

Evaluación de la actividad tectónica reciente del frente montañoso occidental de la cordillera Central entre Calarcá y Pijao (Quindío-Colombia)

Evaluation of the recent tectonic activity in the west mountain front of cordillera Central between Calarcá and Pijao (Quindío-Colombia)

Paola Botero, Luisa García, Catalina Hernández,
Leonardo Sepúlveda y Eliana Torres

Recibido: abril, 2005 / Aceptado: junio, 2005

Resumen

Con el propósito de identificar los segmentos que componen el frente montañoso (FM) occidental de la cordillera Central de Colombia, entre los municipios de Calarcá y Pijao, y asignarles el grado relativo de actividad tectónica reciente, se integraron la evaluación morfométrica, la morfoneotectónica de las fallas y la configuración de los depósitos cuaternarios; lo que permitió definir dos segmentos activos de FM y un frente montañoso relicto (FMR) asociado al escalón geomorfológico marcado por el prominente escarpe de la falla Córdoba. El primer segmento definido corresponde al frente montañoso sur FMS de actividad moderada a alta, controlado por la falla Armenia y limitado al norte y al sur por las fallas transversales Río Verde y Río Azul, respectivamente; el segundo segmento corresponde al frente montañoso norte (FMN) de actividad más reciente que el FMS, está enmarcado por las fallas Buenavista y Silvia Pijao y limita al sur por la falla Río Verde y al norte por el lineamiento Santo Domingo. Ambos segmentos están enlazados a través de una zona de transferencia NO-SE, generada a partir del traslape de las fallas Córdoba y Buenavista que evidencian la migración de la actividad tectónica reciente hacia el norte.

Palabras clave: morfometría; morfoneotectónica; frente montañoso; zona de transferencia; grado relativo de actividad tectónica reciente.

Abstract

In order to identify the segments that compose the west mountain front of cordillera Central of Colombia between Calarcá and Pijao and to determine the relative degree of recent tectonic activity, we integrated the morphometric evaluation, the fault's morphoneotectonic and the configuration of the quaternary deposits, this has allowed define two active segments of mountain front and a relict mountain front associated with the geomorphologic step marked by the Cordoba fault's escarp.

The first segment defined corresponds to the south mountain front (FMS) of high to moderate activity, this is controlled by Armenia's Fault and limited to the north and south by the

* Universidad de Caldas, Egresados Programa Geología, Colombia, e-mail: proyectosilvia@yahoo.com.mx

Río Verde and Río Azul transversals faults, respectively; the second segment corresponds to the forth mountain front (FMN) of more recent activity than the FMS, this is framed by the Buenavista and Silvia Pijao faults and this is limited to the south by the Río Verde fault and to the north by the Santo Domingo Lineament. Both segments are linked through a transfer zone NO-SE, generated from the overlap of the Córdoba and Buenavista faults that evidence the migration of the recent tectonic activity to the northward.

Key words: morphometry; morphoneotectonic; mountain front; transfer zone; relative degree of recent tectonic activity.

Introducción

El frente montañoso occidental de la cordillera Central de Colombia entre los municipios de Calarcá y Pijao, enmarcado por el Sistema de Fallas de Romeral (Figura 1), constituye una unidad geomorfológica regional perdurable en el tiempo geológico, que habla sobre la historia de los procesos tectónicos, erosivos y depositacionales, dando evidencias de la actividad tectónica reciente.

Con el objeto de cualificar tal actividad se tomó como unidad de análisis de deformación la cuenca de drenaje, que provee una idea de la evolución del paisaje a largo plazo, ya que su geometría responde a la naturaleza y distribución del levantamiento y la subsidencia, al arreglo espacial de las fallas, a la resistencia de las rocas y a la influencia climática. Esta unidad de análisis fue evaluada mediante la morfometría y tras integrar esta información con la morfoneotectónica de las fallas y la distribución y configuración de depósitos cuaternarios de FM, registros morfológicos a diferentes escalas, se logró un entendimiento más completo del tectonismo actual en esta zona.

