

Parámetros del Terremoto de Arequipa del 23 de Junio de 2001 y de tres Réplicas de Magnitud Mayor deducidos del Análisis Espectral de Ondas de Volumen

Hernando Tavera y Yanet Antayhua
Centro Nacional de Datos Geofísicos

Resumen

En este estudio se estima el momento sísmico escalar (M_0), el radio de fractura (r) y el desplazamiento medio (Δu) del terremoto de Arequipa del 23 de Junio de 2001 y de tres de sus réplicas de magnitud mayor —25 de Junio, 5 y 7 de Julio— a partir de los espectros de amplitud de la onda P registrada a distancias teleseísmicas y asumiendo un modelo de falla circular. Los resultados obtenidos indican para el terremoto de Arequipa un M_0 de $1.2E+21$ Nm equivalente a una magnitud $M_w=8.2$. Para las réplicas del 25 de Junio, 5 y 7 de Julio, el momento sísmico escalar es de $1.8E+19$ Nm ($6.8M_w$), $7.2E+18$ Nm ($6.5M_w$) y $2.0E+20$ Nm ($7.5M_w$) respectivamente.

Abstract

In this study, we estimate the scalar seismic moment (M_0), the fracture radius (r) and the median displacement (Δu) of the June 23, 2001 Arequipa earthquake and three of its aftershocks of largest magnitude —June 25, July 5 and 7— based on the amplitude spectra of the P-wave recorded at teleseismic distances and assuming a model of circular faulting. The results obtained suggest a M_0 of $1.2E+21$ Nm, equivalent to a magnitude $M_w=8.2$, for the Arequipa earthquake. For the June 25, July 5, and July 7 aftershocks, the scalar seismic moments are $1.8E+19$ Nm ($6.8M_w$), $7.2E+18$ Nm ($6.5M_w$) and $2.0E+20$ Nm ($7.5M_w$) respectively.

Introducción

El día 23 de Junio de 2001, un terremoto de magnitud 6.9 en la escala de Richter afectó a toda la región Sur de Perú ocasionando un importante número de pérdidas humanas y destrucción en un buen número de localidades y ciudades de la región sur de Perú. El epicentro de este terremoto fue ubicado por el Instituto Geofísico del Perú (IGP) a 82 km en dirección NW de la localidad de Ocoña, aunque los mayores efectos fueron observados en dirección SE con respecto a su epicentro. Durante los primeros 30 días de ocurrido el terremoto, se ha registro alrededor de 5000 réplicas y de estas, tres produjeron intensidades del orden de V en la escala Mercalli Modificada en las localidades de Mollendo, Ilo y Caraveli (ver Tavera, en este informe). Inicialmente, la magnitud del terremoto de Arequipa y de sus réplicas fueron proporcionadas por el IGP y por el National Earthquake Information Center (NEIC) en diferentes escalas generando incertidumbre en los usuarios de la información. En la Tabla 1 se observa que la magnitud expresada en la escala M_w es mayor que M_L obtenida por el IGP, esto debido probablemente a que la segunda hace uso de registros de alta frecuencia;

mientras que, la primera al ser estimada a partir de señales con predominio de frecuencias bajas permite que se considere toda la señal asociada a la ruptura, principalmente cuando estos procesos son heterogéneos o complejos.

A fin de determinar el tamaño del terremoto de Arequipa y de tres de sus réplicas mayores (Tabla 1), en este estudio se calcula el momento sísmico escalar a partir de los espectros de amplitud de la onda P registradas en seis estaciones sísmicas ubicadas a distancias telesísmicas ($>30^\circ$). Además del momento sísmico, se estima el radio de fractura (r) y el desplazamiento medio (Δu) de cada una de las réplicas antes indicados asumiendo un modelo de fractura de tipo circular.

Tabla 1.

Parámetros hipocentrales del terremoto de Arequipa del 23 de junio de 2001 y de tres de sus réplicas principales.

