



## EL SISMO DE ARMENIA (COLOMBIA) DEL 25 DE ENERO DE 1999:

Un análisis Telesísmico de Ondas de Cuerpo, Observaciones de campo y aspectos Sismotectónicos  
H. Monsalve-Jaramillo

Facultad de Ingeniería, Universidad del Quindío, Armenia, COLOMBIA  
email: hugom@uniquindio.edu.co

C.A. Vargas-Jimenez

Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, COLOMBIA  
email: cvargas@ciencias.unal.edu.co

### RESUMEN

El sismo de Armenia (Colombia) del 25 de Enero de 1999 18:19:16 UT, fue originado por una falla Normal de desplazamiento lateral izquierdo, con una longitud de ruptura de 11.7 km y un ancho de 10.6 km, para un área total de ruptura estimada en 124 km<sup>2</sup>. Se obtuvieron 903 réplicas de buena localización, distribuidas en su mayoría en profundidades de 9-20 km, para la determinación del área de ruptura. La distribución de réplicas, el mapa tectónico y el estudio del parámetro b de Richter, indican una fuente de ruptura simple con orientación SE - NW, que involucró dos fallas aledañas a la falla Córdoba, con movimientos posteriores al evento principal. El proceso de ruptura se modeló utilizando una inversión formal de ondas telesísmicas de cuerpo, con registros de desplazamiento de banda ancha con ondas en el rango de 5 a 0.01 Hz. El mecanismo focal sugiere una falla normal de desplazamiento lateral izquierdo con un buzamiento  $\delta = 67.3^\circ$  hacia el este, un azimuth  $\phi = 356^\circ \pm 10^\circ$  y un ángulo de deslizamiento  $\lambda = -33.8^\circ$ . Se obtuvo una profundidad del centroide de  $H = 18.6$  km, con un RMS normalizado de 0.51  $\mu m$ . El momento sísmico calculado fue de  $2.1 \cdot 10^{25}$  dina-cm y una dislocación estimada  $\Delta_u = 48.4$  cm. Se estimó la energía radiada para nueve réplicas con  $3.0 \cdot 10^{20} \leq M_0 \leq 1.13 \cdot 10^{22}$  dina-cm, calculados con la onda SH y el Método de Brune.

### INTRODUCCIÓN

El sismo del 25 de enero de 1999 de magnitud  $M_w = 6.2$ , ocasionado por una falla superficial en la corteza continental (Gil et al, 1999; Espinosa et al, 1999), es el sismo más grande registrado instrumentalmente en el eje cafetero colombiano. Se localizó en inmediaciones del municipio de Córdoba (Quindío), a 17 kilómetros de la ciudad de Armenia. Un día después de ocurrido el sismo, el INGEOMINAS emprendió a través de la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC) y la Red Nacional de Acelerógrafos de Colombia (RNAC), una campaña de monitoreo de la zona epicentral y sectores del Eje Cafetero bastante afectados, a través de sismógrafos y acelerógrafos, con el fin de determinar la distribución de las réplicas y los mecanismos de ruptura que se generaron del sismo principal y subsiguientes.

El objetivo de este trabajo fué obtener mediante la inversión de ondas telesísmicas de cuerpo el proceso de ruptura y el análisis de la mayor réplica del sismo del 25 de Enero de 1999, para mejorar los estudios posteriores de amenaza sísmica y consolidar los estudios de sismología básica en el eje Cafetero Colombiano. Las investigaciones sobre sismicidad superficial en el eje Cafetero son prácticamente nulas, debido a la carencia de una red local que permita obtener registros sísmicos para poder comprender los sistemas de fallas corticales y la sismicidad al nivel de la zona Wadatti-Benioff de la placa Nazca subducida en la región.

### MARCO TECTONICO

El marco tectónico general plantea la presencia de una junta triple producto de la unión de las placas Nazca, Caribe y Sur América; esta condición se ha presentado durante los últimos 5 m.a. Los mecanismos tectónicos

PRIMER SIMPOSIO COLOMBIANO DE SISMOLOGIA  
"Avances de la Sismología en los últimos veinte años"  
Bogotá, Octubre 9-10-11 de 2002



Posgrado de Geofísica



que afectan al noroeste de Colombia son la subducción y el fallamiento transcurrente. En Colombia la placa de Nazca se desliza hacia el Este a lo largo del bloque de Panamá que se mueve hacia el Oeste *DeMets et al (1994)*. Este proceso tectónico, generó el sistema andino de Sur América y la zona de estudio se encuentra localizada en los Andes septentrionales en la esquina Noroeste de Colombia.

Los márgenes de los Andes de Sur América y la región circundante han sido objeto de estudios para aclarar el panorama tectónico de esta compleja región, básicamente por la presencia de la junta triple de Cocos-Nazca y Caribe. La cuenca de Panamá es el área encerrada por el escudo continental de Colombia y Panamá y las dorsales de Cocos y Carnegie, la cuenca ha sido formada por el esparcimiento del piso oceánico a través de los límites de las placas Cocos y Nazca desde el rompimiento de la placa Farallón hace 27 m.a.