Metodología

Inicialmente se recopiló información de la geología regional, morfotectónica y morfometría existente en la zona, además de estudios morfológicos realizados en otros frentes montañosos. Posteriormente planchas topográficas a escala 1:25000, se emplearon como herramienta fundamental en la obtención de los datos para el análisis morfométrico de las cuencas adyacentes al segmento de FM evaluado, calculando los siguientes índices geomorfológicos de tectonismo activo: Sinuosidad del frente montañoso (Smf), Razón del ancho del piso y altura del valle (Vf), Curva hipsométrica (Keller & Pinter, 1996) y Perfil longitudinal fluvial (Duran, 1987); además el uso de DEM's permitió reconocer la configuración geomorfológica y estructural. Por último, al conjugar el análisis morfométrico y la relación fallas-depósitos cuaternarios, se obtuvo el grado relativo de actividad tectónica reciente y el modelo tectónico para éste segmento de FM.

tación del Glacis del Quindío, conformado por flujos de escombros, sedimentos fluvio-glaciares, lacustres y tefras de caída, materiales originados por el deshielo de los glaciares plio-pleistocenos debido a la actividad de los volcanes Nevado del Quindío, Nevado Santa Isabel y Cerro Santa Rosa.

En el Cuaternario se da la acumulación de espesas secuencias de cenizas provenientes de los volcanes del Complejo Ruiz-Tolima, y de aluviones recientes asociados a los ríos Santo Domingo y Quindío, entre otros. Además, la presencia de depósitos coluvio-aluviales, localizados en el frente montañoso occidental de la cordillera Central, identificados por Espinosa (en preparación) y cartografiados y caracterizados por Botero *et al.* (2004b), resultan de gran interés en el estudio de las fallas, ya que al igual que el Abanico del Quindío muestran una serie de indicios de actividad tectónica reciente asociada al Sistema de Fallas Silvia Pijao.

Geología estructural

El marco sismotectónico de Colombia está dominado por la interacción de las placas Nazca, que se dirige hacia el este, y Caribe que se mueve en dirección E-SE, las cuales convergen con la placa Suramérica que se desplaza hacia el SO. Esta interacción entre placas constituye la principal fuente generadora de esfuerzos que se propagan hacia el continente, dando lugar a zonas de deformación representadas por las cordilleras y los sistemas de fallas en general.

Es así como el segmento de FM evaluado, se encuentra dentro de la zona de influencia del Sistema de Fallas de Romeral de dirección NNE, específicamente del Sistema Silvia Pijao y sus antitéticas (falla Quebradanegra y lineamientos Sardinero y La Española), que responden al régimen regional transpresivo NO-SE (Vargas *et al.*, 2002). Además, se presentan estructuras de dirección NE-SO, falla Río Verde y los lineamientos Santo Domingo y río Azul, transversales al sistema de fallas de Romeral y relacionadas a un régimen de esfuerzos transtensivo (Vargas *et al.*, 2002), (Figura 1).

Las estructuras NNE definen una tectónica de bloques para este segmento de FM, identificando un bloque oriental BO entre las fallas San Jerónimo y Córdoba, un bloque central BC entre las fallas Córdoba y Silvia Pijao y un bloque occidental BO limitado por las fallas Silvia Pijao y Armenia.

El sistema Silvia Pijao está compuesto por trazas subparalelas que comprende las fallas El Salado, Navarco, Córdoba, Silvia Pijao, Buenavista y Armenia, que en general son inversas con componente de movimiento sinistral y alto ángulo de buzamiento hacia el este (París, 1997).

Evaluación de la actividad tectónica reciente del FM

Un primer acercamiento para evaluar la actividad tectónica reciente de un FM es la comparación de los flancos opuestos de la cordillera a la cual pertenece, donde se reflejan diferencias en la distancia a la

divisoria principal y en la forma, tamaño y espaciamiento de las cuencas; así, cuencas circulares se forman en flancos poco inclinados con baja actividad tectónica, mientras que cuencas elongadas se relacionan a flancos empinados de mayor actividad tectónica (Burbank y Anderson, 2001).

De acuerdo a lo anterior y tras analizar la asimetría de la cordillera Central de Colombia a la altura de Armenia, el flanco oriental extenso y suavemente inclinado con grandes cuencas circulares y espaciadas, contrasta con el occidental estrecho y empinado con pequeñas cuencas elongadas de espaciamiento cerrado, permitiendo atribuirle a este último mayor grado de actividad tectónica reciente (Figura 2).

