

# **Amenaza Sísmica del Piedemonte Oriental de la Cordillera Oriental Colombiana, Sector 4° - 5° N, Departamentos de Meta y Casanare:**

## **PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN PARA CONFRONTARLA**

**Germán Chicangana**  
**Profesor Investigador**  
**Escuela de Ingenierías y Arquitectura**  
**Corporación Universitaria del Meta**

Estudios previos demuestran la coincidencia entre los lineamientos que expresan las principales fallas que discurren en el piedemonte llanero colombiano sobre los fenómenos de corrimientos de masa que a nivel local se presentan en dicha región, los cuales sugieren la presencia de movilidad tectónica como respuesta a las direcciones de los campos de esfuerzos regionales. Los sismos históricos de 1743, 1785 y 1917 que han afectado las ciudades de Bogotá y Villavicencio, y más recientemente el de Tauramena (Enero 19 de 1995, Mw = 6.5), confirman que estos sistemas de falla son activos, y contribuyen con la amenaza sísmica de la Sabana de Bogotá, Acacías, Villavicencio y Yopal.

Por lo anterior, se propone realizar un estudio sistemático neotectónico encaminado a determinar la conducta activa de los trazos de falla pertenecientes a los sistemas de falla de esta zona del centro de Colombia, realizando una evaluación sobre la información histórica disponible en archivos locales, del orden nacional y del orden internacional que ayuden a encontrar información clara que refuercen el conocimiento sobre la sismología histórica de esta región, con la cual junto con el conocimiento sobre la actividad tectónica de las fallas, permita una estimación determinística con mayor información prehistórica e histórica de la amenaza sísmica sobre las ciudades de Bogotá y Villavicencio principalmente.

Conseguido este objetivo inicial, será posible luego esbozar con mucha precisión el escenario sismotectónico tanto de la Sabana de Bogotá, como del piedemonte llanero, con lo que se contribuirá con una mayor certeza del conocimiento científico a prevenir y reducir el riesgo por efecto de la sismicidad en esta región del país.

Como un primer paso, la Corporación Universitaria del Meta, por intermedio del Grupo de investigación Estudios sobre el riesgo sísmico y las amenazas naturales del Piedemonte Llanero, el cual está liderado por el autor de este artículo y que está adscrito a la Escuela de Ingenierías y Arquitectura, inicia con una propuesta de investigación presentada recientemente a COLCIENCIAS para su evaluación y aprobación, denominada "*Estudios Neotectónicos para la Evaluación de la Amenaza Sísmica de Bogotá y Villavicencio*", la cual será ejecutada además por las Universidades Nacional de Colombia, sede Bogotá y Antonio Nariño, sede Bogotá, además de la Sociedad Profesional GEOSLAC. Con esta se hará posible conocer el comportamiento las fallas activas que ofrecen amenaza sísmica en el sector de Bogotá y Villavicencio, así

como podrá contribuir a mejorar las estimaciones sobre la movilidad de estas fallas. Además de esta propuesta de investigación la cual se ejecutará en 24 meses con un costo total de \$ 508.090.000, el Grupo de investigación Estudios sobre el riesgo sísmico y las amenazas naturales del Piedemonte Llanero en llave con las facultades de Arquitectura e Ingenierías Ambiental y Civil de la Corporación Universitaria del Meta, formulará próximamente la propuesta del proyecto *"Inventario sobre las condiciones de sismoresistencia de las construcciones actuales de Villavicencio"* con la que se busca integrar a la comunidad de la ciudad de Villavicencio en una campaña de concientización que liderará la Corporación Universitaria del Meta hacia la ciudad frente a la amenaza sísmica que ella presenta, mediante un plan de trabajo que competereá a la Alcaldía de Villavicencio coliderarlo, para conseguir mitigar el efecto de un sismo en las construcciones de la ciudad, mediante la aplicación de técnicas arquitectónicas e ingenieriles que sean eficaces para alcanzar este objetivo teniendo presente las recomendaciones que el INGEOMINAS en una primera fase formulo con la *Zonificación Sismogeotécnica Indicativa de la Ciudad de Villavicencio*, y contribuyendo igualmente con los lineamientos preliminares que este estudio dejo al respecto con la ciudad durante el lapso 2001 – 2002.