### **FALLAS ACTIVAS SUPERFICIALES EN EL AREA DE ESTUDIO**

#### **Falla Silvia-Pijao**

El sistema de fallas Silvia-Pijao presenta una dirección preferencial en sentido NNE, y está conformado por abundantes ramificaciones, que hacen diferenciar una gran cantidad de segmentos con relaciones geométricas complejas entre sí, mostrándose numerosas bifurcaciones y confluencias, dentro de una faja con una amplitud cercana a los 10 km. Resulta de interés el alto número de segmentos diferenciados, originado por la misma geometría del sistema y su continuidad a lo largo del occidente colombiano. Todos estos segmentos pueden asumirse que se comportan como fuentes sísmicas individuales. En algunos lugares se muestran rasgos muy destacados que sugieren que dentro de este sistema de fallas, algunos de sus segmentos pueden mostrar una tasa de actividad entre moderada y alta. A su vez las denominadas fallas de Córdoba y Navarco, hacia el oriente del sistema en discusión muestran una fuerte expresión geomorfológica, destacándose su continuidad y el control de los drenajes, ver figura 1.

#### **Falla Armenia**

Dicha falla presenta rasgos contundentes de actividad precisamente sobre el propio sector donde se localiza la ciudad de Armenia; la estructura exhibe un escarpe, con una diferencia altimétrica cercana a los 30 metros, con cara libre hacia el E. Los rasgos morfo-tectónicos son diagnósticos y generalizados en su bloque occidental, y consisten además del escarpe de falla, primordialmente de basculamiento e inversión de la red de drenaje.

Hacia el S de la ciudad de Armenia, la Falla Armenia establece control sobre el río Quindío hasta donde estas cambia abruptamente de sentido hacia el W. El extremo Norte del trazo, exhibe la continuación del escarpe hasta el sector de la población de Circasia, *Guzman (1997)*. Las fallas que cubren la región epicentral, han sido estudiadas y mapeadas por *Guzman (1997)*, *Paris (1997)*, trazos que corresponden al sistema de fallas Silvia-Pijao, Córdoba, Armenia, el Salado y San Jerónimo.

### **METODOLOGIA Y PROCESAMIENTO DE DATOS**

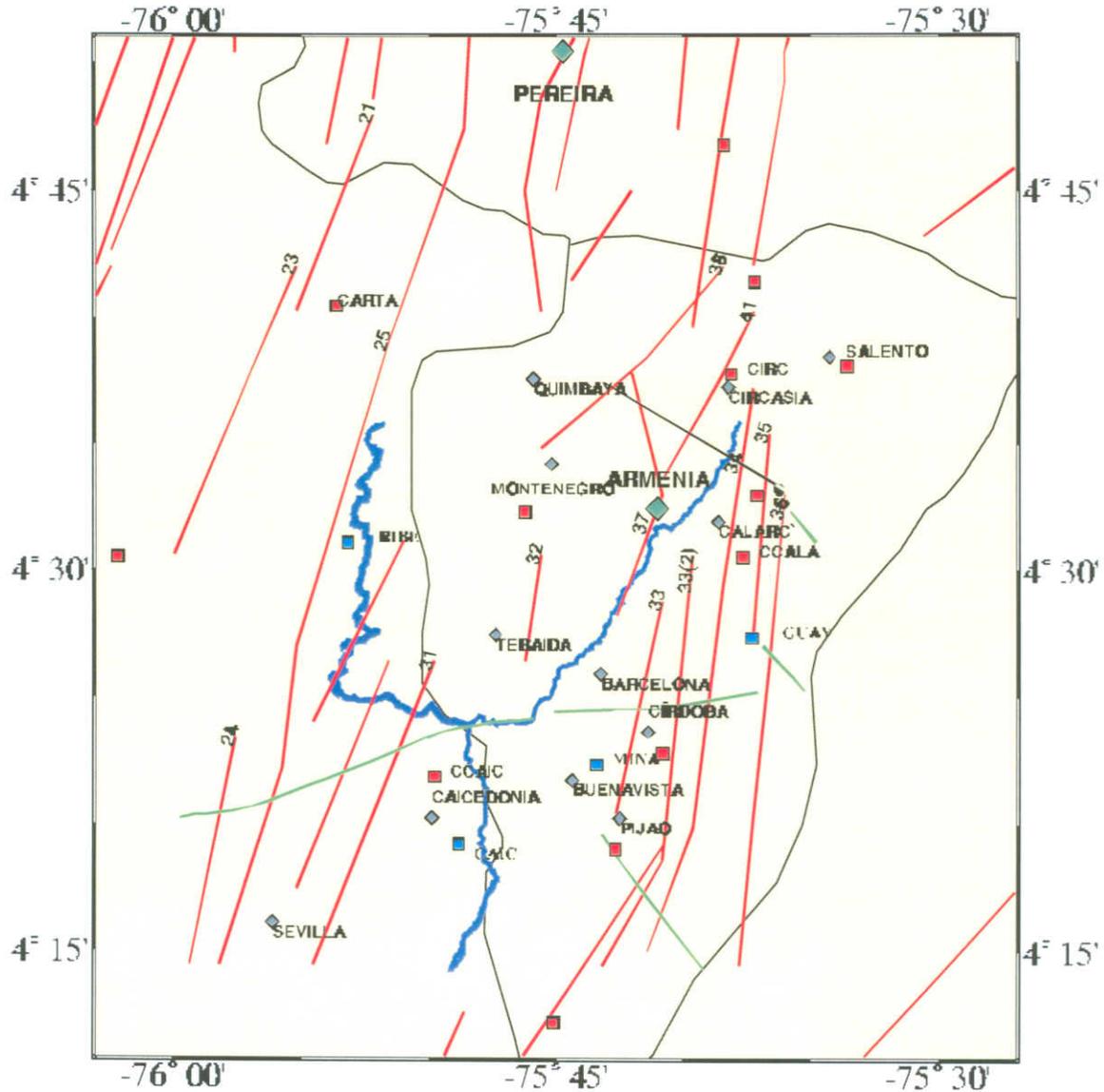
#### **Instrumentación y Adquisición de Datos**

