

ANÁLISIS MACROSÍSMICO DEL TERREMOTO DE MURINDÓ- ANTIOQUIA (COLOMBIA) OCTUBRE DE 1992

Juan Pablo Marín Arias¹; Luz Yenci Valencia Muñoz²; Lina María Rendón Cardona³

RESUMEN

El estudio macrosísmico del terremoto de Murindó (octubre 18 de 1992) ha sido elaborado siguiendo la metodología de Shebalín (1974). El evento sísmico afectó la región del Urabá Antioqueño y el epicentro fue localizado al este del municipio de Murindó, con una Intensidad máxima estimada de X⁰ (MM). La dirección de máxima elongación trazada para el modelo de ruptura presenta gran concordancia con los datos de buzamiento y azimut de la falla Murindó propuestos por autores como Montes y Sandoval (2001) y Paris et al. (2000), la cual se asocia como la generadora del evento sísmico.

Palabras Clave: campo Macrosísmico, intensidad, parámetros macrosísmicos, atenuación azimutal, modelo de ruptura.

MACROSEISMIC ANALYSIS OF THE MURINDÓ-ANTIOQUIA EARTHQUAKE (COLOMBIA) OCTOBER 1992

ABSTRACT

The macroseismic study of the Murindó earthquake (October 18, 1992) has been carried out according to the Shebalín methodology ((1974). The seismic event affected the Urabá Antioqueño region and the epicentre was tracked down in the eastern part of the municipality of Murindó with an estimated maximum intensity of X⁰ (MM). The direction of maximum elongation traced by the rupture model shows great concordance with the dipping and azimuth data of the Murindó fault proposed by authors such as Montes and Sandoval (2001) and Paris et al. (2000), which is associated as the generator of the seismic event.

Key Words: Macroseismic field, intensity, macroseismic parameters, azimuthal attenuation, rupture model.

¹Universidad de Caldas. A.A. 275. Manizales. Colombia. jupamarin@yahoo.com

²Universidad de Caldas. A.A. 275. Manizales. Colombia. yencival@yahoo.es

³Universidad de Caldas. A.A. 275. Manizales. Colombia. linam_rendon@yahoo.com

INTRODUCCIÓN

A las 15:11:59 horas (GMT) del 18 de octubre de 1992, el municipio de Murindó y las poblaciones de la región del Urabá Antioqueño fueron estremecidas por un sismo de magnitud 7,2 en la escala de Richter y cuya intensidad se estimó en X° en la escala MM. En este artículo se adoptan metodologías desarrolladas por Blake (1941), Shebalín (1974) y Bottari et al. (1986), con el fin de definir los parámetros focales a partir del estudio de los efectos producidos por el sismo en superficie.

MARCO TECTÓNICO LOCAL

La zona de estudio se encuentra localizada en la parte noroccidental de Colombia, con una tectónica compleja, asociada a la colisión del bloque de Panamá con la placa Suramericana (Taboada et al., 1998). Incluye las fallas de Murri, Mutatá y Murindó (FIGURA 1). En 1998, Monsalve et al., hacen una relocalización de la sismicidad de la zona, concentrándose la sismicidad superficial en la falla Murindó. Relaciones topográficas indican la presencia de una fosa tectónica de 20 km de ancho entre las fallas Murri y Murindó (Montes y Sandoval, 2001).

“Las microplacas de Panamá - Costa Rica y el Bloque Norte de los Andes han sido propuestos para explicar la complejidad tectónica del área donde las principales placas Tectónicas convergen (Pennington, 1981; Kellogg y Vega, 1995). Se podría afirmar que existe colisión entre estas microplacas, colisión probablemente responsable de gran parte de la sismicidad en la zona de Murindó [Ingeominas, 1999 (b)]” (Montes y Sandoval, 2001).

Descripción de las Fallas Asociadas

- Falla Murindó: se extiende a lo largo del flanco oeste de la Cordillera Occidental, desde la parte sur del río Arquía, hasta Riosucio y la cuenca del río Atrato en el norte.

Geometría de la Falla:

- Longitud: 60,6 km
- Rumbo promedio: $N12,6^{\circ}W \pm 6^{\circ}$
- Inclinación promedio: alta, probablemente hacia el este
- Sentido del movimiento: sinextral

- Falla Murri: localizada al oeste de la Cordillera Occidental de Colombia.

