

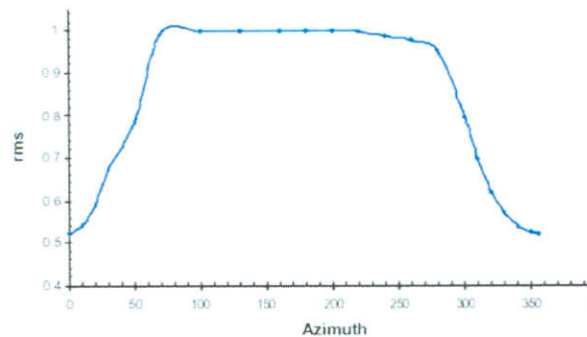


Figura 5. Ajuste de una fuente puntual. Variación del rms normalizado vs azimuth, obteniendo un valor mínimo de 0.51 μm con una azimuth de 356°.

No fue posible ajustar mejor el mecanismo debido a problemas con la cobertura azimuthal de las estaciones del Pacífico Sur, donde, definitivamente por la relación ruido-señal tan alta, ó por problemas técnicos en el equipo, fue imposible obtener arribos claros de las fases en las estaciones RAR (Rorotonga), KIP (Kipappa) y AFI (Afiomala). La orientación del plano de falla estimado y el vector deslizamiento (mostrado con el vector de deslizamiento) determinado por el análisis en este estudio está aceptablemente restringido. La función de fuente modelada corresponde a una falla normal donde el campo de esfuerzos es tensional y por la profundidad del centroide focal $H=18.60$ km, se considera localizado en la corteza del eje Cafetero.

Los datos más importantes de la inversión (tabla 4) nos muestran una discrepancia con la inversión de Harvard-CMT. Esta discrepancia se puede dar en dos parámetros; primero en profundidad, ya que el método de inversión de Harvard es automático y probablemente el algoritmo no modifica el filtrado que depende mucho del ruido de alta y baja frecuencia para cada señal independientemente o tampoco "ve" la calidad de la señal procesada, al igual que no le asigna peso al ajuste de la forma de onda; a diferencia del método de Nábelek que le permite al usuario visualmente descartar y/o ajustar pesos por su baja calidad o alto contenido de ruido en el proceso de inversión.

El segundo parámetro es el momento sísmico. Evidentemente CMT tiene mucho más precisión en este parámetro, ya que utiliza ondas superficiales de período largo ($100 \text{ s} < T < 200 \text{ s}$) que le permiten calcularlo con mayor precisión que Nábelek; pero la discrepancia es baja. En esto también tiene que ver el hecho que la fuente se pudo modelar como fuente puntual, es decir, no es una fuente compleja.

RÉPLICA PRINCIPAL DEL 25 DE ENERO DE 1999, 22:40 UT

Desafortunadamente las trazas obtenidas en IRIS, de la réplica principal del evento del 25 de Enero de 1999, no fue posible filtrar el ruido de las estaciones y se obtuvo una señal donde era imposible de indentificar el arribo de las fases de las ondas P y S. Se utilizó el mismo procedimiento que para el sismo principal, con resultados negativos, estimamos que la relación ruido-señal es alta. Para efectos del análisis de mecanismos se toma el reporte del mecanismo de Harvard, como parte de este estudio (Tabla 4).

Tabla 4. Resultados de la inversión. ϕ = azimuth (strike), δ = buzamiento (dip), λ = deslizamiento (slip).

EVENTO	INVER.	MECANISMO			H km	M_0 dina-cm	M_W	Duración s
		ϕ	δ	λ				
Principal 18:19:16. 9	CMT	8°	65°	-21°	27.7	2.01e25	6.1	7.3
	NABELEK	356°	67.3°	-33.8°	18.6	2.1e25	6.2	6.0
Replica 22:40:16. 5	CMT	17°	67°	-23°	38.3	2.07e24	5.5	2.0

Sismo del 25 de febrero, 15:39 UT, Mecanismo Focal por Inversión Lineal del Momento Tensor