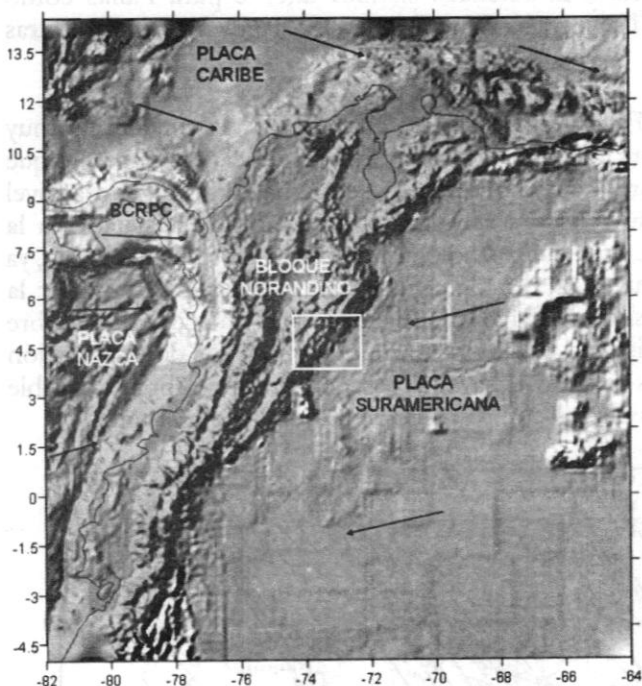
Con una síntesis sobre la evolución de su marco geotectónico, y un recuento sobre la importancia del conocimiento sobre la sismología histórica, en este artículo, pasamos describir algunos aspectos relevantes sobre este tema y del porque de la pertinencia y la urgencia sobre la realización de proyectos de investigación en este sentido que busquen contribuir a mitigar los efectos de los terremotos en esta región de Colombia.

## Aspectos Geotectónicos del Piedemonte Llanero Colombiano

El escenario geotectónico del piedemonte llanero colombiano, es el resultado de la evolución de un margen activo a lo largo de un lapso de tiempo geológico relativamente largo. Siendo este, el límite entre la placa continental rígida que se constituye en la placa suramericana, que está representada al Este por el Escudo de Guyana, con el bloque Norandino al Oeste. Este último, es el resultado de sucesivas acreciones de terrenos continentales y oceánicos, que ocurrieron desde dicha época hasta el Presente (Figura 1).

Hace 1100 millones de años, en la región en donde hoy se asientan las ciudades de Acacías, Villavicencio y Yopal, se presentaba una línea de costa que representaba el margen occidental del antiguo megacontinente de Gondwana, que lo constituían los actuales África, Australia, Antártica, Suramérica e India. Como resultado de la colisión Mesoproterozoica que ocurre en esta época entre el antiguo continente de Laurentia que representaba a los actuales Norteamérica y Europa Occidental, con este sector de la Gondwana (Dalziel, 1997), es cuando a partir de ese entonces esta región pierde este tipo de escenario consolidándose como una zona sumergida pero muy someramente (Duncan Keppie et al., 2003), y que permanece así hasta el Siluriano Tardío hace 400 millones de años, cuando se registran los primeros indicios

de ambiente subaéreo en rocas del Complejo Quetame, las cuales afloran en el piedemonte llanero, en las vecindades de Villavicencio, en la carretera que de esta ciudad conduce a Bogotá (Prössl y Grösser, 1990).



