

Estimación del Tamaño del Terremoto de Arequipa del 23 de Junio de 2001

Isabel Bernal

Centro Nacional de Datos Geofísicos

Resumen

En este trabajo se presenta los valores de magnitud calculados para el terremoto de Arequipa del 23 de Junio de 2001 a partir de los diversos procedimientos establecidos internacionalmente para estimar este parámetro a partir del uso de diferentes fases y tipos de registro de la señal sísmica. Los valores de magnitud fueron obtenidos por el Instituto Geofísico del Perú (IGP) y por el National Earthquake Information Center (NEIC). Los resultados sugieren que los valores de magnitud calculados utilizando datos regionales son menores que los obtenidos haciendo uso de registros en el campo lejano. Asimismo, la magnitud M_w obtenida del momento sísmico escalar es similar al estimado a partir de la altura máxima de la ola del tsunami generado por el terremoto de Arequipa.

Abstract

In this study is presented the different magnitude values calculated for the June 23, 2001 Arequipa earthquake based on several internationally established procedures to estimate this parameter from use of different phases and types of seismic signal records. The magnitude values were obtained by the Instituto Geofísico del Perú (IGP) and by the National Earthquake Information Center (NEIC). The results suggest that the magnitude values calculated using regional data are smaller than those obtained using the teleseismic records. Also, the M_w magnitude obtained from the scalar seismic moment and energy is similar to that estimated from the maximum height of the tsunami wave generated by the Arequipa earthquake.

Introducción

El último terremoto que afectó a toda la región Sur de Perú, ocurrió el 23 de Junio de 2001 y de acuerdo a su tamaño, este ha sido considerado como el mayor de los ocurridos en la última centuria en esta región. El terremoto produjo intensidades máximas del orden de VII-VIII (MM), siendo los departamentos de Arequipa, Ayacucho, Moquegua y Tacna en Perú, además de las ciudades de Arica e Iquique en Chile quienes soportaron los mayores efectos causados por el terremoto.

El tamaño del terremoto de Arequipa, en función de su magnitud, fue reportado por el Instituto Geofísico del Perú y diversas agencias internacionales con valores totalmente diferentes en virtud al uso de las diversas escalas existentes para expresar este parámetro. En general, la magnitud es calculada a partir de la amplitud máxima del

registro del sismo en un sismógrafo debidamente calibrado y sus variadas medidas son expresiones logarítmicas de la cantidad de energía liberada. En estas condiciones, para calcular la magnitud de un sismo se debe corregir la amplitud de su registro, dependiendo del tipo de sismógrafo, en función de la distancia epicentral, profundidad del foco y además del tipo de suelo en donde está ubicada la estación de registro. Así, el valor mínimo dependerá de la sensibilidad del sismógrafo y el máximo de la longitud de la fractura producida por el sismo de un solo golpe. A la fecha, existen diferentes escalas de magnitud para medir el tamaño de los sismos y estas dependen básicamente de la distancia a la cual se registra el sismo y al tipo de onda sísmica que se utiliza para su cálculo. De estas escalas, las más importantes son las que permiten estimar la Magnitud Local (M_L), Magnitud Ondas de Volumen (m_b), Magnitud Ondas Superficiales (M_s), Magnitud Tsunami (M_t), Magnitud Duración (M_D), Magnitud Energía (M_e) y Magnitud Momento (M_w).

Para el terremoto de Arequipa del 23 de Junio, las agencias nacionales e internacionales proporcionaron los valores de magnitud en cada una de las escalas antes indicadas, hecho que produjo confusión en los medios informativos y público en general. En este estudio se describe de manera resumida cada una de las escalas frecuentemente utilizadas (Tavera, 2001) y se consigna los diferentes valores obtenidos para el terremoto de Arequipa. La información procede del Instituto Geofísico del Perú (IGP) y del National Earthquake Information Center (NEIC).