Geometría de la Falla:

- Longitud: 87,1 km
- Rumbo promedio: $N1,4^{\circ}E \pm 5^{\circ}$
- Sentido del movimiento: sinextral inversa

- Falla Mutatá: está localizada en el noroeste de Colombia, entre el río Penderisco y el Mar Caribe.

Geometría de la Falla:

- Longitud: 44,7 km
- Rumbo promedio: $N33,6^{\circ}W \pm 11^{\circ}$
- Inclinación promedio: probablemente media a alta con inclinación hacia el este
 - Sentido del movimiento: sinextral inversa

DATOS MACROSÍSMICOS E INSTRUMENTALES

Tradicionalmente, en Colombia la investigación sísmológica ha estado más orientada al estudio de los datos instrumentales dejando en un segundo plano el estudio macrosísmico, el cual es fundamentado en los estudios de sismicidad histórica basados en la recolección, análisis y evaluación de los eventos históricos de una región desde el punto de vista de sus efectos en superficie.

La información macrosísmica utilizada se obtuvo a través de la recopilación del mapa de isosistas existente para el sismo ocurrido el 18 de octubre de 1992 en la región del Urabá Antioqueño. En la TABLA 1 se puede observar la base de datos macrosísmica e instrumental utilizada.

PARÁMETROS MACROSÍSMICOS

En este trabajo se adoptaron los modelos de Shebalín (1974), Blake (1941), Bottari et al. (1982) y Bottari et al. (1986), para la elaboración del modelo geométrico del foco. La base de datos utilizada para los cálculos de los diferentes parámetros puede ser observada en la TABLA 2. Esta información se toma del mapa de isosistas.