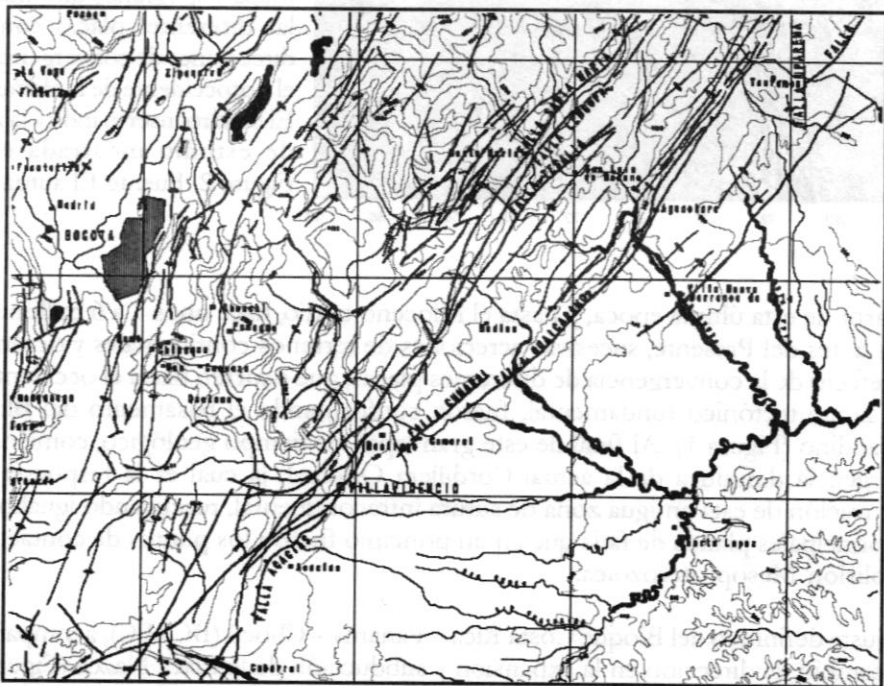
**Figura 1.** Mapa Topográfico que muestra las diferentes placas con sus direcciones de convergencia en el noroccidente de Sudamérica. El cuadro inserto indica la zona de estudio mostrada en la Figura 2. Fuente El autor.

A partir de esta última época, y hasta el Mioceno tardío, hace unos 7 a 6 millones de años antes del Presente, sucesivas acreciones de terrenos continentales y oceánicos por efecto de la convergencia de diferentes placas, que ocurren hacia el occidente de este límite tectónico fundamental, fueron conformando el basamento del Bloque Norandino (Figura 1). Al final de este gran lapso de tiempo geológico, comienza la emergencia definitiva de la actual Cordillera Oriental, la cual es la respuesta a la reactivación de esta antigua zona de sutura intracontinental, reactivando igualmente sus principales planos de falla que en un principio fueron los puntos de contacto de la colisión Mesoproterozoica.

El ajuste definitivo del Bloque Costa Rica – Panamá – Chocó (BCRPC), acompañado del cambio de dirección en la expansión y subducción de la Placa Nazca (Figura 1), junto con el constreñimiento de la Placa Caribe por efecto del cerramiento por parte de las placas Norteamericana y Suramericana a partir del Plioceno Superior desde hace 2,5 millones de años hasta hoy, ha dado como resultado el estilo orogénico de los Andes del Norte (Chicangana, 2005), produciendo la activación de los principales sistemas de fallas que representan la respuesta cinemática de los campos de esfuerzos que están imperantes desde esta última época en este sector del

