

ANÁLISIS DE DEFORMACIÓN TECTÓNICA EN EL PIEDEMORTE DE LAS CORDILLERAS CENTRAL Y OCCIDENTAL VALLE DEL CAUCA, COLOMBIA

Trabajo de grado para optar al título de Maestría en Ciencias de la Tierra

Por:

MYRIAM CARLOTA LÓPEZ CARDONA

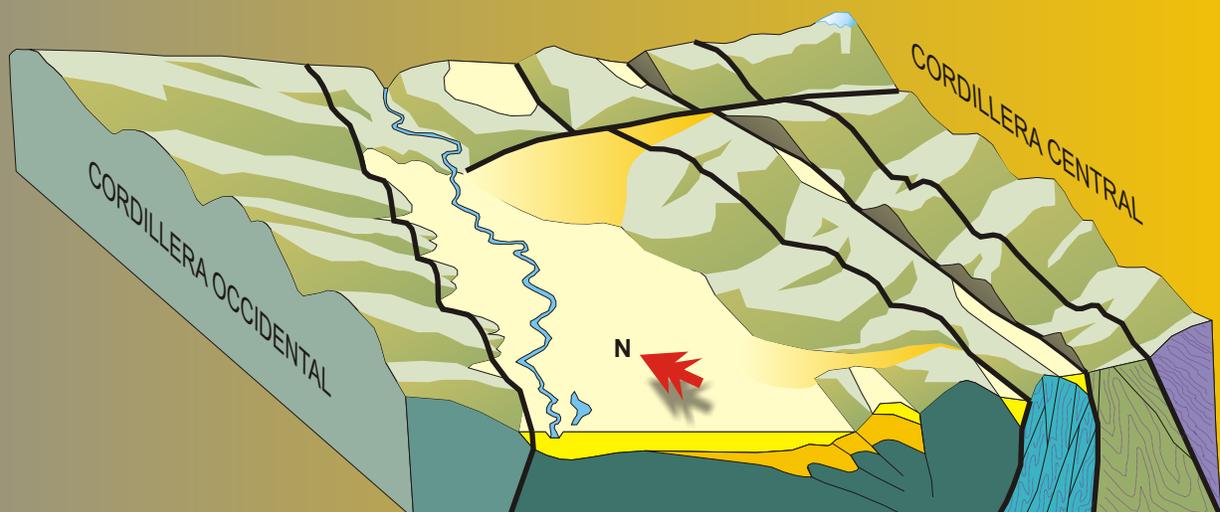
Directores:

**Prof. Franck A. Audemard
Prof. Gloria Elena Toro**

**UNIVERSIDAD EAFIT
Programa de GEOLOGÍA**

**Medellín
Agosto de 2006**

ANEXOS



ANEXO 1

METODOLOGÍA: AMPLIACIÓN DE CONCEPTOS

ANEXO 2

EL REGISTRO GEOMORFOLÓGICO DE DEFORMACIÓN TECTÓNICA EN LOS
PIEDEMONTES DE LAS CORDILLERAS CENTRAL Y OCCIDENTAL, VALLE DEL CAUCA,
COLOMBIA: DETALLE

ANEXO 3

EL REGISTRO ESTRATIGRÁFICO DE DEFORMACIÓN TECTÓNICA EN LOS
PIEDEMONTES DE LAS CORDILLERAS CENTRAL Y OCCIDENTAL, VALLE DEL CAUCA,
COLOMBIA : DETALLE

ANEXO 4

RELACIONES DE LAS FALLAS CON LOS ESFUERZOS PRINCIPALES: DIEDRO RECTO

ANEXO 5

CUANTIFICAR EL TERREMOTO: MAGNITUDES

Análisis de deformación tectónica en los piedemontes de las
Cordilleras Central y Occidental Valle del Cauca,
Colombia - Contribuciones Paleosísmicas

Por:

Myriam C. López C.
Universidad EAFIT

ANEXO 5

CUANTIFICAR EL TERREMOTO: MAGNITUDES

RELACIONES DE LONGITUD, DESPLAZAMIENTOS Y ÁREA DE LA FALLA CON LA MAGNITUD DE ONDAS SUPERFICIALES (M_s), EL MOMENTO SÍSMICO (M_o) Y LA MAGNITUD DE MOMENTO (M_w)

La medida tradicional del tamaño de un terremoto es la magnitud, la cual es una escala logarítmica basada en la amplitud de una onda sísmica específica medida en una frecuencia particular, ya corregida para una distancia y una respuesta instrumental. Hay entonces varios tipos de magnitud, la magnitud M_b , M_s y M_l , estas escalas han sido desarrolladas respectivamente con base en ondas de cuerpo, ondas superficiales y para terremotos locales.

Mientras que la magnitud es una forma convencional de medida del tamaño de un terremoto a partir de un sismograma, el significado físico de esta medida está dado por el momento sísmico (Ver Scholz, 1990; Scholz, 2002. pag. 199).

$$M_{oij} = \mu(\Delta u_j n_j + \Delta u_i n_i)A$$

Donde Δu_j es la medida del vector de desplazamiento medido sobre una falla de área A , con unidad normal n_j y μ es el módulo de cizalla ($3 \cdot 10^{11}$ dinas/cm²). M_{oij} es un tensor de segundo rango con un valor escalar $M_o = \mu \Delta u A$ y las dos direcciones definen el deslizamiento y la orientación de la falla.

Esta información geométrica define el mecanismo focal (o la solución del plano de falla). Así el momento sísmico (M_o) representa el tamaño físico del fallamiento. Cuando la amplitud de la falla (W) y el deslizamiento (D) son proporcionales a la longitud (L) de la falla para una falla rectangular, el M_o es proporcional al cubo de la longitud de la falla o al cubo de la raíz cuadrada del área de la falla (S). Esta es la relación escalar observada por muchos investigadores (Kanamori y Anderson, 1975):

$$\text{Log}M_o = 1.5 \text{Log}S + 22.25 \text{ (I)}$$

relación que se basa en 240 eventos de magnitudes mayores de 5 ($M \geq 5$).

Sin embargo Shimazaki (1986), basado en sismos grandes y superficiales ocurridos en Japón, observa que la relación de escalamiento es diferente y es proporcional al cuadrado de la longitud de falla. Se piensa que esto ocurre por una saturación de la amplitud de la falla. Los terremotos corticales están confinados dentro de la corteza superior que tiene un espesor de 15 km (Oike, 1975 y Takagi et al., 1977 en Inoue et al. (1993). Así la amplitud de la falla de un terremoto cortical tiene un límite superior en la medida en que la falla está confinada dentro de una capa sismogénica.

$$\text{Log}M_o = 2 \text{Log}L + 23.58$$

Relación encontrada para terremotos grandes en Japón.

Por otro lado, Matsuda (1975) [en Inoue et al. (1993)] estima la magnitud a partir de una falla dada con una fórmula empírica que relaciona la Magnitud M y la longitud de la falla L (en km²):

$$\text{Log} L = 0.6M - 2.9$$

Y también obtiene la siguiente relación empírica entre la magnitud y el deslizamiento cosísmico D (en m).

$$\text{Log}D = 0.6M - 4.0$$

Aunque según Inoue et al. (1993) el significado físico de la magnitud aún no es claro pues depende de procesos dinámicos complicados de ruptura, ellos demuestran que esta relación entre el desplazamiento cosísmico y la magnitud, es la relación que aplica para Japón, y el factor 4.0 que no se ajusta a otras relaciones empíricas, también es consistente con la magnitud del terremoto derivada por Takemura (1990) [en Inoue et al.(1993)].

