

ANÁLISIS DE LOS SISMOS SUPERFICIALES DE CHACAPAMPA-HUASICANCHA (JUNÍN) DE JULIO Y AGOSTO DE 2003 (4,7 Y 4,2 MW): REGIÓN CENTRAL DE PERÚ

ANALYSIS OF SHALLOW EARTHQUAKES AT CHACAPAMPA-HUASICANCHA (JUNIN) ON JULY AND AUGUST 2003 (4,7 AND 4,2 MW), CENTRAL PERU

Hernando TAVERA ¹, Luis VILCAPOMA ², Efraín FERNÁNDEZ ²,
Yanet ANTAYHUA ² & Henry SALAS ²

RESUMEN

El 23 de Julio y 8 de Agosto de 2003, ocurren en la Alta Cordillera de la región central de Perú dos sismos de foco superficial y magnitudes Mw de 4.7 y 4.2 que produjeron intensidades máximas de V y IV (MM) en las localidades de Chacapampa, Huasicancha y Carhuacallanga ubicadas a escasos 8 km de los epicentros. Estos sismos ocurren en una zona en donde la actividad sísmica es muy baja y por lo tanto, no existen suficientes antecedentes del estado actual de la deformación superficial. El uso de información sísmica local proveniente de la RSN-IGP, ha permitido determinar con precisión los parámetros epicentrales de estos sismos y ajustar la profundidad de sus focos en 11 y 17 km. Los mecanismos focales obtenidos a partir de la polaridad de la onda P, indican fallas inversas con planos nodales orientados en dirección NNO-SSE y eje de presión (P) en dirección ENE-OSO. A partir del espectro de amplitud del desplazamiento de la onda S se obtiene para el sismo del 23 de Julio un momento sísmico de 1.62×10^{23} dinas-cm y para el sismo del 8 de Agosto de 2.25×10^{22} dinas-cm. Los radios de fractura oscilan entre 1.6 y 1.7 km. Ambos sismos sugieren el desarrollo de procesos de deformación local por compresión, cerca de una falla indiferenciada de 4 km de longitud ubicada al Este de sus epicentros.

Palabras Claves: Sismos superficiales, parámetros hipocentrales, mecanismo focal, intensidades, análisis espectral.

ABSTRACT

On July 23th and August 8th, 2003, there happen in the Andean Cordillera of the central region of Peru two shallow earthquakes with magnitudes of 4.7 Mw and 4.2 Mw, these have produced maximum intensities of V and IV (MM) in the Chacapampa, Huasicancha and Carhuacallanga towns, all located about 8 km from the epicenters. These earthquakes have occurred in a zone with very low seismic activity and therefore, there is not enough information to know the state of the cortical deformation. The use of local information of the RSN-IGP, has allowed to determine accurately the epicenter parameters of these earthquakes and to fit the depth in 11 km and 17 km. The focal mechanisms obtained from the polarity of the P-wave, shows inverse faults with nodal planes orientated toward NNO-SSE direction and axis of pressure (P) in ENE-OSO direction.

From the spectral analysis of the S-wave, is obtained the seismic moment of 1.62×10^{23} dynes-cm for the July 23th earthquake and the 2.25×10^{22} dynes-cm for the 8th August earthquake. The radius fracture range between 1.6 and 1.7 km. Both earthquakes suggest the process be development of local deformation by compression.

Keywords: Shallow earthquakes, hypocentral parameters, focal mechanism, intensity, spectral analysis.

¹ Dirección de Sismología, Instituto Geofísico del Perú

² Banco de Datos Sísmicos, Instituto Geofísico del Perú
Calle Badajos, 169. Urbanización Mayorazgo IV Etapa, Ate.
hjtavera@geo.igp.gob.pe

INTRODUCCIÓN

La importante actividad sísmica presente en el Perú es debida al proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana que ocurre con una velocidad promedio de convergencia del orden de 7-8 cm/año (DeMets et al, 1980; Norabuena et al, 1999). Este proceso es responsable de los sismos de mayor magnitud que ocurren frente a la línea de costa debidos al contacto sismogénico (Dorbath et al, 1990a; Tavera y Bufo, 2001), pero también está ligado a los sismos superficiales asociados al proceso de deformación de la cordillera. Los sismos interplaca son los de mayor magnitud ($M_w \gg 7.0$) y muy frecuentes en el tiempo; por su parte, los sismos corticales superficiales son menos frecuentes y en general con magnitudes $M_w \gg 6.5$. Estos últimos al ser muy superficiales producen daños importantes en áreas pequeñas alrededor del epicentro.

Para la Alta Cordillera de la región central de Perú, no existe información histórica sobre la ocurrencia de sismos de magnitudes elevadas que

permitan tener una idea sobre los patrones de deformación cortical. La información instrumental para la misma región muestra que el número de sismos con magnitudes $M_w \gg 4.5$ es mínimo, existiendo muchas zonas para las cuales no se dispone de información sobre la ocurrencia de estos sismos, y menos con registros sísmicos, siendo difícil identificar nuevas zonas de deformación. De ocurrir sismos con estas magnitudes, son de mayor interés para conocer el estado actual de la deformación en la Alta Cordillera.