Los registros acelerográficos de tres estaciones CCALCCAIC y CCOR (ver figura 6), triaxiales con una banda de 0.1-50 Hz, permitieron la obtención del mecanismo focal para la réplica del 25 de febrero de 1999: 15:39 UT. Para el análisis se usaron ventanas de 2-s de la onda P y S, después de realizar la rotación de las componentes en vertical, radial y transversal. Los sismogramas sintéticos se calcularon con el algoritmo reflectivo de *Kennet (1983)*, y debido a la magnitud del sismo $M_L \leq 4.5$ se puede considerar como una fuente puntual y de esta manera estaría dentro del rango de eventos que pueden invertirse con el algoritmo. Se usó un algoritmo de inversión lineal del momento tensor (MT) adaptado de *Randall et al (1995)*. Debido al pobre conocimiento de la estructura de corteza de la zona, se presenta un pequeño desajuste entre el arribo de la onda observada y la sintética, producto posiblemente de una capa de roca fracturada en la parte más superficial de la corteza de 1.2 km y a las heterogeneidades de la corteza. Los sismogramas de desplazamientos fueron filtrados con un pasabanda de 0.2 a 5 Hz, a fin de reducir el ruido y las reverberaciones superficiales en la corteza. La figura 6, muestra el ajuste de la onda P, SV y SH con un RMS normalizado de 0.57 μm , para un evento de $M_W = 4.0$, se estiman los errores del mecanismo obtenido de $\pm 5^\circ$ para el azimuth, buzamiento y el deslizamiento. Se obtuvo un momento sísmico escalar $M_0 = 1.13e22$ dina-cm. Desafortunadamente no fue posible invertir más eventos, debido a que la red provisional instaló los acelerógrafos en suelo de cenizas volcánicas, con efectos de sitio considerables. El mecanismo focal es consistente con el mecanismo del sismo principal y de la réplica principal. Corresponde a un mecanismo de fallamiento normal con componente lateral izquierda, que de acuerdo a la tectónica de la zona corresponde al rumbo general de la falla Córdoba y el sistema de Silvia-Pijao. Sus parámetros se pueden observar en la tabla 6.

Tabla 6. Resultados de la inversión para la réplica del 25 de Febrero-99. ϕ = azimuth (strike), δ = buzamiento (dip), λ = deslizamiento (slip).

EVENTO	INVER.	MECANISMO			H km	M_0 dina-cm	M_W
		ϕ	δ	λ			
25-02-1999	MT	5°	81°	-19°	15.95	1.13e22	4.0

Figura 6. Réplica de 25 de Febrero. Sismogramas observado (líneas sólidas) y sintético (línea punteada). Se muestra la proyección en el hemisferio inferior de la esfera focal.

AREA DE RUPTURA

La zona de ruptura se evidencia en la figura 7, donde se puede observar en los perfiles un rectángulo de 10.6 x 11.7 km, para un área estimada de 124 km². La relación entre ruptura y momento sísmico que se predice en el estudio de *Somerville et al (1999)* establece:

$$A = 1.30 \times 10^{-18} M_0^{0.79} \quad (3)$$

Con el momento sísmico del sismo principal para el presente estudio, la ecuación (3) estimaría un área de ruptura de 131 km² y con el momento sísmico de Harvard se estimaría un área de ruptura de 126 km², que en términos generales están de acuerdo con la distribución de las réplicas en el área de ruptura del sismo principal. En esta figura se presentan dos perfiles CC' y DD', perpendiculares y paralelos al rumbo del mecanismo focal del sismo principal. Como se puede observar, la distribución de los hipocentros se encuentra en el intervalo de profundidades $0 \leq H \leq 25.0$ km, con una concentración bien marcada en el perfil DD' en el intervalo de profundidades $10.6 \leq H \leq 18.6$ km, que corresponden a la zona de ruptura del evento principal, además de ser la zona de más alta concentración de réplicas; se puede observar además, un error estimado en el azimut de $\pm 10^\circ$, que nos da un margen en la observación del rumbo que presenta el sistema de fallas en superficie. De igual manera, se aprecia una importante distribución de réplicas en el intervalo de

profundidades $0 \leq H \leq 5.0$ km. De esta sismicidad superficial se puede inferir, la presencia de un enjambre de réplicas en la falla Armenia y la falla Silvia-Pijao (segmento 32), que insinúan ser réplicas originadas en estas fallas. Esto contrasta con el hecho que la máxima área de ruptura debe ser congruente con el plano principal de falla, así mismo, esta evoluciona con el tiempo hasta que las asperezas posteriormente van rompiendo y de alguna manera presentan una distribución difusa de la sismicidad en el área adyacente, que se estima sea producto del cambio del tensor de esfuerzos de la región y que permite implicar otras fallas, teniendo en cuenta la proximidad de cuatro fallas activas. Es decir, podemos hablar de una correlación con la tectónica de la zona, que corresponde al movimiento de las fallas Córdoba, Armenia y Silvia-Pijao. Al este se encuentra una sismicidad más difusa de réplicas de calidad C, igualmente en profundidad que es muy difícil asociar al sistema de fallamiento o por lo menos tener una visión más clara de su asociación con el evento principal.