Kanamori (1977) y Hanks y Kanamori (1979) proponen la escala denominada la magnitud de momento, M_w , definida en términos del momento sísmico M_0 (dina-cm) usando la siguiente fórmula,

$$\text{Log}M_0 = 1.5M_w + 16.1 \text{ (II)}$$

basada en la relación empírica entre la magnitud de ondas superficiales (M_s) y el momento sísmico (M_0) para terremotos grandes e intermedios que incluyen diferentes tipos de fallamiento generados en diferentes ambientes tectónicos.

De la combinación de I y II, Inoue et al. (1993) obtienen la relación entre M y S (en km^2) como:

$$\text{Log } S = M - 4.1$$

Esta relación se basa en los parámetros de falla obtenidos para 54 eventos compilados por Ohnaka (1978). Según Inoue et al. (1993) esta relación se ajusta a la ecuación de Utsu y Seki (1954):

$$\text{Log } S = 1.02 M - 4.01$$

Donde S es el área de réplicas de grandes terremotos en Japón, M es la magnitud de un terremoto según la JMA (*Japan Meteorological Agency*), la cual se ha calibrado con la magnitud de ondas superficiales M_s .

Wells y Coppersmith (1994) obtienen la siguiente relación entre el área de la falla (S) y la magnitud de momento (M_w).

$$M_w = 4.07 + 0.98 \text{ Log } S$$

Para llegar a esta relación consideraron la amplitud de la zona de falla estimada a partir de la profundidad hipocentral de las réplicas principales y/o a partir de la profundidad de la zona sísmogénica.

Aggarwall (1981) considera que el deslizamiento cosísmico se puede obtener conociendo el área de la falla

$$D = 4 * S^{1/2}$$

Magnitudes según la Longitud del segmento de falla (km)

Según la relación de Matsuda (1975) el segmento de falla considerado de 50 km de longitud, genera magnitudes de 7.7 (M_s) (Figura 1).

Según la relación de Shimazaki (1986) el momento sísmico (M_0) liberado por un segmento de falla de esta longitud (50 km) es de $0.95 \cdot 10^{27}$ dinas/cm (M_0) (Figura 1).

Llevando este momento sísmico a la relación de Hanks y Kanamori (1979), basada en la magnitud de ondas superficiales, la magnitud de momento (M_w) que produciría el movimiento de este segmento de falla es de 7.3 (M_w) (Tabla 1),

El cálculo con la relación de Wells y Coppersmith (1994) también basada en la longitud del segmento de falla es de 7.05 (M_w).

Magnitudes según el desplazamiento cosísmico (m)

Considerando la relación de Matsuda (1975) según el desplazamiento cosísmico se tienen valores de magnitud entre 6.46 y 7.67 (Ms) para desplazamientos entre 0.8 m y 4 m respectivamente (Figura 2). Según esta relación la magnitud máxima encontrada en la región sería de 7.67 (Ms). Esto asumiendo que el desplazamiento de 4 m que muestra el retrocabalgamiento de Sonso es cosísmico y es correlacionable con los retrocabalgamientos de Tuluá,.

Según la relación de Wells y Coppersmith (1994), la magnitud de momento basada en los desplazamientos cosísmicos identificados (entre 0.8 m y 4 m) da valores entre 6.6 y 7.1 (Mw).

Magnitudes según el área de la falla (km²)

Teniendo en cuenta un área de 1400 km² y utilizando las relaciones de magnitud de momento de Inoue et al. (1993) [después de Kanamori y Anderson, 1975 y Kanamori, 1977] y Wells y Coppersmith (1994) basadas en el área de la falla se obtienen magnitudes de momento de 7.15 y 7.25 (Mw) respectivamente (Figura 3).