Es así como el FM occidental de la cordillera Central entre los municipios

de Calarcá y Pijao con un valor bajo de Smf 1,35, es activo. Se caracteriza por estructuras transversales y cambios tanto en su orientación y linealidad, como en su configuración geomorfológica; diferenciando dos segmentos, FM sur FMS y FM norte FMN, además de un FM relicto FMR asociado a la falla Córdoba al norte de Pijao (Figura 3).

Morfometría del frente montañoso

El cálculo y análisis de los índices geomorfológicos se realizó para cada segmento de FM definido.

Segmento de frente montañoso sur (FMS)

Está controlado por la falla Armenia y limitado por el lineamiento Río Azul al sur y la falla Río Verde al norte, se caracteriza por una topografía abrupta de

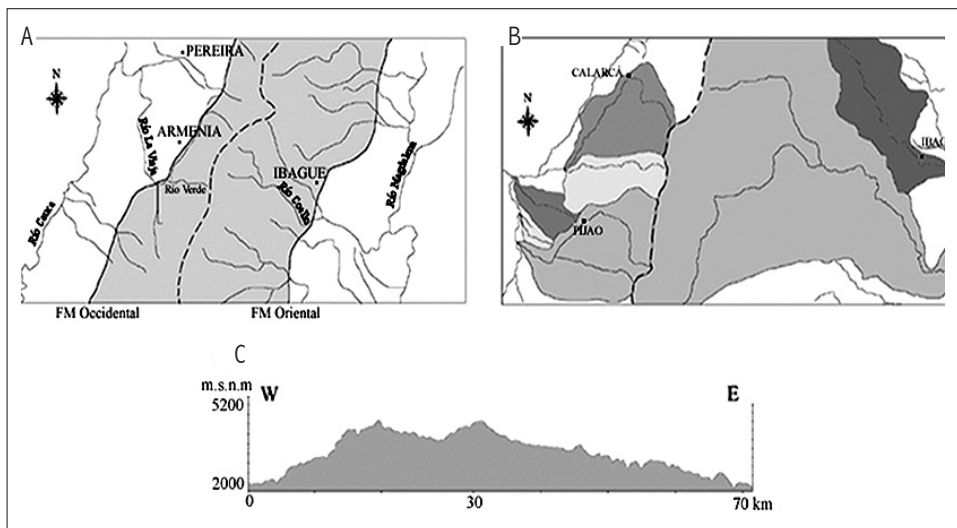


Figura 2. Asimetría de la cordillera Central (A), cuencas de drenaje para cada flanco (B) y perfil transversal (C). (Thouret *et. al.*, 1995, En Van der Hammen & Dos Santos, 1995)