Tipos de Magnitud

Magnitud local (M_L). La magnitud local hace referencia a la escala de Richter, siendo esta definida como:

$$M_L = \text{Log } A(\Delta) - \text{Log } A_0(\Delta)$$

donde, A representa la amplitud máxima en el registro del sismo para el cual se desea calcular su magnitud, A_0 a la amplitud para el sismo de magnitud cero y Δ la distancia epicentral. Para una estación diferente a Wood-Anderson y para una región en

particular, se debe realizar la corrección en distancia contenida en el término A_0 antes de establecer una correspondencia entre el sismógrafo utilizado y el WA

Magnitud de Ondas de Volumen (m_b). Esta magnitud considera la relación existente entre la amplitud y el periodo predominante en el registro del sismo en la componente vertical para una onda P o S (ondas de volumen). Esta escala es válida para sismos ocurridos a diferentes profundidades y registrados a distancias comprendidas entre 5° y 90° . La relación que permite calcular m_b es conocida como la fórmula de Gutenberg,

$$m_b = \text{Log} (A/T) + Q(\Delta, h)$$

donde, A es la amplitud de la señal sísmica medida sobre la componente vertical de registro (micras), T el periodo (seg) y Q el factor de atenuación de la onda expresado en función de la distancia epicentral (Δ) y la profundidad del foco (h) según las tablas de Gutenberg y Richter (1956).

Magnitud de Ondas Superficiales (M_s). Esta magnitud es válida para sismos con foco superficial y en la cual la amplitud máxima de su registro debe ser medida en el grupo de las ondas Rayleigh con periodos (T) entre 18 – 22 segundos. Las correcciones deben considerar la distancia epicentral y la profundidad del foco del sismo. La relación establecida para esta escala es:

$$M_s = \text{Log} (A/T) + 1.66 \text{Log} \Delta + 3.3$$

donde, A es la amplitud del desplazamiento del suelo en micras y Δ la distancia epicentral en grados. La formula anterior es válida para sismos registrados a distancias comprendidas entre $20^\circ < \Delta < 90^\circ$ y para sismos con focos localizados a profundidades menores a 70 km.

Magnitud Duración (MD). Magnitud que considera la duración del registro de la señal del sismo, desde la llegada de la onda P hasta cuando la amplitud de la señal se confunde con el ruido de fondo. Esta magnitud es definida con la siguiente relación:

$$M(D) = a + b \text{ Log}(t) + c \text{ Log}(t^2) + d \Delta$$

donde, t es la duración del registro del sismo en segundos; Δ la distancia epicentral en km; a , b y c son constantes a determinarse para cada estación.

Magnitud Tsunami (Mt). Magnitud estimada a partir de la altura máxima de las olas producidas por el tsunami mediante la relación propuesta por Dorbath et al (1990) para terremotos que ocurren en el borde Oeste de Perú. La relación que permite estimar esta magnitud es:

$$M_t = 1.1 \log(H_r) + 7.7$$

donde, H_r es la altura de la ola expresada en metros.

Magnitud Momento (Mw). Magnitud basada en el valor del momento sísmico (M_o), el mismo que es obtenido a partir de los parámetros que relacionan la geometría de la falla, la profundidad del foco y el desplazamiento máximo producido durante el sismo. Según Aki (1966), el momento sísmico puede ser calculado a partir de la siguiente relación:

$$M_o = \mu \cdot A \cdot \Delta u$$

donde, μ es el módulo de rigidez, A el área de la falla y Δu el desplazamiento medio sobre el plano de falla.

El momento sísmico es una medida más consistente del tamaño de un sismo y hoy en día, es el parámetro más importante. Este factor a dado lugar a la definición de una nueva escala denominada magnitud momento (Kanamori, 1977):

$$M_w = (2/3) \log (M_0) - 6.0$$

donde, M_0 es expresado en Nm.