El 23 de Julio y 8 de Agosto de 2003, cerca de las localidades de Chacapampa y Huasicancha (departamento de Junín), ocurrió dos sismos de carácter superficial y magnitudes M_w de 4.7 y 4.2 (4.5 y 3.9 ML) causando daños importantes en varias viviendas de piedras, adobe y quincha de las localidades pequeñas ubicadas a escasos 8 km de ambos epicentros. Estos sismos ocurrieron en la Alta Cordillera de la región central de Perú, en una zona de menor actividad sísmica. Es posible que en el

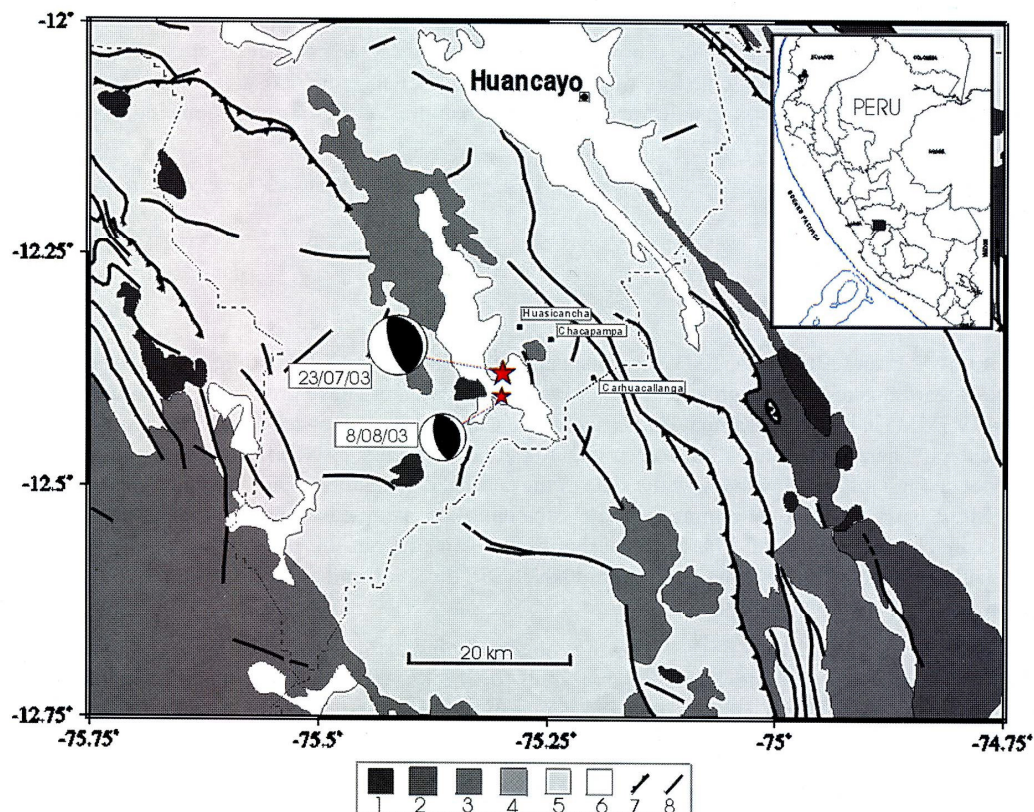


Figura 1.- Geología y Tectónica de los Altos Andes de la región Central de Perú. Las estrellas representan los epicentros de los sismos de Chacapampa y Huasicancha y las esferas los mecanismos focales representados en el hemisferio inferior (en negro compresión y en blanco dilatación). 1: Cretáceo-Neógeno, 2: Triásico Superior, 3: Eoceno Superior y Neógeno, 4: Paleozoico y Precámbrico, 5: Mesozoico y Terciario, 6: Cuaternario, 7: Fallas inversas, 8: Fallas indiferenciadas

pasado hayan ocurrido sismos de magnitud similar en esta zona, pero debido a la ausencia de información no ha sido posible conocer sus características. Los sismos de Chacapampa y Huasicancha fueron registrados por las estaciones de periodo corto y de banda ancha de la Red Sísmica Nacional a cargo del Instituto Geofísico del Perú (RSN-IGP), y la calidad de la información obtenida ha permitido determinar sus parámetros hipocentrales, conocer la orientación de la fuente y estimar sus tamaños (momento sísmico, magnitud).

TECTÓNICA Y SISMICIDAD

El área de estudio se ubica en la Alta Cordillera de la región central de Perú (extremo SO del departamento de Junín) y a 36 km al sur de la ciudad de Huancayo (Figura 1). La parte central de esta zona se encuentra sobre las formaciones Goyllarisquiza (areniscas), Chaucha (calizas) y Cercapuquio (areniscas), todas del Mesozoico y Terciario. La ciudad de Huancayo se encuentra sobre un área de gran dimensión compuesta por sedimentos del Cuaternario (Figura 1). En el extremo occidental del área de estudio predominan las series volcánicas

y volcano-sedimentarias del Paleozoico y Precámbrico; mientras que, en el extremo oriental se encuentran presentes las calizas y dolomitas del Grupo Pucará (Terciario Superior) y rocas sedimentarias, volcánicas y metamórficas del Paleozoico y Precámbrico. De manera puntual, se distingue la presencia de algunas rocas plutónicas del Cretáceo y Neógeno (Figura 1). Según la carta geológica de los Andes del Perú Central (Megard, 1978), en el área de estudio predominan las trazas de fallas indiferenciadas y en su parte central, algunas trazas de fallas inversas con orientación paralela a la cordillera y buzamientos en dirección SO. Los epicentros de los sismos de Chacapampa y Huasicancha se localizan en la parte central del área de estudio sobre terrenos sedimentarios y a escasos 3 km en dirección Oeste de una pequeña traza de falla indiferenciada (Figura 1).