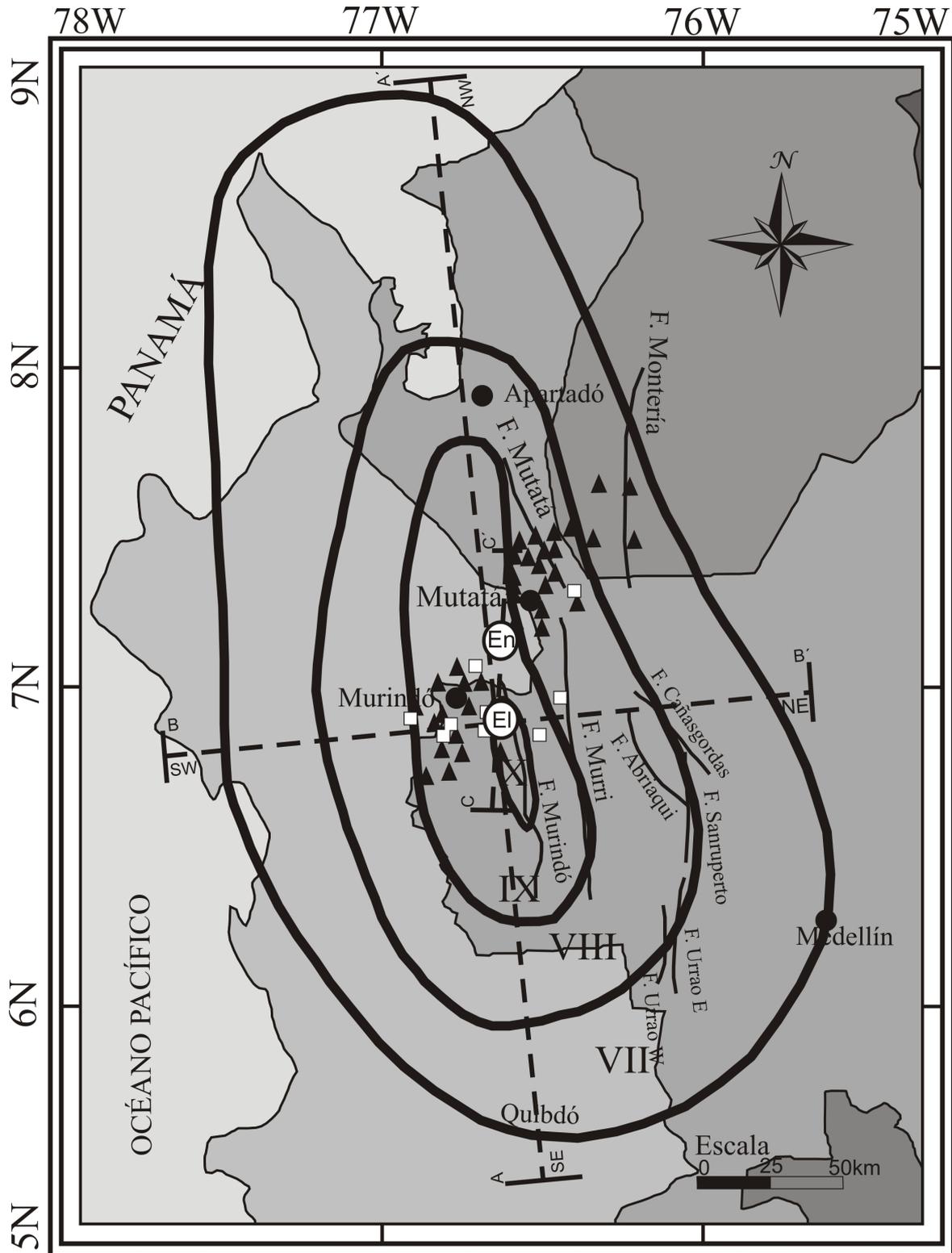


FIGURA 2. Mapa de isosistas del terremoto de Murindó del 18 de octubre de 1992. Los cuadros representan los premonitorios del sismo y los triángulos representan las réplicas, los cuales fueron tomados desde el 17 hasta el 31 de octubre de 1992.

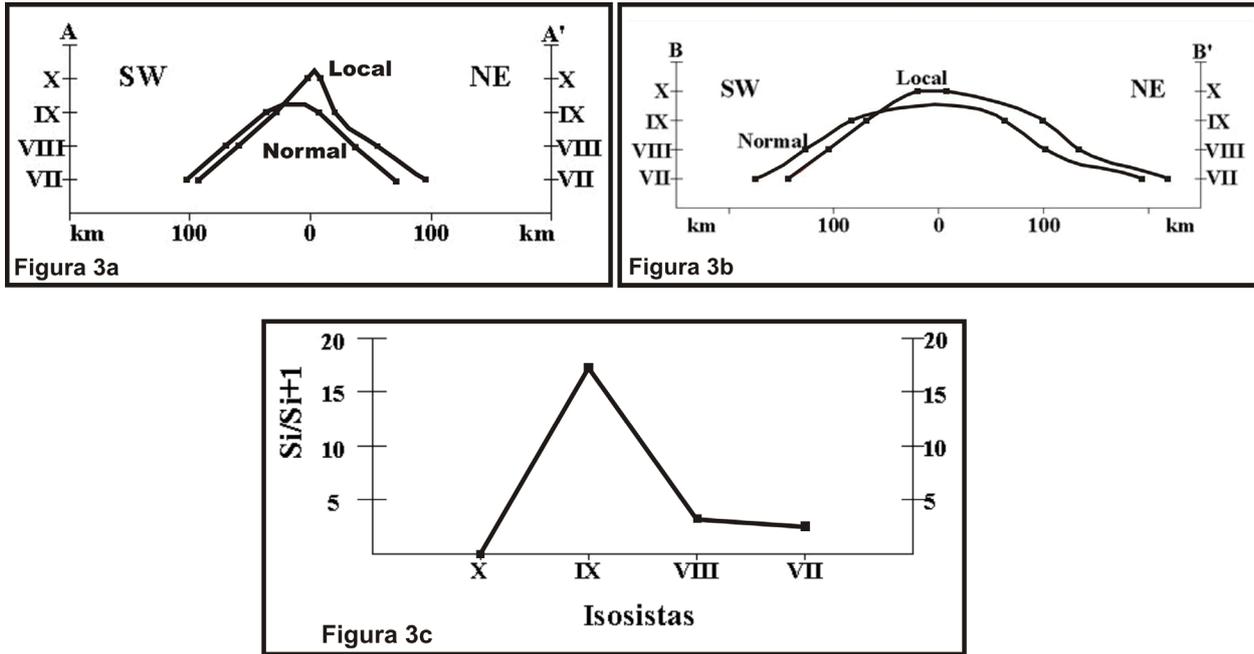


FIGURA 3. (a) Corte Transversal, (b) Corte Longitudinal y (c) Relación $S_i/S_{i+1} = f(i)$.