Magnitud Energía (Me). La magnitud energía permite medir el potencial del daño causado por el terremoto y es obtenido a partir del valor de la energía sísmica irradiada. La relación que permite estimar este parámetro es:

$$M_e = (2/3) \log (E_s) - 2.9$$

La energía total liberada por un sismo es difícil de calcular con precisión debido a que ella es la suma de la energía disipada en forma térmica por la deformación en la zona de ruptura y la energía emitida como ondas sísmicas (calculada a partir del registro del terremoto). La energía sísmica puede ser estimada desde el espectro de energía según la metodología desarrollada por Boatwright y Choy (1986) y a partir de la magnitud de los sismos (m_b , M_s , M_w) según las siguientes relaciones:

$$\log E = 5.8 + 2.4 m_b$$

$$\log E = 11.8 + 1.5 M_s (M_w)$$

Resultados obtenidos para el Terremoto de Arequipa

En la Tabla 1 se presenta todos los valores de magnitud obtenidos para el terremoto de Arequipa del 23 de Junio de 2001. En general, los valores de magnitud obtenidos a escala regional por el IGP (M_L y M_D) y el NEIC (m_b) son menores a los reportados en otras escalas y cuyas diferencias son frecuentemente observados cuando los terremotos son originados por procesos complejos de ruptura. Estas características permiten que se produzca, en muchos casos, la saturación de algunas escalas cuando los valores de magnitud son muy elevados, tal como suele ocurrir con las magnitudes m_b y M_s .

Tabla 1

*Magnitud para el terremoto de Arequipa expresados en diferentes escalas.
N.Est.=número de registros utilizados en el cálculo*

Tipo de Escala	Magnitud IGP	Magnitud NEIC	N. Est.
Magnitud Local (ML)	6.9	-	2
Magnitud Ondas Volumen (mb)	-	6.6	56
Magnitud Ondas Superficiales (Ms)	7.9	7.9-8.2	84
Magnitud Duración (MD)	6.5	-	2
Magnitud Tsunami (Mt)	8.6	-	-
Magnitud Momento (Mw)	8.2	8.4	-
Magnitud Energía (Me)	8.4	7.8	-

El avance logrado en la sismometría ha permitido proponer y utilizar nuevos métodos y procedimientos para estimar el tamaño de los terremotos. Así, es posible separar del registro del terremoto la influencia de la estación y del medio de propagación para disponer de una señal equivalente al desplazamiento real del suelo producido durante la ocurrencia del terremoto. En estas condiciones y con la señal disponible se elaborara el espectro de amplitud para estimar el momento sísmico escalar a partir de la cual se puede conocer la magnitud momento (ver Tavera y Antayhua, este volumen). Asimismo, a partir del espectro de energía se estima la cantidad de energía sísmica y la magnitud energía (Me). Estos valores de magnitud, debido a como fueron calculados, no producen saturación de escala y permiten conocer el tamaño real del terremoto.

Otro procedimiento utilizado frecuentemente para conocer el tamaño de los terremotos, es a partir de la altura máxima de la ola del tsunami, tal como lo propone Dorbath et al (1990). A partir de este procedimiento indirecto y asumiendo que el tsunami producido por el terremoto de Arequipa presentó olas con una alturas medias de 7 metros, se estima un valor de magnitud ligeramente mayor que los obtenidos utilizando métodos directos (Tabla 1).

A partir del análisis espectral, en este estudio se obtiene un momento sísmico de $1.2\text{E}+21$ Nm y una cantidad de energía sísmica del orden de $1.2\text{E}+17$ Nm. De acuerdo a estos valores, el terremoto de Arequipa liberó tanta energía como la que liberaría 1'800,000 toneladas de TNT.

Bibliografía

- Aki, K. (1966). Bull. Earthquake Res. Inst. Univ. Tokyo. 44, 73-88.
- Dorbath et al (1990). Bull. Seism. Soc. Am., 80, 551-576.
- Gutenberg, B. y Richter, F. (1956). Annali di Geofísica, 9, 1-15.
- Kanamori, H. (1977). J. Geophys. Res., 82, 2981-2987.
- Tavera, H. (2001). Revista Geonoticias, N°4, Año VII, 22-24.