En la Figura 2 se muestra la distribución espacial de los sismos con magnitudes $M_w \geq 4.5$ ocurridos en la región central del Perú entre los años 1990 y 2004. De acuerdo a las dimensiones del área de estudio, se ha visto por conveniente considerar

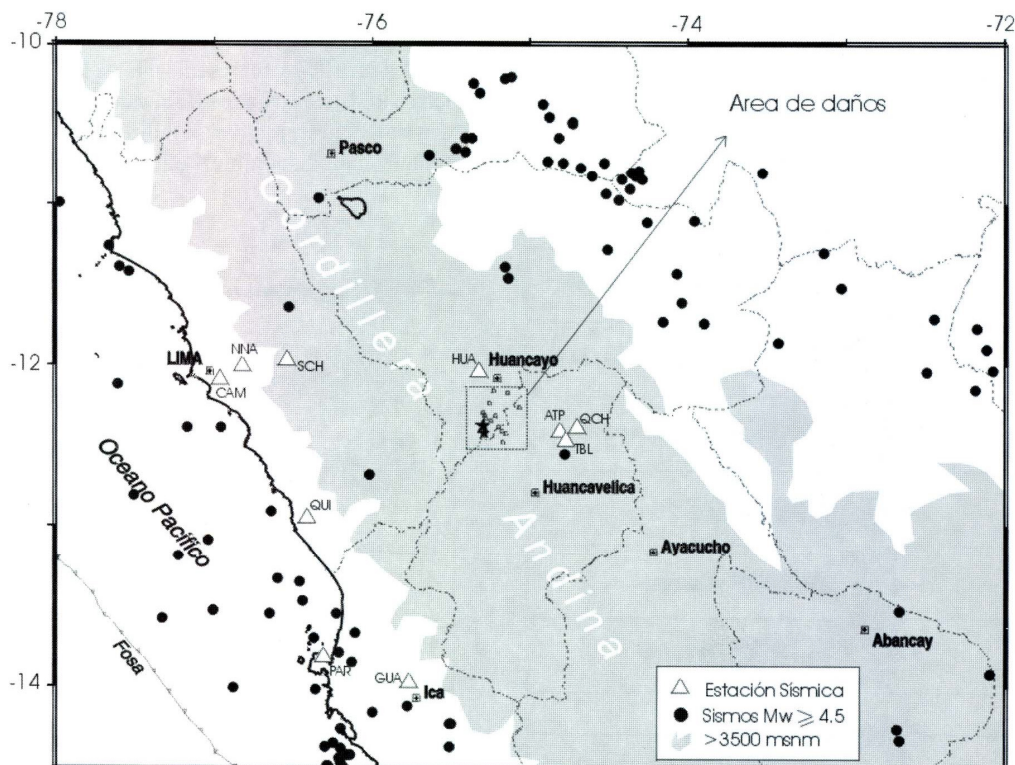


Figura 2.- Distribución espacial de los sismos con magnitud mayor a 4.5 M_w ocurridos en la región central de Perú entre los años 1990 y 2004. La zona sombreada corresponde a la Cordillera de los Andes. Los triángulos indican las estaciones sísmicas utilizadas en la localización de los sismos y el recuadro, el área en donde se ubican las localidades que soportaron daños mayores

este periodo de tiempo en razón que al existir un mayor número de estaciones sísmicas, ha sido posible mejorar el cálculo de los parámetros hipocentrales de los sismos. Según la Figura 1, los sismos se agrupan a ambos extremos de la Cordillera Andina y están asociados al proceso de convergencia de las placas de Nazca y Sudamérica (extremo occidental), y a la subsidencia del escudo brasilero en el borde oriental de la cordillera (extremo oriental). En la parte central del área; es decir, sobre la Alta Cordillera se observa ausencia de sismos, siendo los ocurridos en Julio y Agosto de 2003 los únicos importantes debido a sus magnitudes moderadas y carácter superficial.