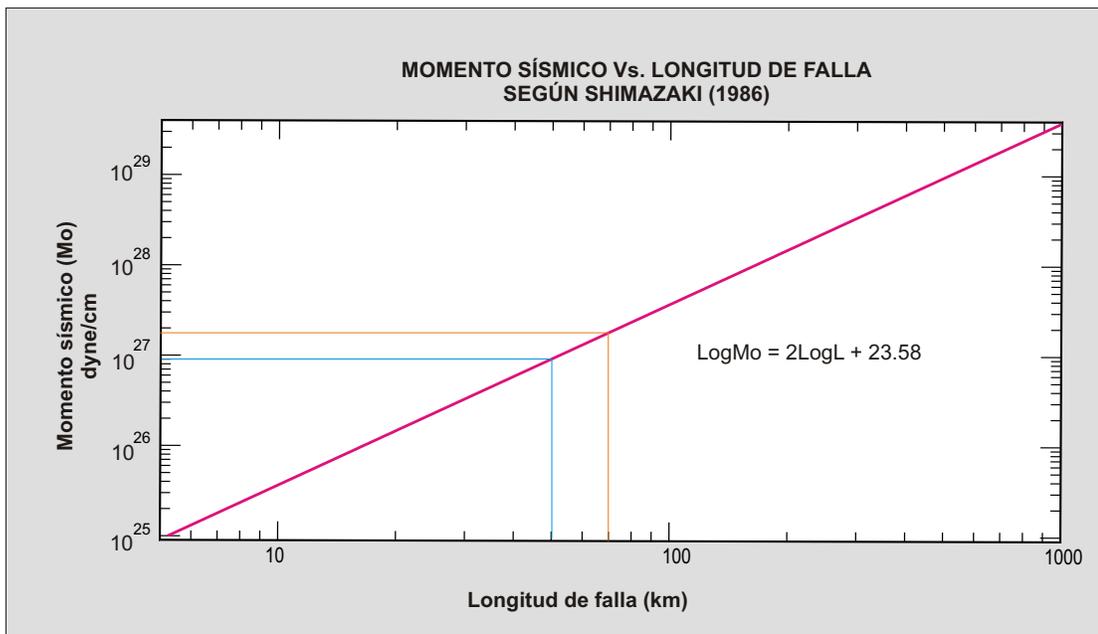
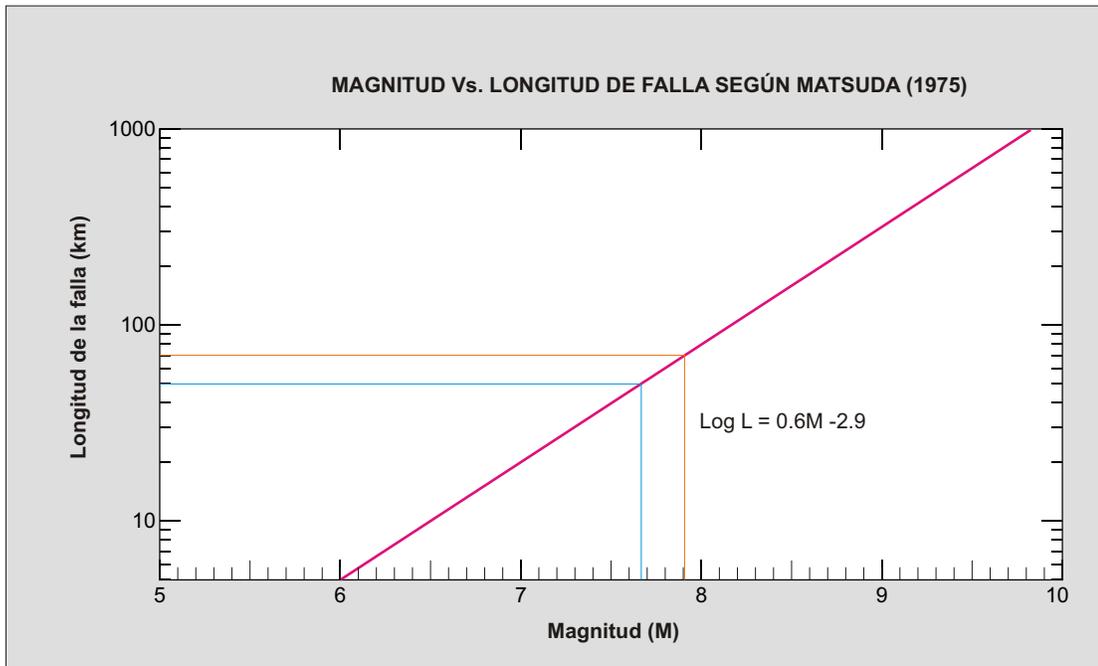


