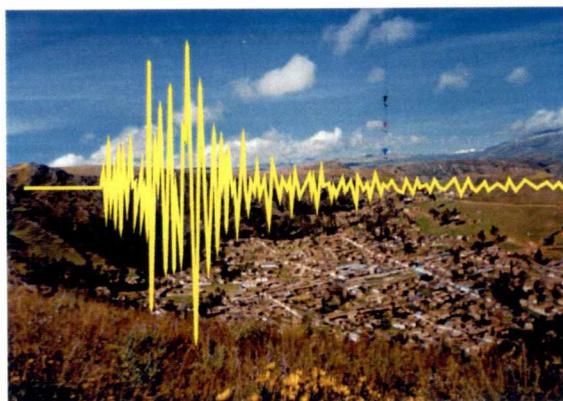




INSTITUTO GEOFISICO DEL PERU
Centro Nacional de Datos Geofísicos
Sismología



Los Sismos de Chacapampa-Huasicancha (Junin)
del 23 de Julio y 8 de Agosto de 2003
(Región Central de Perú)

Hernando Tavera

Yanet Antayhua
Luis Vilcapoma
Efrain Fernández
Henry Salas



Lima-Perú
Agosto, 2003

Inf. Tecnica
X 1133

INDICE

RESUMEN

1.- INTRODUCCION

2.- TECTONICA Y SISMICIDAD

3.- LOS SISMOS DE CHACAPAMPA-HUASICANCHA

3.1. Parámetros Hipocentrales

3.2. Intensidades

3.3. Orientación de la Fuente

3.3. Parámetros de la Fuente

4.- CONCLUSIONES

5.- BIBLIOGRAFÍA

RESUMEN

En las primeras horas de los días 23 de julio (7h 47min, hora local) y 8 de agosto de 2003 (10h 24min, hora local), se produjo en la Alta Cordillera de la región Central de Perú dos sismos de foco superficial y magnitud moderada (4.5MD y 3.9MD) que alcanzaron valores de intensidad máxima del orden de V (MM) en las localidades de Chacapampa, Huasicancha y Carhuacallanga ubicadas a distancias de 7 y 8 km de los respectivos epicentros. Ambos sismos ocurrieron en una zona en donde la actividad sísmica para magnitudes mayores a 4.0mb es muy baja y por lo tanto, no existen suficientes antecedentes o información sobre el estado actual de la deformación superficial en la Alta Cordillera de la región Central de Perú. El uso de información sísmica obtenida de la Red Sísmica Nacional a cargo del Instituto Geofísico del Perú, ha permitido determinar con precisión los parámetros epicentrales de ambos sismos y ajustar la profundidad de sus focos en 11.5 y 17.2 km. La orientación de la fuente para los dos sismos ha sido obtenida a partir de la polaridad de la onda P y en ambos casos corresponden a una falla inversa con planos nodales orientados en dirección NNO-SSE y eje de presión (P) en dirección ENE-OSO. A partir del espectro de la onda S para el sismo del 23 de Julio se obtiene 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 870-1000 metros. Los dos sismos tendrían su origen en una pequeña falla de 4 km de longitud ubicada en el extremo Este de los epicentros.

1.- INTRODUCCION

La importante actividad sísmica presente en el Perú es debida al proceso de convergencia de la placa de Nazca bajo la Sudamericana, el mismo que se produce con una velocidad promedio del orden de 7-8 cm/año (DeMets et al, 1980; Norabuena et al, 1999). Este proceso es responsable de la ocurrencia de los sismos de mayor magnitud que se hayan producido frente a la línea de costa (Dorbath et al, 1990a; Tavera y Buforn, 2001), todos asociados al contacto sismogénico interplaca. Estos sismos son muy frecuentes en el tiempo y en un año es posible registrar la ocurrencia de hasta 60 sismos con magnitudes $m_b \geq 4.5$, y en general todos son sentidos en las localidades cercanas a la línea de costa y al epicentro con intensidades mínimas de IV-V (MM). Los sismos de mayor magnitud ($M > 7.0$) han producido importantes daños en áreas relativamente muy grandes como el ocurrido en la región Sur de Perú el 23 de Junio de 2001 ($M_w = 8.2$) que afectó un área de 70x370 km ubicada entre las localidades de Atico (Arequipa) e Ilo (Moquegua). Contrariamente, los sismos superficiales con origen en la deformación de la corteza continental son menos frecuentes en el tiempo y en general presentan magnitudes $M < 6.0$; sin embargo, estos sismos al ser muy superficiales producen daños importantes en áreas pequeñas alrededor del epicentro y muchas veces son comparables como los daños que producen los grandes sismos de origen interplaca. Estos sismos tienen su origen en los procesos de deformación de la cordillera y en la subsidencia del escudo brasileño en la llamada zona subandina.