Parámetros hipocentrales

Los parámetros hipocentrales de los sismos de CH fueron obtenidos utilizando información de 10 estaciones sísmicas de la Red Sísmica Nacional del Instituto Geofísico del Perú distribuidas alrededor del área afectada (Figura 2). Algunos de los registros más representativos de los sismos en estaciones de periodo corto y de banda ancha son presentados en la Figura 3, siendo una característica casi común en todos, la saturación de la señal debido a la proximidad de las estaciones al epicentro. Para calcular los parámetros hipocentrales se ha utilizado el algoritmo Hipoinverse (Klein, 1978), el modelo de velocidad utilizado por Dorbath et al (1990b, 1991) en el estudio de la microsismicidad de la región Central de Perú y una relación de velocidades $V_p/V_s=1.77$ obtenida

con el total de los registros disponibles. El algoritmo Hipoinverse, a diferencia de otros utilizados en el cálculo de hipocentros, para la profundidad del foco le asigna diferentes valores de ensayo dentro de un rango de 0 a 150 km con incrementos de 5 km a fin de disminuir al mínimo el efecto que pueda causar a la solución final, los parámetros de la solución inicial. En la Tabla 1 se presenta los parámetros hipocentrales de ambos sismos en comparación con los reportados por el NEIC. Estos resultados muestran que solo utilizando información de redes sísmicas locales es posible ajustar correctamente los parámetros hipocentrales de ambos sismos con mayor precisión, especialmente la profundidad de los focos. Las magnitudes de ambos fueron estimadas utilizando las relaciones establecidas para el Perú por Ccallo et al (2002) y que utilizan fase Lg, siendo el valor reportado por el NEIC coherente con los obtenidos en este estudio. Según la Tabla 1, los valores de magnitud son comparables.

Intensidades

Los sismos de Chacapampa y Huasicancha ocurrieron en una zona donde por su topografía y distancia a ciudades importantes como Huancayo por ejemplo, la comunicación entre las diferentes localidades es difícil y representa uno de los mayores problemas logísticos para realizar evaluaciones de los daños in situ. Por este motivo, se utilizó el único medio de comunicación disponible y eficiente, el cual es la

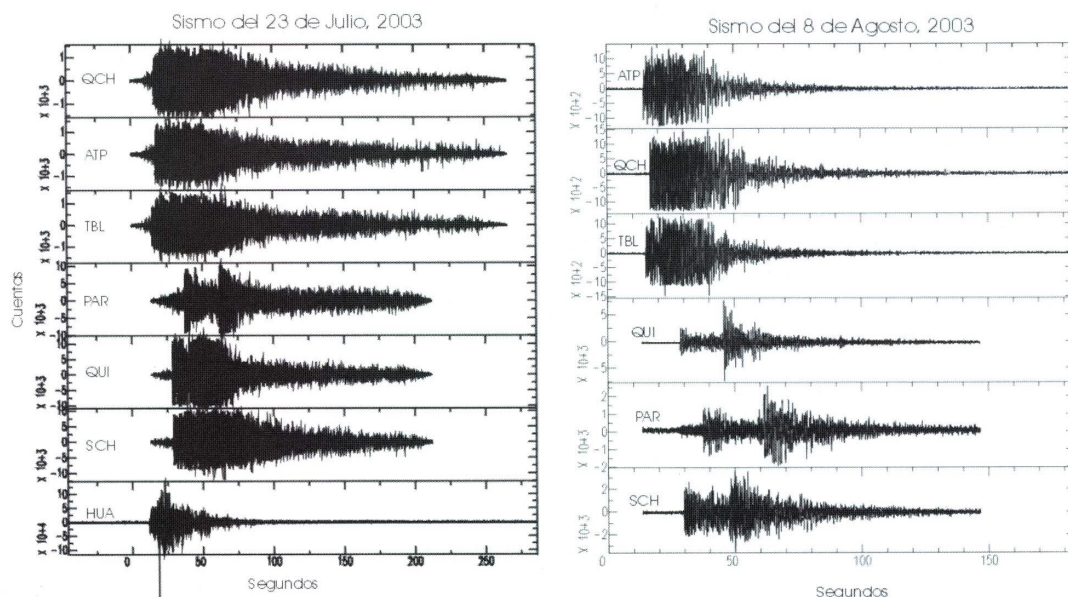


Figura 3.- Algunos registros de los sismos de Chacapampa y Huasicancha en estaciones de periodo corto y banda ancha (HUA) de la Red Sísmica Nacional del Instituto Geofísico del Perú

TABLA 1
Parámetros hipocentrales de los sismos de CH de Julio y Agosto, 2003

Fecha d/m/a	Hora Origen hh:mm:ss.s	Lat. Sur (°) ± km	Long. Oeste (°) ± km	Prof. km	Mag.	Fuente
23/07/03	12:47:50.3	12.378±1.2	75.298±1.2	11.5±2.2	4.5ML	IGP
					4.7Mw	
08/08/03	12:47:55.1	12.035	74.977	33.0	4.6mb	NEIC
	15:24:37.1	12.403±1.3	75.301±1.3	17.2±2.6	3.9ML	IGP
					4.2Mw	

ML = magnitud local; *Mw* = magnitud momento; *mb* = magnitud ondas de volumen

vía telefónica. Los valores de intensidad máxima producidas por ambos sismos fueron obtenidos de la interpretación realizada sobre las encuestas telefónicas realizadas en cada localidad cercana a los epicentros (Figura 4). Debido al carácter superficial de los sismos, los mayores daños se produjeron en varias localidades de escasa población ubicadas en dirección Este a escasos 8 km de distancia.