Figura 1. Arriba, relación entre la magnitud y la longitud de la falla (Según Matsuda, 1975). Abajo, relación entre el momento sísmico y la longitud de la falla (después de Yamanaka y Shimazaki, 1990). En las gráficas se plotean segmentos de falla de 50 y 70 km.

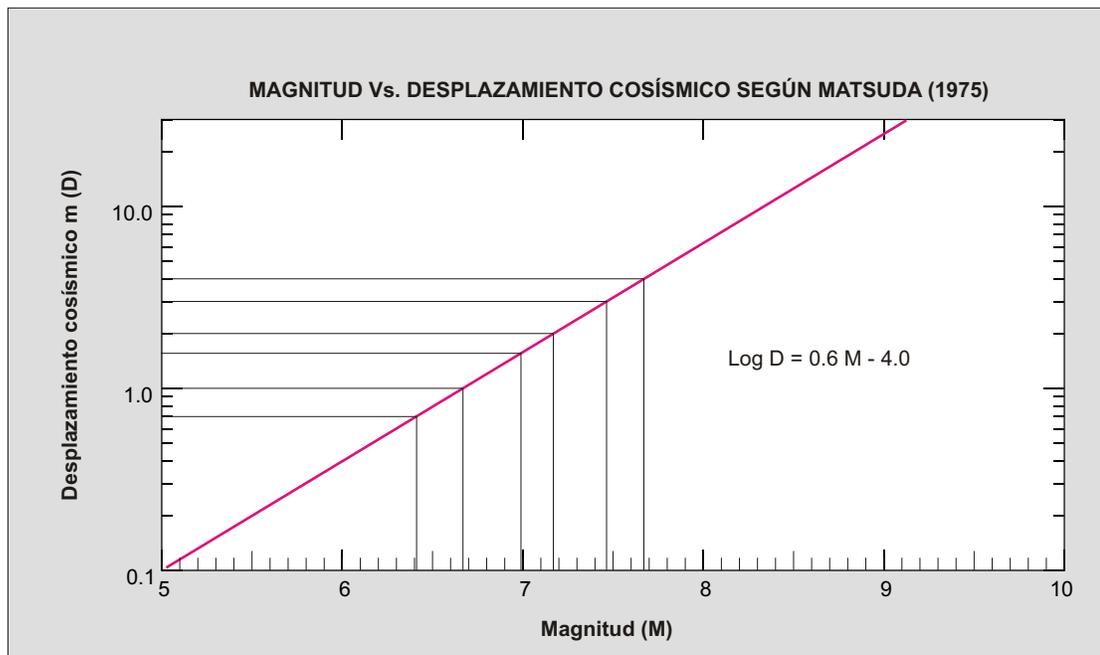
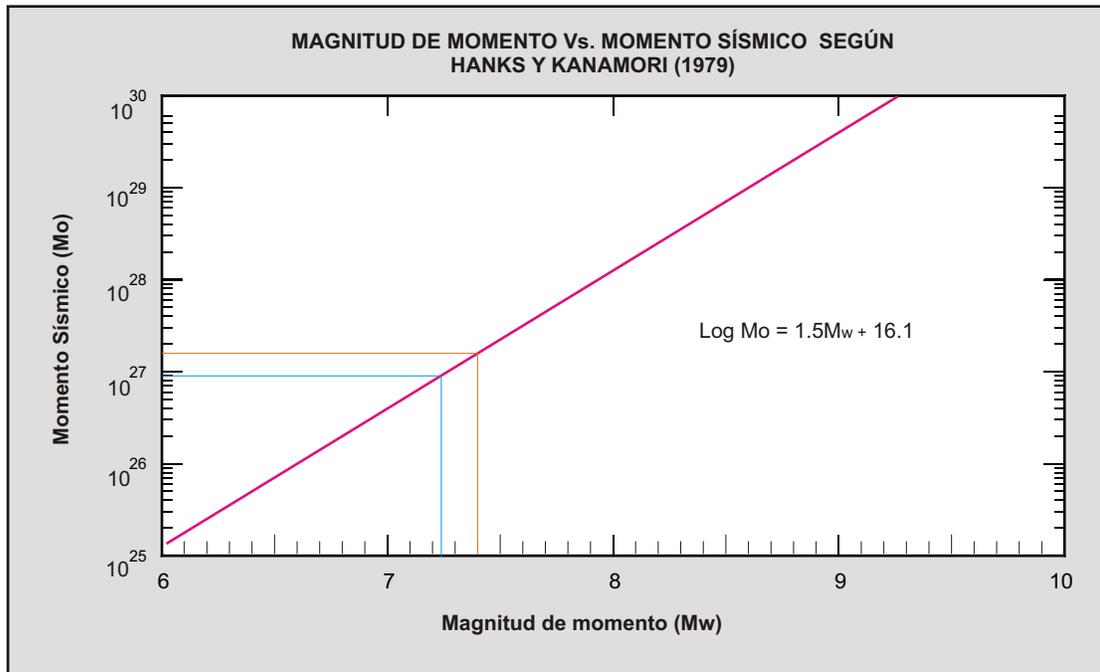