La red sísmológica local (figura 1) estuvo conformada básicamente por cuatro tipos de instrumentos: acelerógrafos digitales de tres componentes, sismógrafos portátiles de una componente (vertical), sismógrafos telemétricos de una componente (vertical) y sismógrafos digitales portátiles de tres componentes, *Gil et al (1999)*. Debido a la carencia de estaciones sísmológicas en la región, no fue posible obtener una localización de buena calidad del evento principal. Sin embargo, se encontraban instalados dos acelerógrafos, uno en la Universidad del Quindío (perteneciente a la Red Nacional de Acelerógrafos, RNAC) y uno en cercanías al municipio de Filandia (perteneciente a la Universidad del Quindío), que permitieron tener los registros para los análisis de los efectos para las estructuras, *Ingeominas (1995)*; donde se señalan los notorios efectos de sitio de estas dos estaciones, que se encuentran localizadas en suelos de cenizas volcánicas de unos 20-30 m de espesor. Para los estudios sísmológicos, son necesarios registros en roca ó en suelos duros, y para





este propósito el único registro cercano, se obtuvo en la estación BOCA (planta de la bocatoma del acueducto de Pereira), con un acelerógrafo K2 de Kinematics con un ancho de banda de 0.1-50 Hz.





$$\log N = a - bM \quad (1)$$

Expresión que relaciona el número de sismos con respecto a las magnitudes, es decir es una relación empírica de frecuencias-magnitudes, donde aparecen dos constantes,  $a$ , que expresa la máxima magnitud que daría la muestra y  $b$ , el parámetro que nos muestra la pendiente de la recta que se obtiene de la ecuación (1). El parámetro  $b$  refleja la actividad sísmica de una región y de esta manera la plantearon sus creadores.

La expresión o interpretación de esa actividad va relacionada con el campo de esfuerzos, ya que se sabe que la acumulación de esfuerzos en una zona depende de qué tan continua sea la sismicidad en la región. A mayor recurrencia sísmica, la energía confinada en el material sólido tendrá un proceso gradual de liberación y por tanto será menor la acumulación de esfuerzos en la zona y viceversa. Además, las condiciones mecánicas de la roca influyen en los procesos sísmicos, es decir su competencia o más bien su resistencia interna y composición, determinan las condiciones de resistencia o grado de fracturamiento del material ante la presencia de un esfuerzo determinado. Por lo tanto el parámetro  $b$  permite inferir algunas características de la región (Ritcher, 1954). Tomando la réplicas y observando su variación en el tiempo, la ecuación nos dará las características de cómo ha evolucionado la zona de ruptura para el sismo en estudio. Una aplicación la desarrolló, *Aki (1981) citado en Cisternas et al (1982)*, ligando el parámetro  $b$  y la dimensión de la ruptura, donde el número de eventos en una región se relaciona con la longitud  $L$  dada por:

$$N \approx L^{\frac{b}{c}} \quad (2)$$

La variación del parámetro  $b$  se puede observar en la figura 2, donde este se incrementa cuando nos movemos de sur a norte, al pasar del sector 3 al 1. Igualmente, la dimensión fractal  $\frac{b}{c}$  cambia del sector 1 al sector 2, con una variación del 0.6%, que implica que no se presenta un fallamiento complejo, sino más bien un plano simple de falla, es decir no se presentan planos múltiples de fallas. Al pasar del sector 2 al 3 la variación es del 12%, lo que implica que puede existir otra falla comprometida en el movimiento, en este caso estamos viendo la posibilidad que la falla Armenia presente movimiento asociado al evento principal. De acuerdo con el mismo autor,  $c$  es la pendiente del  $\log M_0$  Vs  $M_L$ , esta relación para zona se puede ver en la figura 3