Los parámetros más importantes que se determinan en un estudio macrosísmico son:

- Epicentros macrosísmicos local El y normal En.
- El coeficiente de atenuación sísmica γ (coeficiente de Blake-Shebalín).
- La profundidad focal normal y local:

$$h = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{R_i}{\sqrt{10^{2(I_{oc}-I_i)/\gamma} - 1}}$$

- N: Número de isosistas en el campo normal o local, identificadas respectivamente.
- R_i : Radio de isosistas del campo macrosísmico correspondiente.
- I_{oc} : Intensidad epicentral (en el campo local o en el normal), tomados de Rendón y Valencia (2004).
- I_i : Isosista de mayor grado (en el campo local o en el normal)
- γ : Coeficiente de atenuación sísmica.

- Extensión horizontal del foco normal y local:

$$L_x = \frac{(d_{1max} - d_{1min}) + (d_{2max} - d_{2min})}{2}$$

- d_{1max} : diámetro mayor de la isosista de mayor grado (del campo normal o local).
- d_{1min} : diámetro menor de la isosista de mayor grado (del campo normal o local).
- d_{2max} : diámetro mayor de la isosista n-1 (del campo normal o local).
- d_{2min} : diámetro menor de la isosista n-1 (del campo normal o local).

- Extensión vertical del foco:

$$L_z = 1,5 (h_n - h_1)$$

- Coeficiente de atenuación azimutal:

$$\alpha_z = \frac{(\gamma \Delta)}{2.303 D^2 I}$$

Donde

Δ : distancia media al epicentro (radio medio de la i-esima isosista)

$$D = \sqrt{hn^2 + \Delta^2} : \text{distancia hipocentral}$$

$$I = I_{oc}$$

Los resultados de la aplicación del método propuesto son presentados en la TABLA 3. Los valores de los coeficientes de atenuación fueron calculados para varias direcciones en las cuales se observaron diferentes tendencias de propagación (en el mapa de isosistas).

TABLA 3. Atenuación azimutal para las direcciones de propagación propuestas.

Dirección	I_{oc}	Δi	γ	αz
NNW	10,289	267,870	2,887	4,28711E-07
NNE	10,289	253,190	2,580	4,02606E-07
SSE	10,289	267,100	2,813	4,18733E-07
SSW	10,289	261,140	2,687	4,0806E-07

- Magnitud macrosísmica:

$$M = 0,5 I_o + \log h_n + 0,35$$

- Distancia entre epicentros d (Normal y Local):

$$d = \sqrt{(Lat_{Local} - Lat_{Normal})^2 + (Long_{Local} - Long_{Normal})^2}$$

- Longitud resultante:

$$LR = \sqrt{d^2 + (h_n - h_l)^2}$$

- Plunge α :

$$\arctan \frac{(h_n - h_l)}{d}$$

- Azimut de la sección longitudinal de la fuente:

$$(Corte A - A')$$

En resumen, los parámetros característicos del campo macrosísmico obtenidos se muestran en la TABLA 4.

TABLA 4. Resumen de los parámetro macrosísmicos de la fuente del terremoto de Murindó, octubre 18 de 1992.

Mapa N°	h_n Km	h_l Km	L_{xl} Km	L_{xn} Km	L_z Km	LR Km	d Km	β	Azimut	Buz	Área ruptura Km	γ Km ⁻¹	C	α_z Km ⁻¹	M
19921018	66,16	19,64	75,7	163,4	69,77	55,44	30,16	57	354	75°SW	196,2	2,914	-4,819	4,33x10 ⁻⁴	7,2