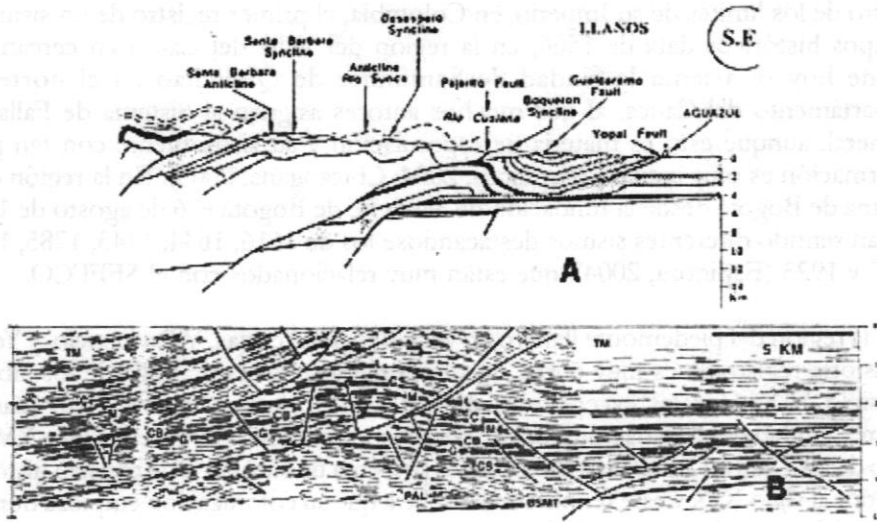
continente. Este fenómeno ha producido la tasa de emergencia constante que ha ido modelando a la Cordillera Oriental colombiana, que desde un punto de vista morfoestructural (Robertson, 2005), ha ido construyendo el actual paisaje, dejando algunas evidencias neotectónicas en algunos de los planos de Falla del SFFFCO. Estas evidencias, dejan en claro la amenaza sísmica latente para Fallas como Guaicaramo, Coladepato – Villavicencio, Santa María – Servitá y Yopal entre otras (París et al., 2000).

Algunos de estos planos de Fallas pertenecientes al SFFFCO, se encuentran muy cerca de las ciudades de Bogotá y Villavicencio (Figura 2), pero el conocimiento que se tiene de ellos es muy pobre, debido a que solo se los ha caracterizado a nivel regional con la aplicación de sensores remotos con técnicas relacionadas a la fotogeología, y la evidencia de actividad sísmológica que de estos se tiene es nula, ya que carecen de estudios a nivel local y de detalle que ayuden a determinar la potencialidad de su amenaza sísmica. Salvo estudios regionales muy inferidos sobre el estilo estructural de este Sistema Fallas por parte de compañías de exploración petrolera (Figura 3), poco es lo que se ha analizado en campo sobre la posible conducta de algunos de estos planos con respecto a su movilidad tectónica.



**Figura 2.**

Mapa Neotectónico indicando en trazo grueso, algunos de los planos de Falla susceptibles de movilidad relacionados con el SFFFCO y que están muy cerca de Bogotá y Villavicencio. Fuente INGEOMINAS, 1999.



**Figura 3.** Dos Figuras que muestran el estilo estructural del SFFFCO. A. Detalle de perfil restaurado por Colletta et al. (1990) para las cercanías de Aguazul (Casanare); y B. Línea Sísmica relacionada al Piedemonte Llanero cerca al Campo Cuziana en Casanare mostrada por Roeder y Chamberlain, (1995).

INGEOMINAS (1999), París et al. (2000) y Robertson (1989; 2005) entre otros, han determinado para algunos sectores del SFFFCO evidencias de movilidad reciente, para lapsos de tiempo que en algunos casos no superan los mil años, es por esta razón que debemos insistir en este tipo de investigaciones, las cuales deben ser soportadas por estudios relacionados a la Paleosismología, la Macrosísmica, la Morfotectónica, la Microtectónica y la Neotectónica, herramientas con las cuales se podrá identificar el plano de falla susceptible de producir un sismo cuantificando su magnitud máxima esperada y su tiempo de recurrencia sísmica, algo que en los Estudios de Zonificación Sismogeotécnica para ciudades como Bogotá y Villavicencio no se ha contemplado aun (Diederix, H. Com. Pers. 2006).