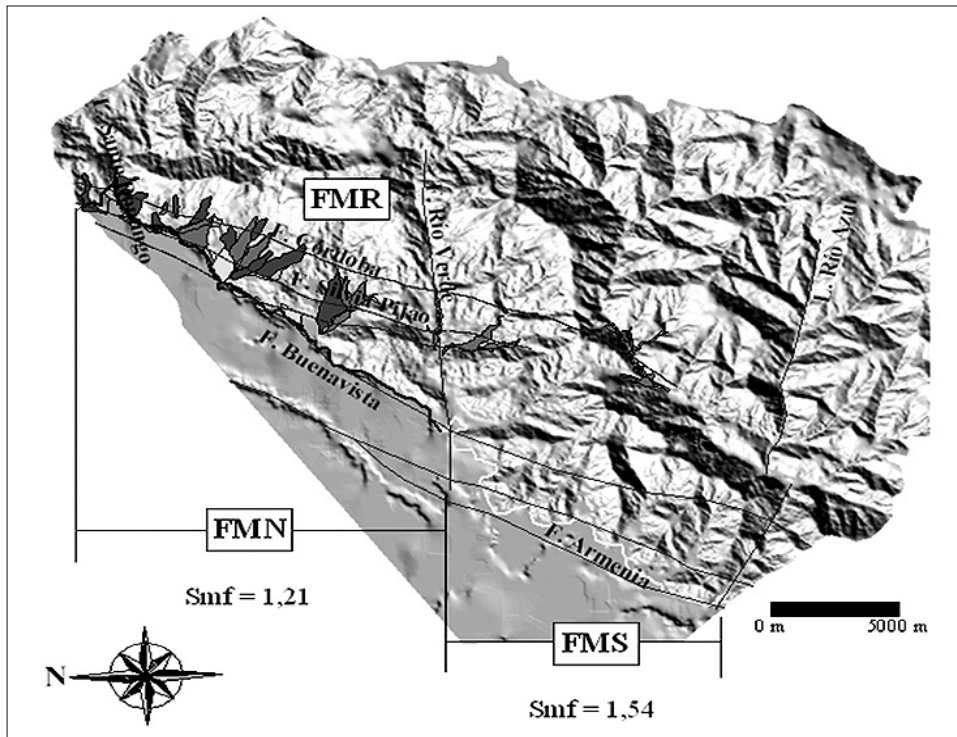


Figura 3. Segmentación del frente montañoso

vertientes empinadas, por ser levemente sinuoso y más occidental que el FMN, y con un Smf 1,54 corresponde a un FM activo (Figura 3). Las cuencas evaluadas para este segmento de FM son: río Lejos y las quebradas del Macho y de los Juanes (Figura 4 A).

Razón del ancho del piso y altura del valle (V_f)

Este índice calculado en el primer km aguas arriba a partir del FM, arrojó bajos valores que oscilan entre 0,75-2,43, los cuales son característicos de valles en “V” con alto grado de incisión formados en regiones que experimentan levanta-

miento activo, indicando que el BO está sufriendo este proceso.

Curva hipsométrica y perfil longitudinal fluvial

La curva calculada para río Lejos, en su parte alta por encima de las curvas teóricas, revela un rejuvenecimiento asociado al levantamiento del BO. En la parte media la baja topografía por debajo de la teórica indica el hundimiento del BC, que no se reconoce en el perfil longitudinal debido a que el río corre paralelo a las fallas Córdoba y Silvia Pijao sin mostrar anomalías. La parte baja con un relieve significativo por encima de la cur-

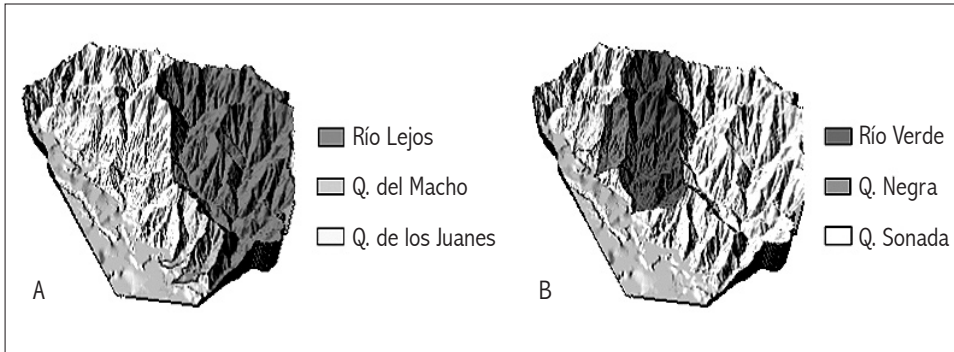


Figura 4. Cuencas evaluadas en el FMS (A), Cuencas evaluadas en el FMN (B)

va teórica, registra el levantamiento del BO que confirma la actividad del FMS. El BO se caracteriza como se observa en las quebradas Macho y Juanes por un escalonamiento sistemático producto de los movimientos verticales de las fallas Armenia y Buenavista (Figura 5).

Segmento de frente montañoso norte (FMN)

Está limitado por las fallas Buenavista y Silvia Pijao, enmarcado por la falla Río Verde al sur y el lineamiento Santo Domingo al norte, y antecedido por el FMR (Figura 3). Sobresale por su carácter lineal, disminución de relieve hacia el norte y concentración de depósitos cuaternarios de FM. Con un valor de S_{mf} 1,21 menor que en el FMS, se clasifica como un FM de actividad más reciente. Las cuencas evaluadas para este segmento de FM son: río Verde y las quebradas Negra y Sonadora (Figura 4 B).