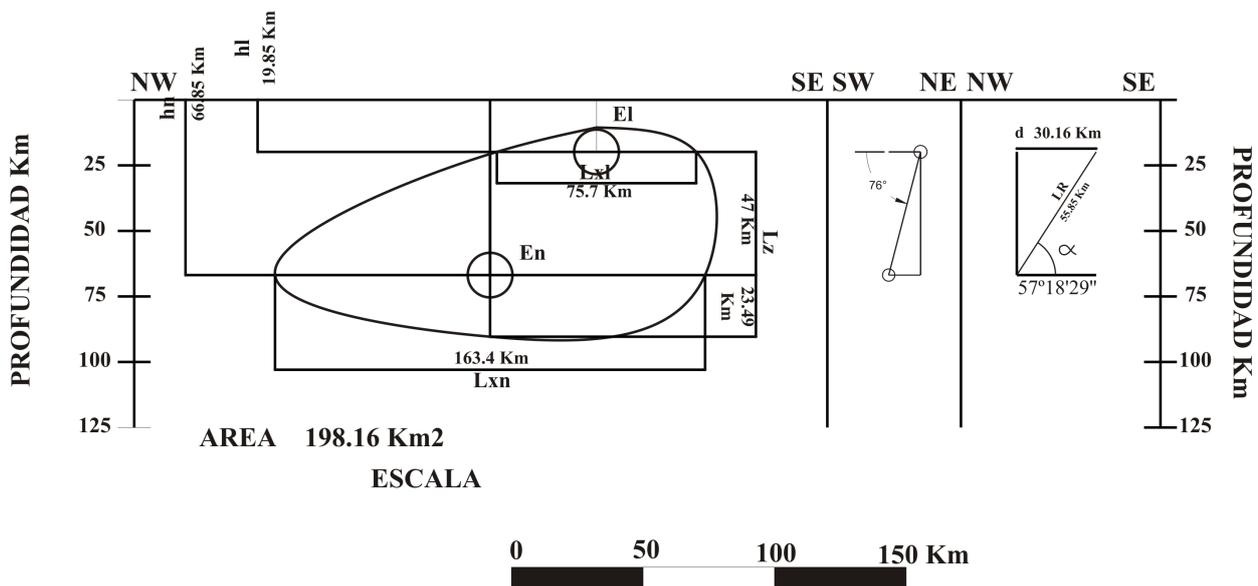


FIGURA 4. Modelo de Ruptura de la fuente del terremoto de Murindó del 18 de octubre de 1992. El corte A-A' representa la máxima elongación de las isosistas; el corte B-B' representa el posible buzamiento de la falla que originó el sismo, y el corte C-C' muestra la dirección del deslizamiento de la falla. Los puntos de color lila representan los premonitorios y los azul oscuro representan las réplicas de dicho sismo.

MODELO DE RUPTURA DE LA FUENTE

Los modelos de ruptura de la fuente son para la sismología macrosísmica como los mecanismos focales para la sismología instrumental, es decir, son aquellos que permiten hacernos una idea de cómo fue el comportamiento del sismo en profundidad, por esta razón se pueden convertir en una vía alterna para la solución del plano de falla. En este modelo geométrico es posible apreciar las extensiones horizontal y vertical del foco, lo cual supone la existencia de por lo menos dos focos de liberación de energía, en este caso son considerados como los lugares donde inicia y termina la ruptura, que han sido llamados normal y local, respectivamente. Esta es una de las razones fundamentales por las cuales los epicentros instrumentales y macrosísmicos de un terremoto no podrían coincidir. El modelo de ruptura de la fuente (FIGURA 4) es el resultado de la integración geométrica de los parámetros macrosísmicos de la TABLA 4, donde es calculada el Área de Ruptura, que para este sismo es de 196,2 km². El cálculo de los parámetros y la construcción del modelo fueron desarrollados usando AutoCAD 2004.