La intensidad máxima producida por el sismo del 23 de Julio fue de V (MM) en las localidades de Chacapampa, Huasicancha y Carhuacallanga, produciéndose agrietamientos en la mayoría de sus viviendas de piedra, barro y quinchá, además del colapso de paredes y techos de un número menor de viviendas del mismo material. En la localidad de Chacapampa se produjo el colapso parcial de 4 viviendas, así como la ocurrencia de dos pequeños derrumbes de tierra al día siguiente de haberse producido el sismo. En las localidades con intensidades de IV (MM), se produjeron pequeñas fisuras en las paredes de barro y en mayor número, la caída de objetos de las paredes y mesas (Socos, Chicche, Chongos Alto, Colca, Huayllahuara y Moya). El sismo del 8 de Agosto produjo intensidades máximas de IV (MM) en las localidades de Chacapampa, Huasicancha y Huayllahuara produciendo daños moderados en las viviendas de barro y quinchá (caída de tejas de los techos), y daños mayores en el local de la Municipalidad de Chacapampa, además de algunas viviendas de Huayllahuara, que quedaron a punto de colapsar.

Mecanismos focales

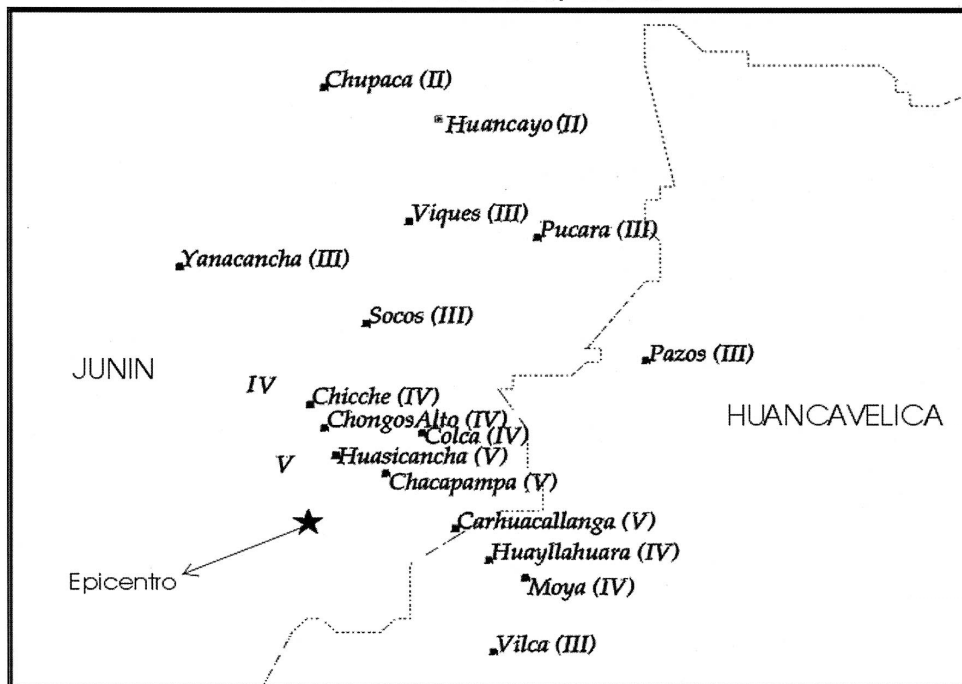
Los mecanismos focales de ambos sismos fueron obtenidos utilizando el algoritmo de Brillinger et al, (1980), el mismo que además de calcular la orientación de los planos nodales y de los ejes de

presión (P) y tensión (T), permite obtener la desviación estándar de cada uno de los valores que definen la orientación de la fuente. Los datos utilizados corresponden a los primeros movimientos de la onda P registrados en estaciones de periodo corto y de banda ancha de la RSN-IGP.

Según la Figura 5, los sismos de Chacapampa y Huasicancha tuvieron su origen en un proceso de ruptura producido por fallas inversas cuyos planos nodales se orientarían en dirección NNO-SSE, ambos buzando con ángulos de 69 y 63 grados en dirección OSO, y de 21 y 27 grados en dirección ENE. La orientación de los planos nodales es paralela a la Cordillera Andina y a los principales sistemas de fallas presentes en los Altos Andes (Figura 1). La orientación del eje de presión P sugiere que la compresión máxima se ha producido en dirección ENE-OSO, siendo esta consistente con los mecanismos focales obtenidos para sismos de gran magnitud ocurridos en el borde occidental y oriental de la Cordillera Andina (Suárez et al, 1983; Tavera y Buforn, 1998; Tavera y Buforn, 2001), y estudios de microsismicidad en zonas andinas (Suárez et al, 1990; Dorbath et al, 1991; Lindo, 1993). De igual forma, los resultados obtenidos son concordantes con los resultados previos de microtectónica realizados en la región central de Perú (Dalmayrac y Molnar, 1981; Blanc, 1984; Sebrier et al, 1988). En general, estos resultados sugieren que en el área hipocentral el proceso de deformación local es debido a fuerzas de compresión orientadas en dirección ENE-OSO, pudiendo definir las características tectónicas de la única traza de falla de 4 km de longitud que se ubica a escasos 3 km de distancia en dirección Este.