**Sobre el Papel de la Historia para la Amenaza Sísmica del País y sobre todo para el Piedemonte Llanero**

Espinosa (En preparación), indica un gran desconocimiento histórico sobre los desastres naturales en Colombia y aun más cuando la historia colombiana no llega a los 500 años, donde igualmente poco se ha investigado sobre desastres naturales acaecidos en tiempos precolombinos. Con la excepción de Perú y la ciudad de Cusco, en donde el Catálogo de terremotos para América del Sur derivado del Programa para la Mitigación de los efectos de los terremotos en la región andina (CERESIS, 2003), ha señalado el primer terremoto reconocido para Suramérica en 1471, gracias a que la Cultura Inca manejaba un sistema de información adecuado y efectivo

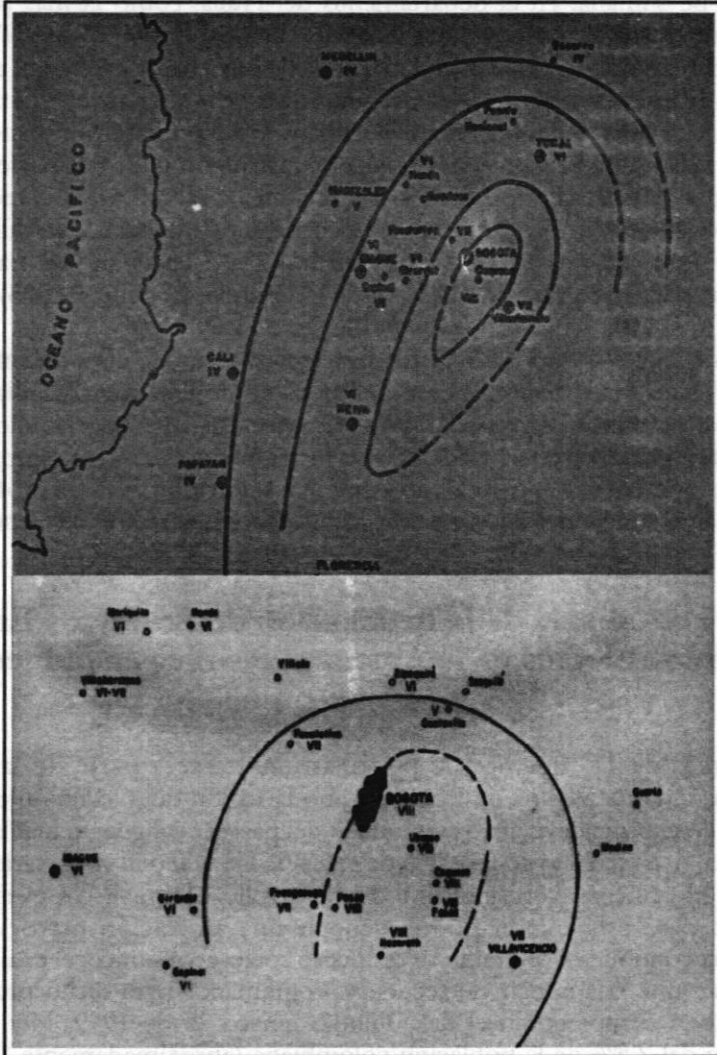


dentro de los límites de su Imperio, en Colombia, el primer registro de un sismo en tiempos históricos data de 1566, en la región del Valle del Cauca en cercanías a donde hoy se asienta la ciudad de Santander de Quilichao en el norte del Departamento del Cauca, al que muchos autores asignan al Sistema de Fallas de Romeral, aunque esto es materia de especulación y su sismofuente con tan poca información es muy incierta (Espinosa, 2004; Chicangana, 2005). En la región de la Sabana de Bogotá desde la fundación de Santa Fe de Bogotá el 6 de agosto de 1538, se han sentido diferentes sismos destacándose los de 1616, 1644, 1743, 1785, 1826, 1917 y 1923 (Espinosa, 2004), que están muy relacionados con el SFFFCO.