Razón del ancho del piso y altura del valle (Vf)

Los valores para río Verde entre 2,84-

1,12, un poco mayores que en río Lejos, muestran valles en “V” más amplios en respuesta a la disminución progresiva del levantamiento del BO hacia el norte. Los valores más altos (2-5,6) encontrados en las cuencas de las quebradas Negra y Sonadora, insinúan amplios valles en “V” resultantes del hundimiento del BC por movimientos verticales de la falla Córdoba que abre las cuencas donde se acumularon depósitos cuaternarios de FM (Botero *et al.*, 2004a).

Curva hipsométrica y perfil longitudinal fluvial

Las curvas calculadas en las partes altas de las cuencas exhiben relieve por encima del esperado y formas convexas del perfil fluvial muy por encima del teórico, indicando un rejuvenecimiento topográfico asociado al levantamiento del BO. Las partes medias muestran una caída abrupta tanto del relieve como del gradiente del drenaje, seguida de la disminución gradual de los mismos, características asociadas al escarpe de la falla Córdoba que marca el FMR y al hun-

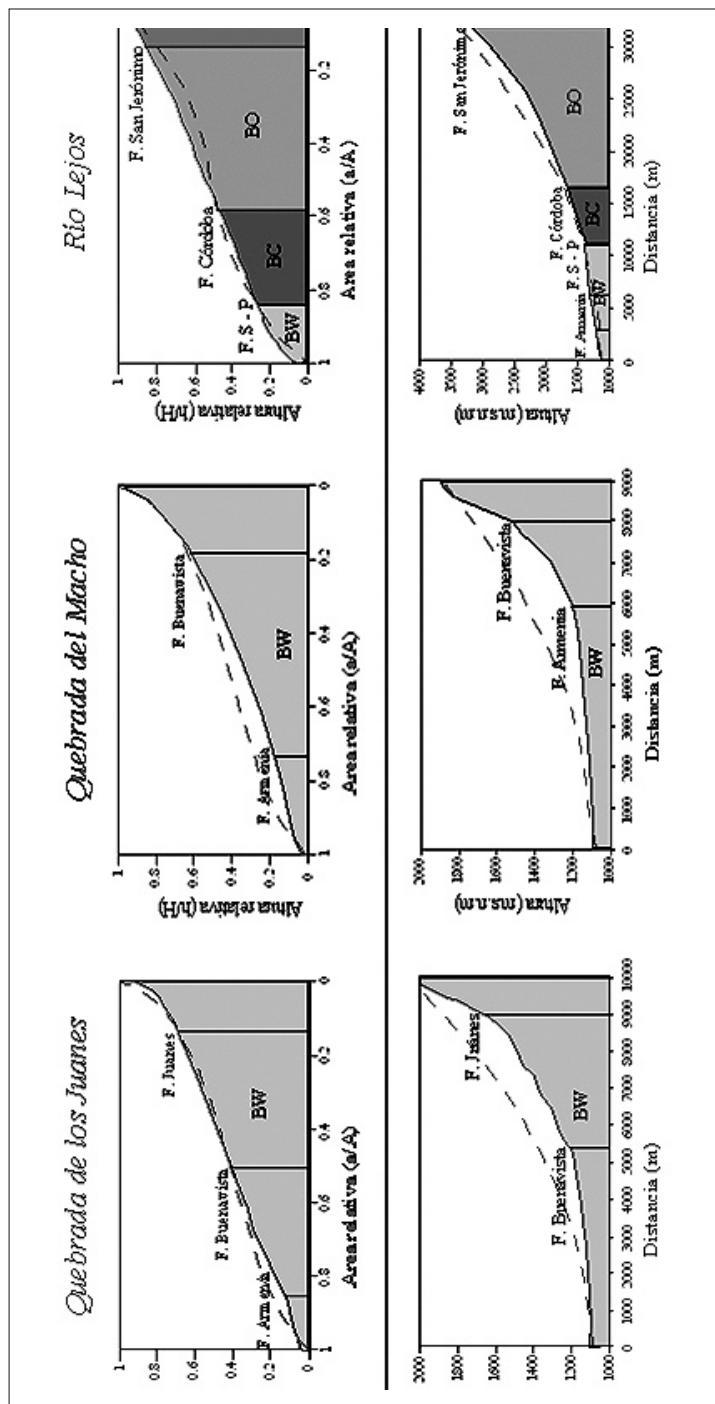


Figura 5. Curvas hipsométricas (A) y perfiles longitudinales fluviales (B) para el FMS. ---Teórico, —Real