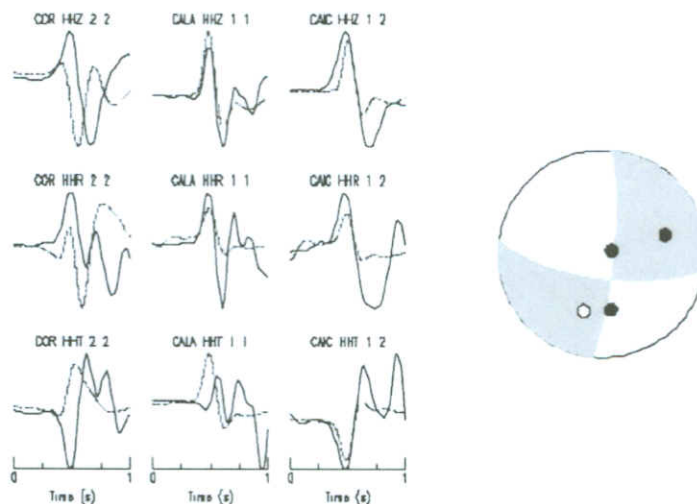
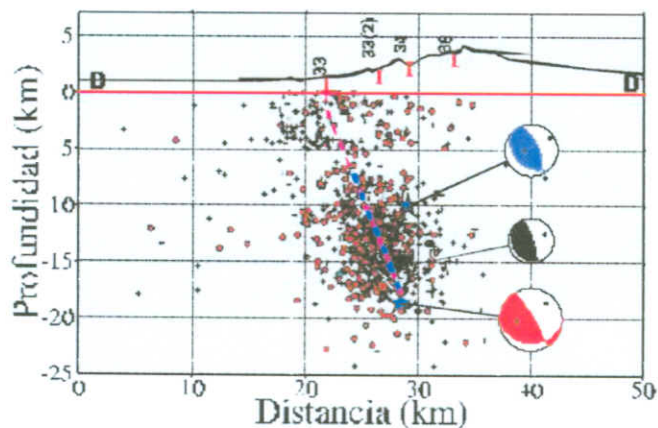
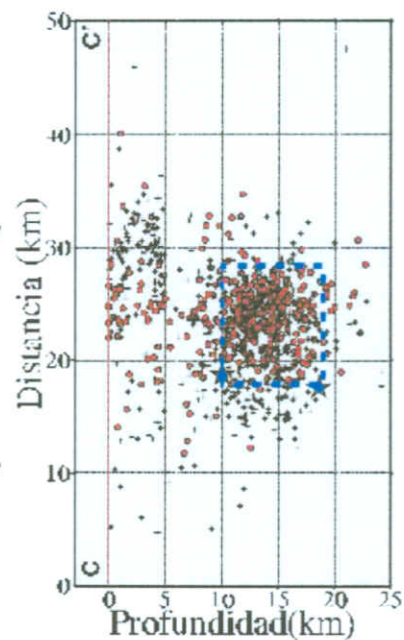


Figura 7. Área de ruptura y los mecanismos obtenidos con inversión de forma de onda. La presencia de las réplicas indica que la ruptura de la falla creció con el tiempo hacia el NE, sugiriendo una ruptura en una sola

The map illustrates the distribution of seismicity in central Colombia. It shows the boundaries of the departments of Risaralda, Valle, Tolima, and Quindío. Major cities like Pereira, Armenia, and Fátima are labeled. The map is overlaid with a grid of latitude and longitude lines. A legend in the bottom right corner defines the symbols used for different types of seismic events: earthquakes with magnitude $M \geq 2.0$ (dots), earthquakes with magnitude $M \geq 2.5$ (circles), earthquakes with magnitude $M \geq 3.0$ (triangles), earthquakes with magnitude $M \geq 3.5$ (squares), earthquakes with magnitude $M \geq 4.0$ (stars), and earthquakes with magnitude $M \geq 4.5$ (large stars). A scale bar at the bottom indicates distances in kilometers (0, 10, 20, 30 km).


$$\log E_s(\text{erg}) = 1.5M_s + 11.8$$


Posgrado de Geofísica