Para la región del piedemonte llanero en vecindades a Acacías, Villavicencio y Yopal, la historia registrada es muy corta, no remontándose hasta más allá de los albores del siglo XIX. Con las excepciones de San Martín de los Llanos y San Juan de Arama, ciudades fundadas durante la conquista española, durante el siglo XVI, el resto de los Llanos Orientales colombianos presenta una ausencia de registro histórico anterior al siglo XIX y este fenómeno se debe a que su colonización empieza durante dicho siglo, y se observa que Villavicencio, que es el actual centro económico de los Llanos Orientales colombianos es fundado en 1850 (Espinel, En preparación), Acacías en 1920 (Molano, 1989) y Yopal en 1953 (IGAC, 1992). Lo anterior indica el vertiginoso crecimiento de los centros urbanos de esta región para finales del siglo XX. Teniendo presente que Villavicencio crece en más de en 4 veces para un lapso inferior a 40 años, al igual que Bogotá D. C. en el mismo lapso, es de todas maneras un gran inconveniente para el desarrollo socio - económico de ambas ciudades la falta del conocimiento histórico relacionado a la ocurrencia de terremotos, debido al total desconocimiento sobre la ocurrencia de este fenómeno a un corto, mediano o largo plazo.

Para el sismo de agosto 31 de 1917, se observa que este trasciende en la historia más para Bogotá que para Villavicencio. De acuerdo a los cálculos macrosísmicos realizados por Espinosa (Figura 4), se observa que la sismofuente que lo ocasionó está relacionada a uno de los planos de falla del SFFFCO que discurren a través del Páramo de Sumapáz. Este sismo del cual se ha avanzado mucho en su conocimiento histórico, solo ha conseguido ser calculado con seguridad en términos macrosísmicos, pero no con una segura verificación paleosismológica y neotectónica, que indique cual fue el plano de falla que lo ocasionó. De todas maneras, este sismo es junto con el acaecido en Tauramena el 19 de enero de 1995, los únicos sismos que están relacionados con la actividad tectónica del SFFFCO en las vecindades de Bogotá, Villavicencio y Yopal. El registro sismológico instrumental, que en Colombia data solo desde 1923 (Caneva, 2002), solo ha dejado para Bogotá como trascendentes, los sismos de 1923, 1924, 1928, 1967 y 1995. Sin embargo, para el caso de 1967, su sismofuente está relacionada a un plano de falla no necesariamente relacionado al SFFFCO, y que además se trata de una sismofuente de gran repercusión en la historia de la amenaza sísmica de Colombia como lo es un plano de falla ubicado en la región del Piedemonte Amazónico entre los departamentos de Caquetá, Huila y Putumayo, relativamente distante de Bogotá y Villavicencio. Un sismo atribuido a la misma sismofuente fue el que ocurrió el 17 de noviembre de 1827 (Espinosa, 2004),

y que se sintió muy fuertemente, casi que en igual intensidad tanto en Bogotá y la zona en donde se asienta hoy Villavicencio, como en Popayán, y este sismo en particular, si ocurriera hoy sería igualmente devastador para todas estas ciudades, pero su sismofuente sería muy lejana a donde estas se asientan.



**Figura 4.** Mapas de isosistas para el sismo del 31 de agosto de 1917. Arriba a un nivel regional, tomado de Espinosa (1996), y abajo, a un nivel local, tomado de Espinosa (2004).

En realidad, sí se hace una reflexión sobre el actual alcance de la Red Sismológica Nacional de Colombia – RNSC, instalada desde 1993, esta de por sí ha contribuido a mejorar el conocimiento que tenemos de la conducta sismológica general de Colombia en los últimos años. Gracias a la ayuda de esta se ha logrado determinar a la región de Timaná, en el departamento del Huila, como la más probable en donde se presenta la sismofuente que en el caso de noviembre 17 de 1827 fue la que produjo dicho sismo. En poco más de 10 años de registro instrumental de la RNSC que a pesar de todo es muy pobre en densidad de estaciones para el área tan inmensa que intenta cubrir, y poder ser capaz igualmente de identificar un plano de falla a partir de un sismo dado a nivel nacional, el registro continuo por parte de esta de eventos dados para una región dada y con una mejor caracterización tectónica por parte del INGEOMINAS y expertos, se ha conseguido indicar que la Falla Algeciras es la responsable de una fuerte sismicidad intraplaca en el sur del país, y poder atribuirle los sismos como el de 1827 y 1967 (Velandia y Montes, 2005).