Del total de datos de polaridad utilizados en la elaboración del mecanismo focal de ambos sismos, el correspondiente a la estación de Llamahuachi

Sismo 23 de Julio, 2003



Sismo 8 de Agosto, 2003

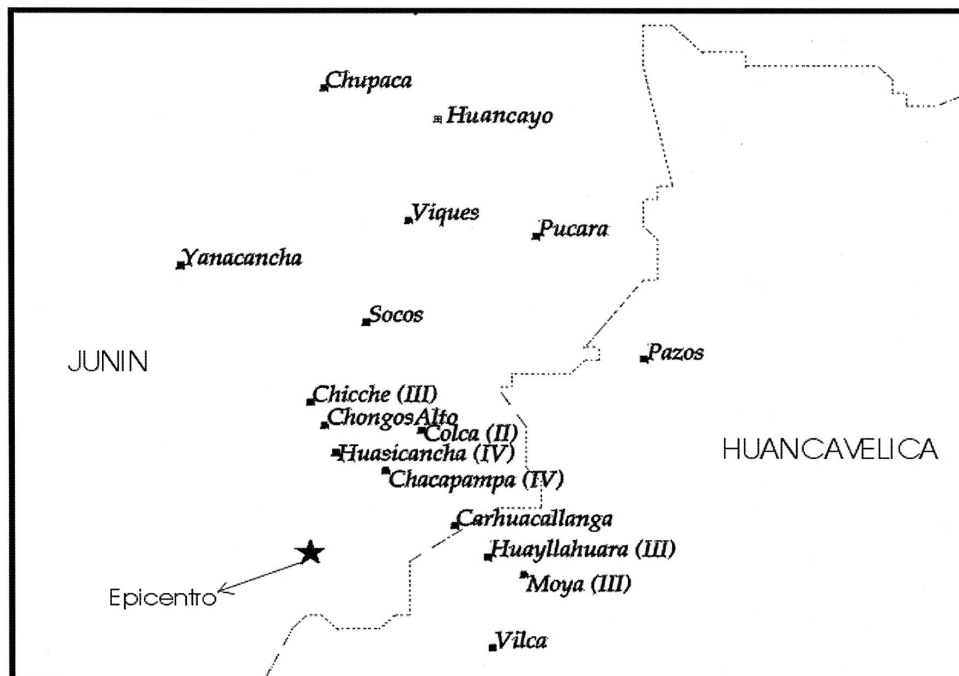


Figura 4.- Valores de intensidad máxima en la escala Mercalli Modificada para los sismos de Chacapampa y Huasicancha. Las estrellas indican la ubicación de los epicentros

(LLA) presenta polaridad negativa para el sismo del 23 de Julio y positiva para el sismo del 8 de Agosto, lo cual ha producido un ligero cambio en la orientación de la fuente y que puede ser debido a pequeñas variaciones en el proceso de ruptura de ambos sismos con focos ubicados a diferente nivel de profundidad.

Análisis Espectral

Los parámetros de la fuente como el momento sísmico (M_0) y el radio de fractura (r_s) han sido estimados a partir de la parte plana a bajas frecuencias y la frecuencia esquina del espectro de amplitud del desplazamiento de la onda S. El espectro es obtenido a partir del registro de ambos sismos en las dos componentes horizontales de la estación CUS ubicada a una distancia de aproximadamente 382 km de los epicentros. En la Figura 6 se muestra los espectros y parámetros de la fuente fueron calculados utilizando las relaciones determinadas por Brune (1970):

$$M_0 = 4\pi\rho\Delta_hV^3(\Omega_0/F\mathfrak{R}_{00})$$

$$r_s = 2.34\beta/2\pi f_s$$

donde, ρ es la densidad (2.7 gr/cm³), Δ_h la distancia hipocentral, $V(\beta)$ la velocidad de la onda S (3.5 km/seg), F el factor de amplificación de la onda en la superficie libre ($F=2.0$), $\mathfrak{R}_{00}$ el patrón de radiación de la onda S ($\mathfrak{R}_{00}=0.37$) obtenido del mecanismo focal y f_s la frecuencia esquina para la onda S.

Para el sismo del 23 de Julio se obtiene un M_0 de 1.6×10^{23} dina-cm y para el sismo del 8 de Agosto de 2.2×10^{22} dinas-cm. Los radios de fractura han sido estimados en 1.6 y 1.7 km. A partir del M_0 y la relación de Kanamori (1977), se obtiene para el sismo del 23 de Julio una magnitud momento $M_w=4.7$ y para el sismo del 8 de Agosto, de $M_w=4.2$.

CONCLUSIONES

Los sismos de Chacapampa y Huasicancha ocurrieron en los Andes de la región central de Perú y en una zona en donde la actividad sísmica de magnitud moderada es baja. Ambos sismos con magnitudes de 4.7 y 4.2 M_w , y focos superficiales (11 y 17 km), produjeron daños importantes en pequeñas localidades ubicadas en dirección Este a escasos 8 km de los epicentros. El estudio de los parámetros de la fuente de sismos con estas características es de fundamental importancia para determinar la orientación y el estado actual de los esfuerzos asociados a la deformación de la Cordillera Andina.