dimiento del BC. Las partes bajas exhiben un aumento sutil del relieve y en especial el perfil longitudinal de río Verde cóncavo y por encima del teórico, registra el levantamiento menor del BO hacia el norte que bascula las zonas distales de los depósitos cuaternarios de FM, en respuesta a movimientos recientes de la falla Silvia Pijao (Figura 6).

Asignación del grado relativo de actividad tectónica reciente

El primer paso es determinar la clase de actividad tectónica que presentan los FMs identificados. Teniendo en cuenta los valores de S_{mf} para FMS y FMN, 1,54 y 1,21 respectivamente, se propone de acuerdo a la clasificación de Bull y McFadden (1977, en Van Zuidam, 1991), que ambos son FMs activos clase 1 (S_{mf} 1,2-1,6) asociados a abanicos aluviales no atrincherados, cuencas de drenaje elongadas, valles de pisos estrechos y vertientes empinadas. El segundo paso es combinar esta clase de actividad con los índices geomorfológicos; así, el FMS aunque es levemente sinuoso tiene bajos valores de S_{mf} y V_f que sugieren levantamiento activo, corroborado con el aumento del relieve en la cuenca baja de río Lejos. Estas características conducen a clasificarlo como un FM activo clase 1 con un grado de actividad tectónica moderada a alta.

El FMN de carácter lineal, arroja en comparación con el FMS un S_{mf} más bajo y V_f s un poco mayores, lo que sugiere levantamiento activo más reciente apoyado en la disminución del relieve hacia el norte por el reciente movimien-

to vertical de las fallas Buenavista y Silvia Pijao; esta última bascula las zonas distales de los depósitos cuaternarios de FM. Por todo lo anterior el FMN se clasifica como un FM activo clase 1 con un grado de actividad alto y más reciente que en el FMS.

Discusión y conclusiones

¿Por qué el FMN tiene actividad más reciente que el FMS? En planta el FM presenta un escalón lateral derecho que se conecta por fallas transversales (Figura 1), donde su análisis detallado permitió identificar una zona de transferencia NO-SE (Figura 7), sugiriendo un mecanismo de crecimiento del FM por enlace de segmentos de falla y no por la propagación de una falla única.

Una zona de transferencia se genera cuando una falla joven se propaga y traslapa la terminación de una falla antigua acomodando desplazamiento que fue ocupado por la última, donde ambas se conectan por fallas de transferencia cortas y oblicuas. Además cuencas de drenaje oblicuas que marcan la terminación de ambas fallas y la disminución del relieve topográfico a lo largo de la falla en propagación, son algunas evidencias geomorfológicas de la transferencia de la deformación de una falla a otra (Burbank & Anderson, 2001).

Este es el caso del sistema de fallas Silvia Pijao entre Calarcá y Pijao, donde el segmento que evidencia la actividad antigua es la falla Córdoba (FMR) y los segmentos jóvenes son las fallas Buenavista