Se hace claro que el papel del registro histórico que apoye el conocimiento de la sismología histórica de regiones como el piedemonte llanero colombiano, servirá de apoyo para estudios de Neotectónica, Microtectónica y Paleosismología, lo cual junto con monitoreo constante del registro instrumental de microsismos, permitirá igualmente ayudar a identificar con mucha seguridad una sismofuente que potencialmente contribuya a la amenaza sísmica para esta región del centro del país.

### **Sobre la Pertinencia de la Realización de Proyectos Enfocados a Mitigar los Efectos de la Amenaza Sísmica en el Piedemonte Llanero**

Con algo más de 15 millones de personas, una tercera parte de la población colombiana, tanto la Sabana de Bogotá como la región del piedemonte llanero, se convierten en el principal centro económico del país el cual genera más del 40% del PIB nacional. Un ejercicio económico de cerca de U\$ 600 millones diarios hacen de esta región el principal contribuyente del desarrollo nacional. Un evento sísmico destructivo para esta región podría generar una afectación mayor al 30% en producción económica y por ende su retroceso socio-económico, el cual sería difícil de recuperar ante la ausencia de recursos programados para dicho propósito. En Colombia, con sismos como el del Quindío (enero 25 de 1999,  $M_w = 6.2$ ) que afectó cerca del 2.5% de la población colombiana (aproximadamente 1.2 millones de personas), las pérdidas económicas superaron el 1% del PIB del país para el lapso 1999 -2001; se hace obvio, que en la eventualidad de un incidente similar para la Sabana de Bogotá y sus alrededores se produciría una recesión económica muy importante derivada de un desastre natural. Esta situación sólo se remediaría, al menos para llegar a la situación económica previa, pasados varios años, tal como lo demostró el sismo del Quindío. Ante la expectativa de un evento sísmico similar en Bogotá y sus alrededores, principalmente en el piedemonte oriental de la Cordillera Oriental, podríamos esperar una situación de pérdidas muy superior a la vivida en la



zona Cafetera, que modificaría drásticamente el normal funcionamiento económico y político del País, desacelerando su desarrollo.

La amenaza sísmica en el centro de Colombia, está principalmente asociada a todos los sistemas de fallas que discurren a lo largo del eje de la Cordillera Oriental de Colombia, tanto en su parte axial como en su flanco oriental, en donde se hacen más evidentes. Sin embargo como posibles fuentes sismogénicas locales y cercanas a Bogotá y Villavicencio, existe un desconocimiento casi total sobre los aspectos neotectónicos de muchos de los trazos que constituyen estos sistemas de fallas, es por esta razón que se trata de una urgencia realizar estudios en este sentido para la región del Piedemonte Llanero en los Departamentos de Casanare y Meta.

## Conclusion

Todo lo anterior, nos deja en claro que el estado actual del conocimiento que tenemos tanto desde un punto de vista Neotectónico, Paleosismológico e Histórico sobre las sismofuentes que contribuyen con la amenaza sísmica del piedemonte llanero es muy pobre, y que se debe empezar a realizar un programa de investigación, con diferentes proyectos encaminados en dicho sentido que contribuirán a reforzar dicho conocimiento sobre esta amenaza natural y que además cimenté planes y programas que tanto la Universidad en nuestro caso la Corporación Universitaria del Meta para nuestra región, como principal actor social frente a la comunidad y en alianza con los organismos gubernamentales encargados, como lo son las autoridades administrativas de la región consigan en su conjunto mitigar los efectos de los terremotos tanto para Bogotá, como para Villavicencio, buscando ante todo conseguir una reducción de pérdidas económicas y de vidas por esta causa en esta región del país.

## Referencias

CANEVA, R, A. I. 2002; Magnitud representativa del catálogo de sismos en Colombia: Universidad Javeriana, Revista Ingeniería y Universidad, 6, 1, 9 – 18.