Los mecanismos focales de ambos sismos corresponden a fallas inversas con planos nodales orientados en la misma dirección que la Cordillera Andina y eje de presión (P) paralelo a la dirección de deformación por compresión o extensión que se desarrolla en el interior del continente.

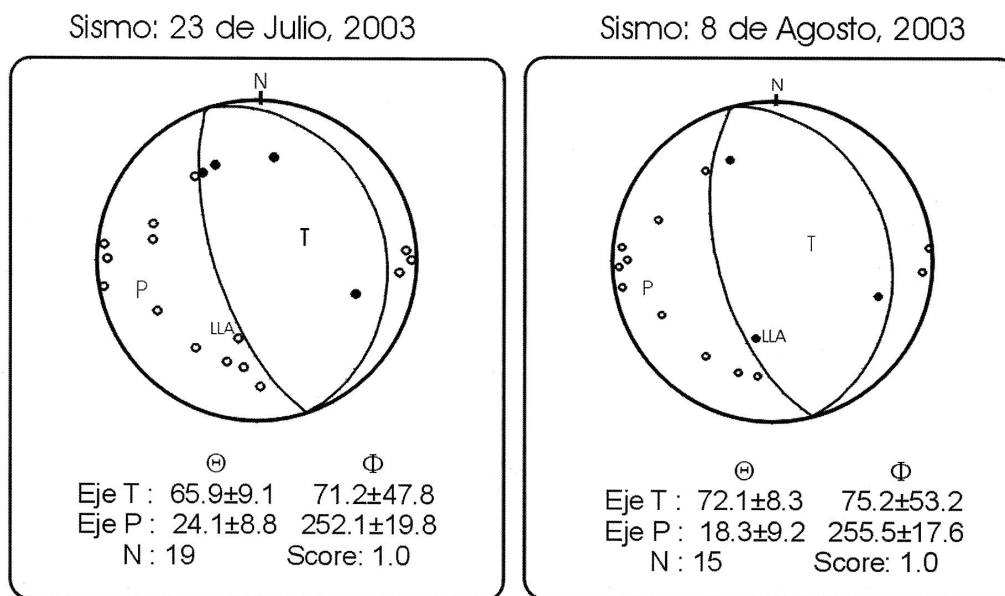


Figura 5.- Mecanismos focales para los sismos de Chacapampa y Huasicancha. La proyección corresponde a la parte inferior de la esfera focal. Los círculos en negro indican compresión y los blancos dilatación. Las letras T y P representan a los ejes de tensión y presión (F= azimut, Q=inclinación). N, el número de datos utilizados y score, la proporción de aciertos. Los registros sísmicos corresponden a la estación LLA y en los cuales se observa el cambio en la polaridad de la onda P

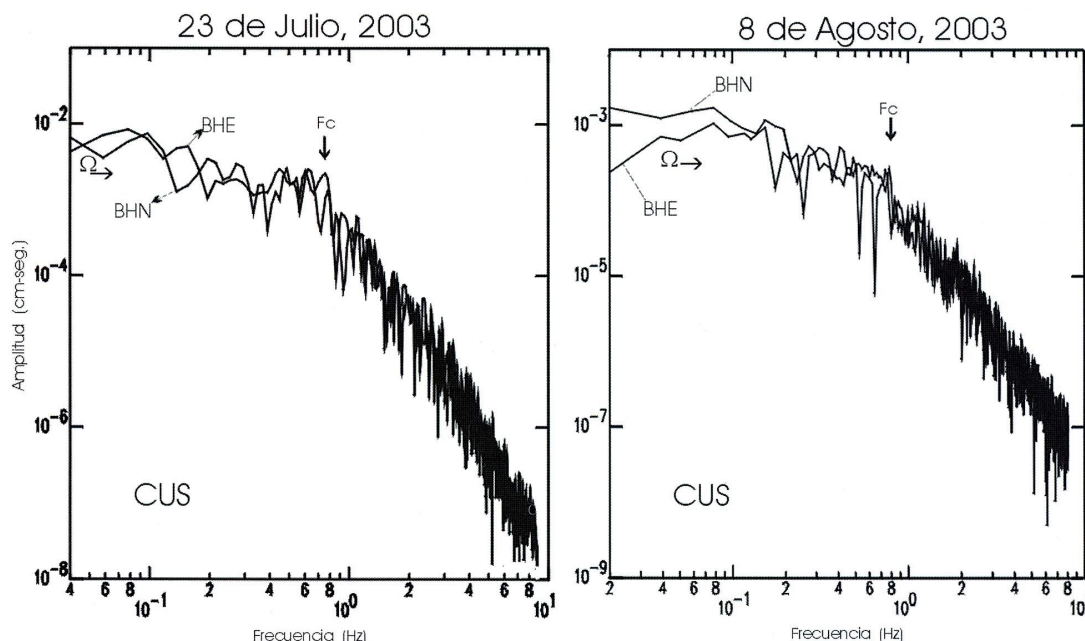


Figura 6.- Espectros de amplitud del desplazamiento de la onda S para las componentes horizontales del registro de los sismos de Chacapampa y Huasicancha en la estación Cusco (CUS). Las flechas indican la parte plana del espectro (W) y la frecuencia esquina (Fc)

Por su ubicación hipocentral, los sismos de Chacapampa y Huasicancha sugieren el desarrollo de procesos de deformación local de tipo compresional con ejes de presión (P) orientados en dirección ENE-OSO. Esto sismos presentan momentos sísmicos de 1.62×10^{23} y 2.25×10^{22} dinas-cm, equivalentes a magnitudes momento de 4.7 y 4.2 Mw.