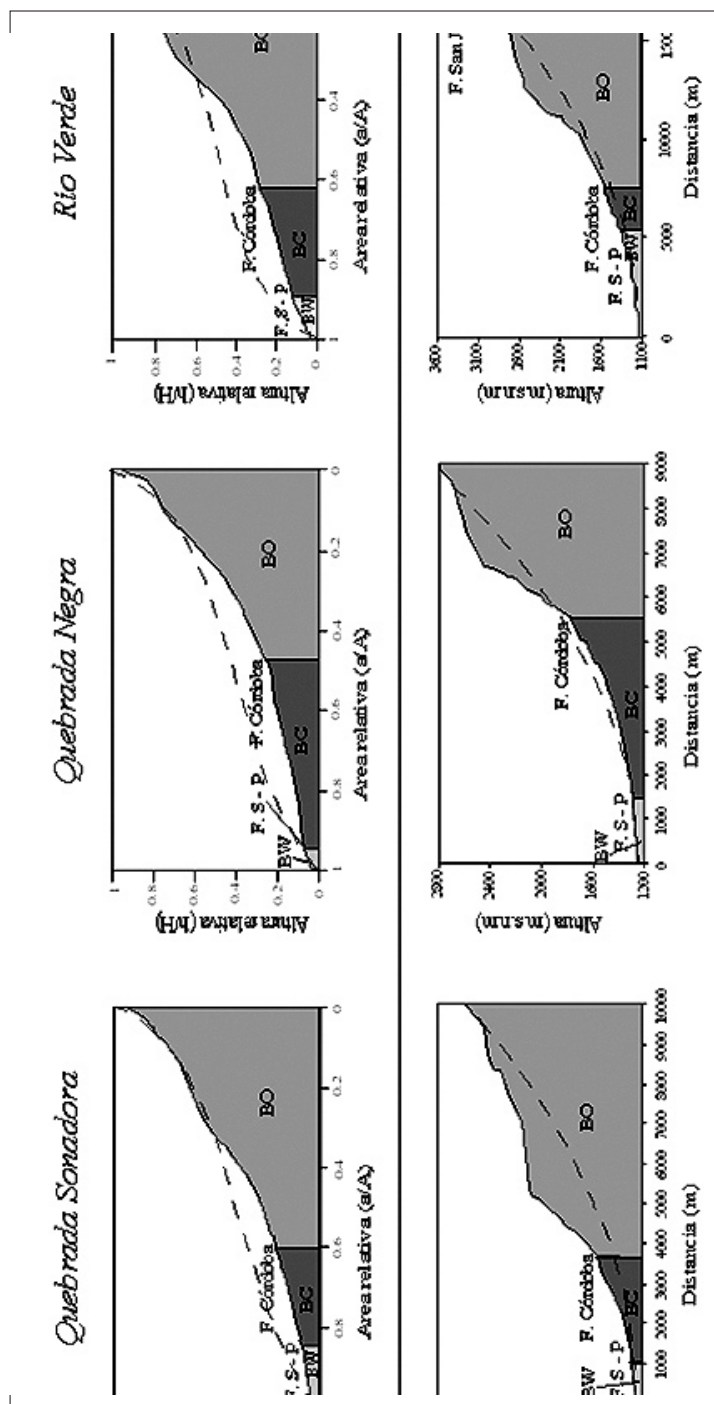


Figura 6. Curvas hipsométricas (A) y perfiles longitudinales fluviales (B) para el FMN. --- Teórico, — Real

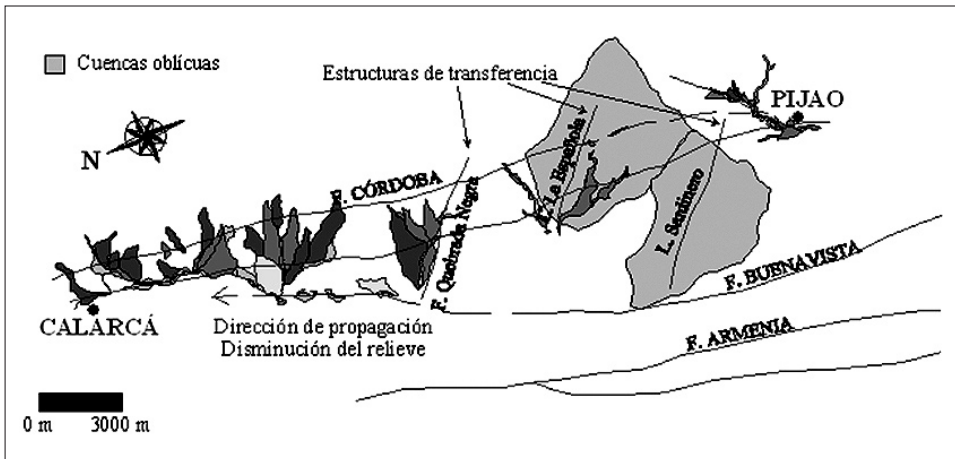


Figura 7. Zona de transferencia NO-SE entre el Lineamiento Sardinero y la falla quebrada Negra

y Armenia. La falla Buenavista juega un papel importante dentro de los mecanismos de crecimiento actuales, ya que traslapa la terminación de la falla Córdoba al norte de Pijao, generando una zona de transferencia de geometría compleja donde están los lineamientos transversales antitéticos Sardinero, La Española y la falla Quebradanegra, además de las cuencas oblicuas de las quebradas Sardinero y La Española (Figura 7). Estos aspectos evidencian la propagación de la actividad tectónica reciente hacia el norte, posicionando a la falla Buenavista como la que controla el FMN de actividad más reciente que el FMS.