CERESIS. 2003; Intensidades Colombia, Centro Regional de Sismología para América del Sur (1985), "Catálogo de terremotos para América del Sur. Programa para la Mitigación de los efectos de los terremotos en la región andina, Proyecto SISRA, v. 1- 9, Editado por B. Askew y S. T. Algermissen, Programa de Capacitación en Desastres y Sismología por Internet: [www.ceresis.org/cursos/Ipaises/intensidades](http://www.ceresis.org/cursos/Ipaises/intensidades)

COLLETTA, B, HEBRARD, F, LETOUZEY, J., WERNER, P. y RUDKIEWICZ, J , -L. 1990; Tectonic style and Crustal structure of the Eastern Cordillera (Colombia) from a balanced Cross – section, In: *Petroleum and Tectonics in Mobile Belts*, Letouzey, J. (Ed.) and editions Technip, París, 81 – 100.

CHICANGANA, G. 2005, Estudio del Sistema de Fallas Romeral (0,5 – 11,5 ° N), a partir de

una caracterización sismotectónica regional: Tesis de Maestría en Ciencias – Geología, Departamento de Geociencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia - UNCB-, Bogotá D.C. 191p, 6 Anexos.

ESPINOSA, A. 1996; Proyecto para la mitigación del riesgo sísmico de Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal, Sismicidad histórica, Informe Final, Convenio CARDER – Universidad del Quindío, 40 p, 4 Anexos.

ESPINOSA, A. 2004; Historia Sísmica de Colombia (1550 – 1830): Gedes – Uniquindío (En CD – Room).

ESPINOSA, A. Historia de los desastres naturales en Colombia (En Preparación).

DALZIEL, I.W.D.1997; Neoproterozoic – Paleozoic geography and tectonics: Review, hypothesis, environmental speculation: GSA Bull, 109, 16 – 42.

DUNCAN KEPPIE, J., DAMIAN NANCE, R., BRENDAN MURPHY, J. y DOSTAL, J. 2003; Tethyan, Mediterranean, and Pacific analogues for the Neoproterozoic – Paleozoic birth and development of peri – Gondwanaland terranes and their transfer to Laurentia and Laurussia: Tectonophysics, 365, 195 – 219.

ESPINEL, R, N. Memoria Colectiva de Villavicencio (En Preparación).

IGAC. 1992; Atlas de Colombia.

INGEOMINAS. 1999; Atlas de Amenaza Sísmica de Colombia, Versión Beta.

MOLANO, A. 1989; El Proceso de colonización, En: La Macarena, Reserva biológica de la humanidad, Territorios de Conflictos: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Humanas, Centro de Estudios Sociales – CES -, 1ra Edición, 281 – 304.

PARÍS, G., MACHETTE, R., DART, R. L. y 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>.

PRÖSSL, K. F. y GRÖSSER, J. R. 1990; Some new palynomorphs from the Silurian of the Quetame Massiff, Cordillera Oriental, Colombia, South America: INGEOMINAS, Bol. Geol. 34, 2 -3, 27 – 38.

ROBERTSON, K. 1989; Actividad Neotectónica del Piedemonte de la Cordillera Oriental. V Congreso Colombiano de Geología. Mem. 1, 170 – 192.

ROBERTSON, K. 2005; Morfotectónica y dataciones del fallamiento activo del Piedemonte Llanero, Colombia. X Congreso Colombiano de Geología. Mem. (En CD – Room).

ROEDER, D. y CHAMBERLAIN, R. L. 1995; Eastern Cordillera of Colombia: Jurassic – Neogene Crustal Evolution, In: A. J. Tankard, R. Suarez S., and H. J. Welsink, Petroleum basins of South America, AAPG Memoir, 62, 633 – 645.

VELANDIA, F. y MONTES, N. 2005; Actividad Neotectónica del Sistema de Fallas de Algeciras, en el departamento del Huila, Colombia: X Cong. Col. Geología, Mem. (En CD – Room).