Figura 2. Arriba, relación entre el momento sísmico y la magnitud de momento según Hanks y Kanamori (1979). Sobre la gráfica se plotea el momento sísmico obtenido mediante la relación de Shimazaki (1986) para el segmento de falla Saliente de Buga. Abajo, relación entre la magnitud y el desplazamiento cosísmico según Matsuda (1975). Sobre estas gráficas se plotean los desplazamientos medidos en la región de estudio (0.75m, 1.0 m, 1.75m, 2.0m, 3.0m y 4m).

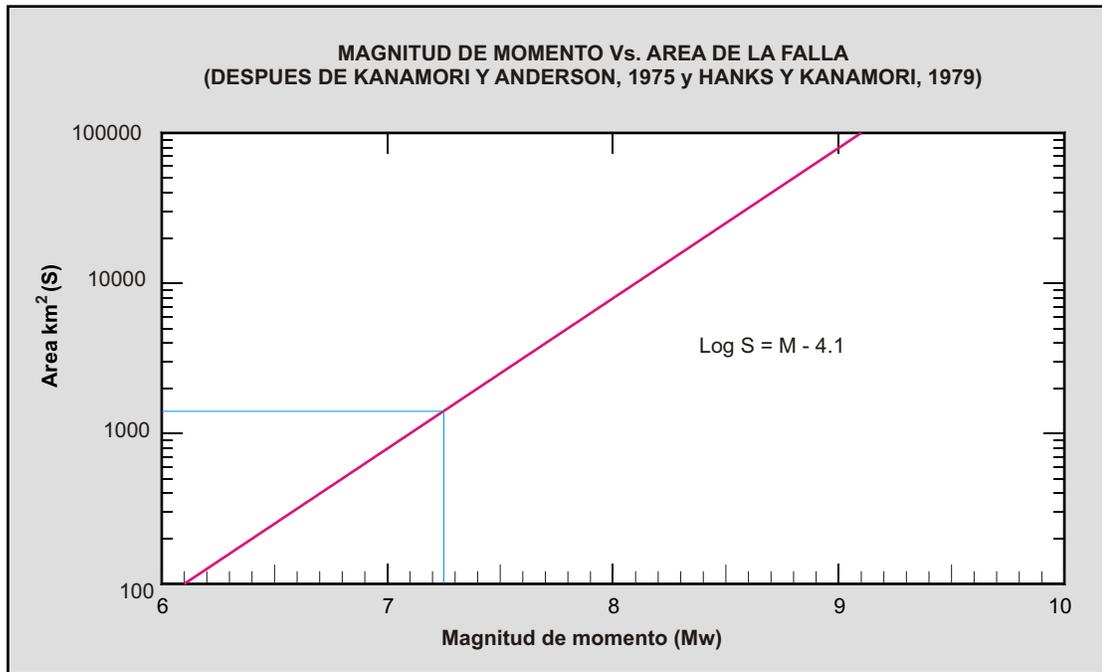


Figura 3. Relación entre el área de la falla y la magnitud de momento (Mw) según Hanks y Kanamori (1979).

Referencias de Consulta

- Hanks, T. C., y H. Kanamori, 1979, b values and w^g seismic source models: Implications for tectonic stress variations along active crustal fault zones and the estimation of high-frequency strong ground motion: *Journal of Geophysical Research*, v. 84, p. 2235-2242.
- Inoue, R., K. Shimazaki, y M. Takeo, 1993, Earthquake source mechanics and their characteristics, *in* The Architectural Institute of Japan (AIJ), ed., *Earthquake motion and ground conditions*: Tokio, Japan, Showa Kogyo Co., Ltd., p. 1-64.
- Kanamori, H., y D. L. Anderson, 1975, Theoretical basis of some empirical relations in seismology: *Bulletin of Seismological Society of America*, v. 65, p. 1073-1095.
- Kanamori, H., 1977, The energy release in great earthquakes: *Journal of Geophysical Research*, v. 82, p. 2981-2987.
- Matsuda, T., 1975, Magnitude and recurrence interval of earthquakes from a fault (in Japanese): *Zisin, Ser.*, v. 2, 28, p. 269-283.