Agradecimientos

Los autores agradecen a las Universidades de Caldas y del Quindío, a la Corporación Regional del Quindío y al comité organizador de las IV Jornadas

Venezolanas de Sismicidad Histórica y V Simposio Venezolano de Historia de las Geociencias.

Referencias citadas

- BOTERO, P.; GARCÍA, L.; HERNÁNDEZ, C.; SEPÚLVEDA, L. y TORRES, E. 2004a. *Cartografía de Depósitos Cuaternarios y Evaluación Morfotectónica de las Fallas Silvia Pijao y Córdoba entre los municipios de Calarcá y Pijao (Quindío). "Un Enfoque hacia la Paleosismicidad"*. Universidad de Caldas. Manizales-Colombia: Trabajo Especial de Grado.
- BOTERO, P.; GARCÍA, L.; HERNÁNDEZ, C.; SEPÚLVEDA, L.; TORRES, E.; AGUIRRE, Y. y ESPINOSA, A. 2004b. Depósitos Pliocuaternarios del Frente Montañoso Occidental de la Cordillera Central entre los municipios de Calarcá y Pijao (Quindío), ¿una evidencia de Actividad Tectónica Reciente? *Memorias Primer*

- Congreso Latinoamericano de Sismología y Segundo Congreso Colombiano de Sismología*: 148: Armenia, Colombia (16-21 de agosto, 2004).
- BURBANK, D. O. y ANDERSON, R. S. 2001. **Tectonic Geomorphology**. Editora BlackOell Science. USA.
- DURAN, L. G. 1987. *Geomorfología Analítica de los Perfiles Fluviales Longitudinales*. **Revista de la Academia Colombiana de Ciencias**. XII (46): 218-229.
- GONZÁLEZ, I. H. y NÚÑEZ, T. A. 1991. *Mapa Geológico generalizado del Departamento del Quindío Escala 1:100.000*. Bogotá-Colombia: Memoria explicativa. Ingeominas.
- KELLER, E. y PINTER, N. 1996. **Active Tectonics: Earthquakes Uplift and Landscape**. Editora Prentice Hall. Santa Barbara, California (USA).
- MOJICA, J.; ARÉVALO, O.; BLANCO, M.; MALAGÓN, F.; CAYCEDO, H. y ESPINOSA, A. 2001. Geología del flanco Occidental de la Cordillera Central entre Salento, Génova y Caicedonia. Quindío-Valle. Colombia. *Memorias VIII Congreso Colombiano de Geología y V Conferencia de Geología Ambiental*: Manizales, Colombia.
- PARIS, G. 1997. *Fallas potencialmente sísmicas que pueden afectar las obras del complejo vial y cruces a desnivel de la 2ª con Avenida Bolívar y de la Cejita en la Avenida República del Líbano*. Alcaldía de Armenia. Armenia-Colombia. Informe Especial.
- VAN DER HAMMEN, T. y DOS SANTOS, A. 1996. **Estudio de Ecosistemas Tro-poandinos. La Cordillera Central Colombiana transecto Parque de los Nevados**. Gerbruder Borntraeger. Berlín.
- VAN ZUIDAM, R. A. 1991. *Morphotectonics and Earthquake Hazard*. Bogotá-Colombia. Reporte Técnico compilado desde la literatura ITC-IGAC-Project.
- VARGAS, A.; BARRIENTOS, A. y CHICANGANA, G. 2002. Determinación de esfuerzos a partir de los análisis de la microtectónica en algunos sectores de los Sistemas de Fallas que cruzan el Eje Cafetero, Colombia. S.A. *Memorias Primer Simposio Colombiano de Sismología*: Bogotá-Colombia.