschaftsdisziplin Geologie eingereicht an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät, Universität Potsdam, Postdam, Germany.

Mora, A., Parra, M., Strecker, M. R., Sobel, E. R., Zeilinger, G., Jaramillo, C., Ferreira Da Silva, S. & Blanco, M. (2010). The eastern foothills of the Eastern Cordillera of Colombia: An example of multiple factors controlling structural styles and active tectonics. *GSA Bulletin*, 122 (11/12): 1846 -1864.

Ojeda, J. y Alvarado, C. (2002). *Zonificación Sismogeotécnica Indicativa de la Ciudad de Villavicencio*. En: *Zonificación integral por amenazas naturales para la ciudad de Villavicencio - Meta*. INGEOMINAS Alcaldía de Villavicencio, Convenio interadministrativo 009/ 2000. V. II.

Page, W. D. (1986). Geología Sísmica y Sismicidad del Noroccidente de Colombia. Unpublished report for Integral Ltda. and ISA, Medellín, Colombia. Woodward-Clyde Consultants, San Francisco, California.

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://pubs.usgs.gov/of/2000/ofr-00-0284/ofr-00-0284.pdf> (último acceso 17/6/2011)

<http://pubs.usgs.gov/of/2000/ofr-00-0284/ofr-00-0284.plate.pdf> (último acceso 17/6/2011)

Parra, M. (2008). Cenozoic foreland-basin evolution in the northern Andes: insights from thermochronology and basin analysis in the Eastern Cordillera, Colombia. [Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doktor der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)]. Wissenschaftsdisziplin Geologie, Institut für Geowissenschaften, Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät, Universität Potsdam, Postdam, Germany.

[http://opus.kobv.de/ubp/volltexte/2009/2933/pdf/parra\\_diss.pdf](http://opus.kobv.de/ubp/volltexte/2009/2933/pdf/parra_diss.pdf) (último acceso 17/6/2011)

Perucca, L. P., y Paredes, J. D. (2003). Fallamiento Cuaternario en la zona de La Laja y su relación con el terremoto de 1944, Departamento de Albardón, San Juan, Argentina. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 20 (1): 20 – 26.

Procuraduría General de la Nación (2009). Pliego de cargos en 4 departamentos y 3 municipios por mal manejo de regalías. Procuraduría General de la Nación, Bogotá D.C., Boletín 304.

[http://www.procuraduria.gov.co/html/noticias\\_2009/noticias\\_304.htm](http://www.procuraduria.gov.co/html/noticias_2009/noticias_304.htm)

(último acceso 27/5/2012)

Ramírez, Jesus Emilio. (1975). *Historia de los Terremotos en Colombia*. Bogotá D.E.: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Robertson, Kim. (1989). Actividad Neotectónica del Piedemonte de la Cordillera Oriental. Memorias del V Congreso Colombiano de Geología, Bucaramanga, Colombia.

Robertson, Kim. (2005). Morfotectónica y dataciones del fallamiento activo del Piedemonte Llanero, Colombia. Memorias del X Congreso Colombiano de Geología, Bogota D. C. Colombia.

Sarabia G, A. M., Cifuentes A, H. G. & Robertson, K. G. (2010). Análisis histórico de los sismos ocurridos en 1785 y en 1917 en el centro de Colombia. *Revista Colombiana de Geografía*, 19: 153 -162

Scholz, Christopher, H. (2001). *The Mechanics of Earthquakes and Faulting*. Cambridge, U. K.: Cambridge University Press.

Turkstra, Jan. (1998). *Urban Development and Geographical Information, Spatial and temporal patterns of urban development and land values using integrated geo – data, Villavicencio, Colombia*. Enschede, Netherlands: ITC Publication Series.

Velandia, F. y Montes, N. (2005). Actividad neotectónica del sistema de fallas de Algeciras en el Departamento del Huila, Colombia. Memorias del X Congreso Colombiano de Geología, Bogotá, Colombia.

Velandia, F., Acosta,J., Terraza, R. & Villegas, H. (2005). The current tectonic motion of the Northern Andes along the Algeciras Fault System in SW Colombia. *Tectonophysics*. 399 (1- 4): 313 -329.

Vergara, S, Heyley, 1996. Rasgos y actividad neotectónica de la Falla de Algeciras. Memorias del VII Congreso Colombiano de Geología, Bogota D.C., Colombia.

Wilches, G. (1993). *La Vulnerabilidad Global*. En: Maskrey, Andrew. *Los Desastres No Son Naturales*. Colombia: LA RED: Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, 1993. 11 - 44.