- Ohnaka, M., 1978, Earthquake-source parameters related to magnitude: *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, v. 55, p. 45-66.
- Oike, K., 1975, On a list of hypocenters compiled by Tottori Microearthquake Observatory (in Japanese): *Zisin, Ser.*, v. 2, 28, p. 331-346.
- Scholz, C. H., 1990, *The mechanics of earthquakes and faulting*: Cambridge, University Press.
- Scholz, C. H., 2002, *The mechanics of earthquakes and faulting*, Cambridge University Press, 471 p.
- Shimazaki, K., 1986, Small and large earthquakes: The effects of the thickness of seismogenic layer and the free surface, *in* S. D. e. a. Maurice Ewing Ser. 5, ed., *Earthquake Source Mechanics*, American Geophys. Union, p. 209-216.
- Takagi, A., A. Hasegawa, y N. Umino, 1977, Seismic activity in the northeastern Japan arc: *Journal of Physical Earth*, v. 25, p. S95-S104.
- Takemura, M., 1990, Scaling relation for source parameters and magnitude of earthquakes in the Izu peninsula region, Japan: *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, v. Ser. 5, 32, p. 77-89.
- Utsu, T., y A. Seki, 1954, A relation between the area of aftershock region and energy of main shock (in Japanese): *Journal of Seismological Society of Japan*, v. 7, p. 233-240.
- Wells, D., y K. Coppersmith, 1994, New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement: *Bulletin of Seismological Society of America*, v. 84, 4, p. 974-1002.
- Yamanaka, Y., y K. Shimazaki, 1990, The scaling relationship between the number of aftershocks and the size of the main shock: *Journal of Physical Earth*, v. 38, p. 305-324.