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

○ Sismo del 18 de octubre de 1992

- Isosistas del campo macrosísmico (Figura 3a, 3b y 3c):
 - Local: IX y X
 - Normal: VII y VIII
- Estructuras asociadas: Falla Murri, Mutatá y Murindó, asignándole a esta última los sismos del 17 y 18 de octubre de 1992 (Montes y Sandoval, 2001).
- Direccionalidad:
 - Área Mesosísmica: NNE (Isosistas IX y X)
 - Área Pleistosísmica NNW (Isosistas VII y VIII)
- Azimut de la sección longitudinal de la fuente: 354°
- Parámetros de la fuente (FIGURA 4):
 - Coordenadas del epicentro (Local): 76°38'24" W – 6°52'52" N
 - Profundidad focal Normal y Local: $h_n = 66,16$ km, $h_l = 19,64$ km
 - Área de ruptura: 196.2 km²
 - Magnitud macrosísmica: $M = 7,2$ ($M_s = 7,4$, $M_b = 6,4$)
- Máxima intensidad registrada: X (MM) (Isosista de mayor grado)

- Ecuación general del campo macrosísmico: $1,5M - I_i = 2,91 \log \Delta_i - 4,82$
- Atenuación azimutal: $4,33 \times 10^{-4} \text{ km}^{-1}$
- Máxima intensidad en el epicentro local I_{oc} : 10,289
- Máxima intensidad en el epicentro normal I_{ocn} : 8,289

DISCUSIÓN

Para la identificación de las réplicas se estableció la sismicidad para el evento principal tanto en tiempo como en espacio, como resultado de esto (FIGURA 4) se presentan dos concentraciones; la primera relacionada en tiempo y espacio a la Falla Murindó, sin embargo la otra concentración sólo está relacionada en tiempo mas no en espacio. Es decir, no pertenecen a la misma región focal, pues no es lógico que exista un GAP sísmico entre las dos concentraciones. Como puede apreciarse en la FIGURA 4, esto preferiblemente evidencia una posible reactivación sísmica de la Falla Mutatá a causa de los eventos del 17 y 18 de octubre de 1992; esto conduce a plantearse en esta zona un modelo geométrico transpresivo en el cual es normal encontrar un comportamiento de fallas sinextrales escalonadas. La configuración en la zona va a generar un sector en cual se presentará gran acumulación de esfuerzos sin liberación de energía. Dicha energía es liberada aprovechando las zonas de debilidad, que en este caso son la Fallas Murindó y Mutatá, las cuales geográficamente y en planta coinciden con las concentraciones sísmicas mencionadas anteriormente (FIGURA 5).

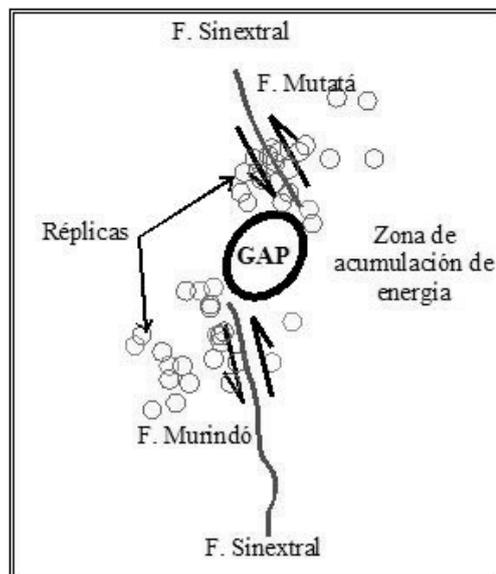


FIGURA 5. Esquema para modelo geométrico transpresivo para las Fallas Murindó y Mutatá.

Otra característica observada fue la notable presencia de réplicas al oeste de la Falla Murindó, la cual tiene un buzamiento probablemente al este según Paris et al. (2000) y Montes y Sandoval (2001), pero debido a la presencia de esta gran cantidad de réplicas que se ubican al oeste hacen pensar en la probabilidad de un buzamiento en este sentido. Sin embargo, en nuestro modelo propuesto, la falla guarda estrecha relación con los parámetros de buzamiento y dirección reportados en la literatura. En tal caso, existe la posibilidad de que la orientación del plano de falla pueda estar un poco hacia el oeste en este sector.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para una completa investigación sismológica tendiente a clarificar las causas, procesos y efectos de los terremotos, deben estudiarse la sismología instrumental y la sismología macrosísmica de manera complementaria.

Pese a que la intensidad sísmica es un parámetro que encierra cierto grado de subjetividad, es de mucha importancia, ya que es la única que permite establecer una comparación de los daños y efectos de los sismos de diferentes regiones ocurridos en el período preinstrumental y reciente.