Fecha dd:mm:aa	H. Origen hh:mm:ss.s	Lat.-S	Long.-W	Prof. km	Mag.	Agencia
23:06:01	20:23:04.4	16.20°	73.75°	28	6.9 ML/8.2Mw	IGP
23:06:01	20:33:13.0	16.15°	73.40°	33	8.4 Mw	NEIC
26:06:01	04:18:31.6	17.73°	71.34°	25	6.8 Mw	NEIC
05:07:01	13:53:49.7	15.56°	73.45°	64	6.6 Mw	NEIC
07:07:01	09:38:43.0	17.38°	71.78°	19	7.5 Mw	NEIC

Método

Los parámetros de la fuente de los terremotos pueden ser estimados a partir de dos de las características de los espectros de amplitud, la frecuencia esquina (f_c) y la parte plana del mismo (Ω_0). El valor de f_c es inversamente proporcional a las dimensiones de la fuente ($r_0 = f_c^{-1}$); mientras que, Ω_0 es proporcional al momento sísmico escalar (Aki, 1967; Hanks y Wyss 1972; Thatcher, 1972; Stavrakakis et al., 1989). Si se considera una completa caída de esfuerzos, el momento sísmico es definido como (Keilis-Borok, 1960; Hanks y Wyss, 1972):

$$M_0(P) = 4\pi\rho k\alpha^3 \Omega_0(P)G(\Delta)/R_{\theta\phi}(P)$$

Mientras que, la dimensión de la fuente y el desplazamiento medio pueden ser estimados a partir de (Brune, 1970):

$$r(P) = 2.34\alpha / 2\pi f_c(P) \quad \Delta u = Mo(P) / \pi \mu r^2(P)$$

donde, α es la velocidad de la onda P, ρ la densidad del medio, $\Omega_0(P)$ la parte plana del espectro, $G(\Delta)$ el factor de expansión geométrica, k el coeficiente en la superficie libre, $R_{\theta\phi}$ el patrón de radiación de la onda P y μ la rigidez del medio.

Conocido el momento sísmico escalar, la magnitud M_w puede ser estimada con la siguiente relación: $M_w = (3/2) \log Mo - 10.73$

Tabla 2

Parámetros de las estaciones utilizadas en el análisis espectral de ondas de volumen. E, terremoto de Arequipa; R1, replica del 25 de Junio; R2 y R3 réplicas del 5 y 7 de Julio

Estación	Latitud	Longitud	Ubicación	
SJG	18.11	-66.15	Puerto Rico	E, R1, R3
ANMO	3.95	-106.46	Nuevo Mexico, USA	E, R3
DBIC	6.67	-4.85	Cote d'Ivoire	E, R1
PAB	39.54	-4.34	España	E, R1, R2, R3
SFJ	66.99	-50.61	Greenland	E
HRV	42.50	-71.55	Massachusetts, USA	E, R1, R3
CMB	38.03	-120.38	California, USA	R1, R2
CCM	38.05	-91.24	Missouri, USA	R1, R2
PAS	34.14	-118.17	California, USA	R2
VSL	39.49	9.37	Italia	R2
SSPA	40.63	-77.88	Pennsylvania, USA	R2
DUG	40.19	-112.81	Utah, USA	R2
PLC	37.63	-121.95	California, USA	R3
DSB	53.24	-6.37	Ireland	R3

Datos

La información utilizada en este estudio corresponde a los registros en velocidad del terremoto principal y de las réplicas de magnitud mayor obtenidos de seis (6) estaciones sísmicas ubicadas a distancias epicentrales mayores a 30°; es decir, a distancias telesísmicas a fin de evitar la triplicación de fases debido a procesos de reflexión o difracción de ondas en el manto terrestre. Las coordenadas de las estaciones se muestran en la Tabla 2.

Resultados

Los resultados obtenidos para el terremoto de Arequipa y sus réplicas se muestran en la Tabla 3 y en ella se observa que el momento sísmico obtenido para el terremoto de Arequipa se encuentra dentro del rango de valores reportados por otras agencias. Asimismo, los valores del M_0 obtenidos para las réplicas del 25 de Junio, 5 y 7 de Julio son similares a los reportados por el NEIC. Estos valores corresponden al promedio de los obtenidos para cada una de las seis estaciones, tanto para el terremoto de Arequipa como para sus réplicas. Un ejemplo de los espectros elaborados se presenta en la Figura 1.

Tabla 3

Parámetros de la fuente obtenidos a partir del espectro de ondas de volumen.

Fecha	M_0 (N.m.)	M_w	r (km)	ΔU (cm)
23.06.2001	1.2×10^{21}	8.2	99	130
26.06.2001	1.8×10^{19}	6.8	20	48
05.07.2001	7.2×10^{18}	6.5	18	24
07.07.2001	2.0×10^{20}	7.5	47	90

Por otro lado, la longitud del radio de ruptura del terremoto de Arequipa es estimada en 99 km, siendo este valor aproximadamente 4 veces menor que el reportado a partir de la distribución espacial de las réplicas por Antayhua et al., (en este informe).