Los resultados obtenidos en este estudio permiten contar con información reciente para un mejor conocimiento de los procesos de deformación superficial que se desarrollan en la Alta Cordillera de la región central de Perú.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Dra. Diana Comte (DGF-Chile) y a los Drs. Luis Quintanar (IG-UNAM, Mexico) y Daniel Huaco por sus correcciones y comentarios al presente estudio. Al personal de Redes Geofísicas del Instituto Geofísico del Perú por el trabajo que realizan para mantener operativa la Red Sísmica Nacional y cuya información ha sido utilizada en este estudio. Contribución del CNDG-Sismología N°024-2005/CNDG-IGP.

BIBLIOGRAFÍA

- BLANC J. (1984).- *Etude neotectonique et sismotectonique des andes du Perou Central dans la Region de Huancayo*. Tesis 3° Cycle, Université Paris Sud, Francia, 201 p.
- BRILLINGER D., UDIAS A. & BOLT B. (1980).- A probability model for regional focal mechanism solution. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 70, 140-170.
- BRUNE J. (1970).- Tectonics, strain and the spectra of seismic shear waves from earthquakes. *J. Geophys. Res.*, 75, 4997-5009.
- CCALLO F., TAVERA H. & VALDIVIA I. (2002).- La magnitud de sismos locales y regionales ocurridos en Perú a partir de la onda Lg y duración de su registro. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*. 94, 61-69.
- DALMAYRAC B. & MOLNAR P. (1981).- *Parallel thrusts and normal faulting in Peru and constraints on the state of stress*. *Earth and Planetary Science Letters*, 55, 473-481.
- DE METS C., GORDON R., AARHUS A. & STEIN S. (1980).- Current plate motions. *Geophys. J. Int.*, 101, 425-478.

- DORBATH L., CISTERNAS A. & DORBATH C. (1990a).- Assessment of the size of large and great historical earthquakes in Peru. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 80, 551-576.
- DORBATH C., DORBATH L., CISTERNAS A., DEVERCHERE J. & SEBRIER M. (1990b).- Seismicity of the Huancayo Basin (Central Peru) and the Huaytapallana Fault. *Journal of South American Earth Sciences*, 3, 21-29.
- DORBATH L., DORBATH C., JIMENEZ E. & RIVERA L. (1991).- Seismicity and tectonic deformation in the Eastern Cordillera and the sub-andean zone of central Peru. *Journal of South American Earth Sciences*, 4, 13-24.
- KANAMORI I. (1977).- The energy release in great earthquake. *J. Geophys. Res.*, 82, 2981-2987.
- KLEIN F. (1978).- Hypocenter location program Hypoinverse., U.S. Geological Survey, Open File Report., 78-694
- LINDOR. (1993).- *Seismotectonique des andes du Peru Central: Apport des donnees sismologiques de haute precision*. Tesis Doctoral. Universidad Louis-Pasteur de Strasbourg, Francia.
- MEGARD F. (1978).- *Etude geologique des Andes du Perou Central*. Memoires ORSTOM N° 86, 310 p.
- NORABUENA E., DIXON T., STEIN S. & HARRISON C. (1999).- Decelerating Nazca South American and Nazca Pacific plate motions. *Geophys. Res. Lett.*, 26, 3405-3408.
- SEBRIER M., MERCIER J., MACHARÉ J., BONNOT D., CABRERA J. & BLANC J. (1988).- The state of stress in an overriding plate situated above a flat slab: The Andes of central Peru. *Tectonics*, 7, 895-928.
- SUAREZ G., MOLNAR P. & BURCHFIEL B. (1983).- Seismicity, fault plane solutions, depth of faulting and active tectonics of the andes of Peru, Ecuador ad southern Colombia. *J. Geophys. Res.*, 88, 10403-10428.
- SUAREZ G., GAGNEPAIN J., CISTERNAS A., HATZFELD D., MOLNAR P., ROECKER S. & VIODE J. (1990).- Tectonics deformation of the Andes and the configuration of the subducted slab in Central Peru: results from a microseism experiment. *Geophys. J. Int.*, 103, 1-12.
- TAVERA H. & BUFORN E. (1998).- Sismicidad y Sismotectónica de Perú. *En: Sismicidad y Sismotectónica de Centro y Sudamérica*. Bufoen E. & Udias A. (eds), Física de la Tierra, 10, 187-219.
- TAVERA H. & BUFORN E. (2001).- Source mechanism of earthquakes in Perú. *Journal of Seismology*, 5, 519-540.