Para determinar los patrones de atenuación de intensidad sísmica en una región es necesario, a parte de un análisis macrosísmico, contar con estudios estructurales locales que permitan establecer las tendencias principales de propagación de las ondas sísmicas ya que la atenuación depende de la dirección de propagación.

La dirección de máxima elongación trazada para el modelo de ruptura presenta gran concordancia con los datos de buzamiento y azimut de la Falla Murindó propuestos por autores como Montes y Sandoval (2001) y Paris et al. (2000), la cual se asocia como la generadora del evento sísmico, pero no concuerda con la actividad sísmica que se presenta al oeste y que indica un posible buzamiento al oeste de la falla.

REFERENCIAS

Blake, A. 1941. On the estimation of focal depth from macroseismic data. En: Bulletin of the seismological society of America.

Bottari, A. 1979. Macro seismic study of gulf of patti earthquake in the geostructural frame of north-eastern sicily. Bulletin Society Geology, . 98: 155-174.

Bottari, A. 1979. Metodological considerations regarding the determination of some macro seismic field parameters: Application to earthquake in the Calabro-Peloritano Arc. Bulletin di geofisica teorica ed applicata. Vol .XXI, 83-septiembre.

Bottari, A. 1982. Regional macro seismic field of the 1980 irpinia earthquake. En: Instituto internazionale di Vulcanologia. Publicación numero 195, pp. 35, 27-84.

Bottari, A. et al. 1986. The 1908 messina strait earthquake in the regional geostructural framework. Journal of geodynamics, 210(5): 275-302.

Bottari, A. et al. 1989. The correlation between the macro seismic attenuation trend and geo-structural framework; the calabro-peloritan arc as an example. Tectonophysics, 147: 33-49.

Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS). 1985. Catálogo de terremotos para América del sur: datos de hipocentros e intensidades. Lima, Perú. Askew y Algermissen, volumen 4, 269p.

Gómez, A. 1998. Atenuación de la intensidad sísmica para el territorio colombiano. Bogotá. 125p. Trabajo de Grado (Físico). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Física.

Gómez, A. y Salcedo, E. 2000. Determinación de la profundidad focal de algunos sismos ocurridos en Colombia a partir de datos macrosísmicos: Proyecto institucional "Sismotectónica del territorio colombiano. INGEOMINAS. Red Sismológica Regional del Eje Cafetero, Viejo Caldas y Tolima. Bogotá.

Marín, J.P. 1999. Campo regional macrosísmico de algunos sismos históricos y relaciones empíricas con datos instrumentales. Tesis Maestría (Ingeniería Sísmica). Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil, Bogotá. 102p

Marín, J.P. y Castillo, H. 2000. Coeficientes de atenuación sísmica para 28 sismos históricos en Colombia. Proyecto de Investigación. Universidad de Caldas. Manizales.

Monsalve, H. 1998. Geometría de la subducción de la Placa Nazca en el Noroeste de Colombia: Implicaciones Tectónicas y Sísmica. Instituto de Geofísica - UNAM. Tesis de Maestría, 107p.

Monsalve, H. y Mora, H. 1999. Zonificación Indicativa Preliminar de Armenia y algunos Municipios del Quindío. Tectónica de Placas, Sismicidad y deformación en el noroccidente Colombiano. INGEOMINAS - Universidad del Quindío - CRQ.

Montes, N. y Sandoval, A. 2001. Fuentes sismogénicas que contribuyen a la amenaza sísmica en el Eje Cafetero. Compendio geológico, geotectónico y sismológico de la zona del Eje Cafetero. Bogotá. 87p. (Más anexos). Monografía. INGEOMINAS.

Paris, G. et al. 2000. Map and Database of Quaternary Faults and Folds in Colombia and its Offshore Regions Open-File Report 00-0284. U.S. Geological Survey.

Rendón, L. y Valencia, Y. 2004. Análisis macrosísmico de sismos fuertes en Colombia. Tesis de Grado (Geología). Universidad de Caldas. Manizales.

Shebalin, N.V. 1972. Foci of the large earthquakes in urss. Geof. Inst. Akad. Nauka- Moscow, Rusia. (En ruso).

Trabajo recibido: Septiembre 8 de 2008

Trabajo aceptado: Mayo 8 de 2009