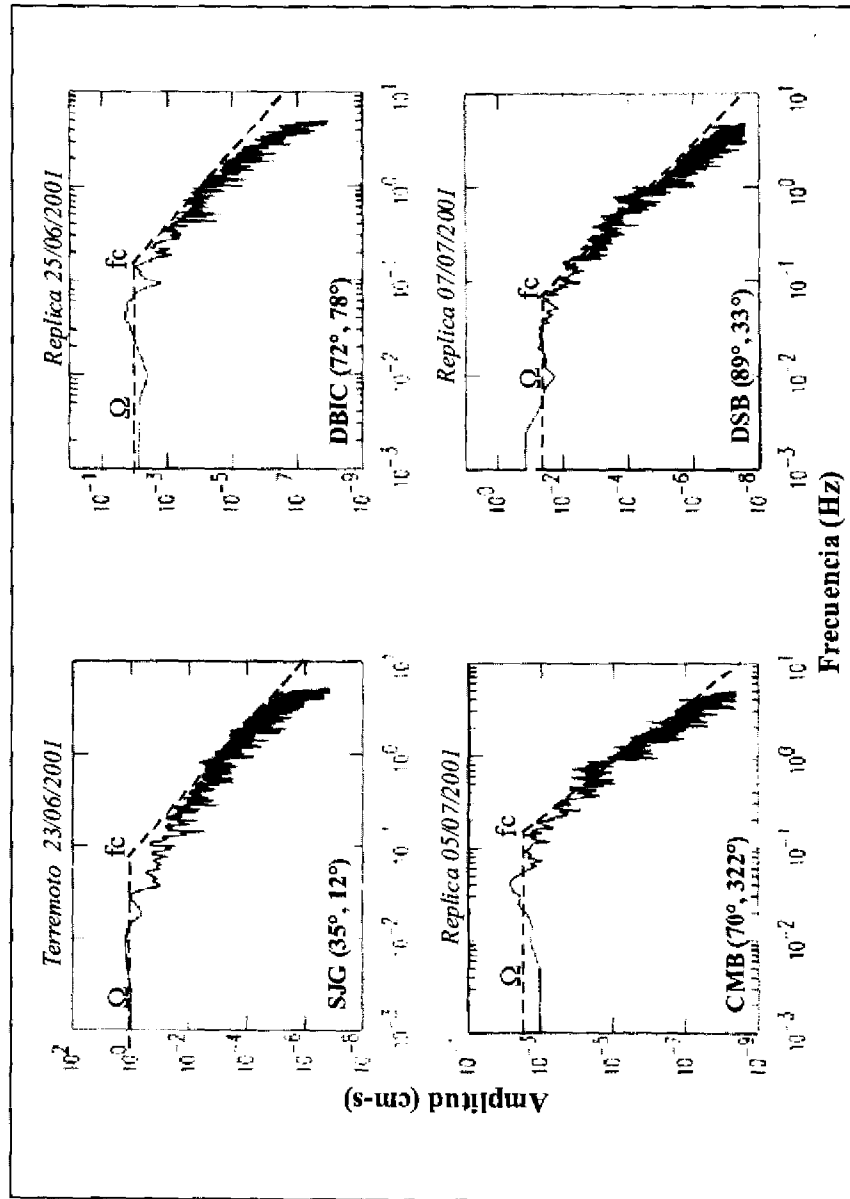


Figura 1.- Espectros de Amplitud, del terremoto de Arequipa del 23 de Junio del 2001 y de sus tres replicas de mayor magnitud. Ω =parte plana del espectro y f_c =la frecuencia esquina.

Estas diferencias son debidas a que en este estudio se ha considerado un modelo de fractura del tipo circular; por lo tanto, no considera la propagación de la misma puesta en evidencia a partir de la distribución de las réplicas. El desplazamiento medio estimado para el terremoto de Arequipa es de 130 cm, similar al observado a partir de mediciones GPS (Ruegg et al., 2001) y próximo a los calculados por Antayhua et al., (en este informe) y Tavera (en este informe) a partir de la distribución de las réplicas y modelado de ondas de volumen. Para las réplicas se obtiene radios medios de fractura entre 18 a 47 km y desplazamientos medios de 24 a 90 cm.

Bibliografía

- Aki, (1966). Bull. Earthquake Res. Inst. Univ., Tokyo, 44, 73-88.
Brune, (1970). Jour. Geophys. Res., 75, 4997-5009.
Hansk y Wyss, (1972). Bull. Seismol. Soc. Am., 67, 561-589.
Ruegg, (2001). Seism. Res. Lett., 72, 673-678.
Stavrakakis et al., (1989). Tectonophysics, 185, 261-275.
Thatcher, (1972). Jour. Geophys. Res., 77, 1549-1566.