En general, los sismos cuyos focos se ubican a profundidades menores a 60 km son llamados superficiales, siendo estos los que causan los daños en superficie. Según estudios realizados por Suárez et al (1983), Cahill y Isacks (1992) y Tavera y Buforn (2001), estos sismos son producidos por fuerzas netamente compresivas orientadas en

dirección NE-SO a E-O debido a la convergencia de placas (sismos de 1966, 1974 frente a Lima) y subsidencia del escudo brasilero (sismos de 1990, 1991 en Moyobamba). Los sismos de mayor magnitud que se han producido en la Alta Cordillera pueden ser debidos a fuerzas compresivas (sismo de 1969 en Huancayo) o extensivas (sismo de 1946 en Ancash), también orientadas en la misma dirección. Estos resultados sugieren que la deformación asociada a grandes sismos, está controlada por la convergencia de placas y por la orientación de la Cordillera de los Andes; mientras que, la deformación producida por sismos de magnitud moderada ($M < 6.0$) sería controlada por fuerzas cuya orientación es muy heterogénea y muchas veces es posible considerar la presencia de fuerzas netamente locales.

En la Alta Cordillera de la región Central de Perú, el número de sismos con magnitudes $m_b > 4.5$ es mínimo (no existe información histórica), existiendo muchas zonas para las cuales no existen antecedentes o no se dispone de información sobre la ocurrencia de estos sismos y menos con registros sísmicos; por lo tanto, es imposible identificar nuevas zonas de deformación. De ocurrir sismos con estas características y que a la vez produzcan daños importantes en superficie, es de interés debido a que permitirían conocer el estado actual de los esfuerzos en la Alta Cordillera.

El día 23 de Julio y 8 de Agosto de 2003, muy cerca de las localidades de Chacapampa y Huasicancha en el Departamento de Junín, ocurrieron dos sismos de foco superficial y magnitudes de $4.4M_D$ ($4.6m_b$, $4.5m_bLg$, $4.7M_w$) y $4.0M_D$ ($3.9m_bLg$, $4.2M_w$) causando daños importantes en varias localidades pequeñas ubicadas en dirección Este a escasos 7 y 8 km de los epicentros (Huasicancha, Chacapampa y Carhuallanga). La intensidad máxima del sismo del 23 de Julio fue de V (MM) y produjo daños importantes en viviendas de piedras, adobe y quincha (construcciones típicas de la zona); mientras que, el sismo del 8 de Agosto produjo intensidades máximas de IV en las localidades de Chacapampa y Huasicancha. Estos sismos se producen en la Alta Cordillera de la región

Central de Perú y en una zona en donde la actividad sísmica, para este rango de magnitud, es mínima. Sin embargo, es posible que en el pasado hayan ocurrido sismos de magnitud similar en esta zona, pero debido a la ausencia de información sísmica no ha sido imposible 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 sus fuentes y estimar sus tamaños.

2.- TECTONICA 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 del área se encuentra emplazada sobre series del Mesozoico y Terciario con mayor predominio de las formaciones Goyllarisquizga (areniscas), Chaucha (calizas) y Cercapuquio (areniscas). Las áreas con sedimentos del Cuaternario son pocas, pero sobre la de mayor dimensión se ubica la ciudad de Huancayo (Figura 1).

En el extremo occidental del área de estudio se observa el predominio de algunas series volcánicas y volcano-sedimentarias del Paleozoico y Precámbrico; mientras que en el extremo oriental es posible identificar la presencia de calizas y dolomitas del Grupo Pucará (Terciario Superior) y rocas sedimentarias, volcánicas y metamórficas del Paleozoico y Precámbrico. De manera puntual, en el área de estudio 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 predomina la presencia de trazas de fallas indiferenciadas de diferentes longitudes y en la parte central, algunas trazas de fallas inversas con buzamientos en dirección SW. Todas estas fallas se orientan en dirección NO-SE; es decir paralelas a la Cordillera Andina y sugiriendo la dirección en la cual se produce la mayor deformación en la región Central de Perú. El epicentro del sismo de Chacapampa-Huasicancha se ubica en la parte central del área de estudio sobre terrenos sedimentarios y solamente a 3 km en dirección Oeste de una pequeña traza de falla indiferenciada (Figura 1).

En la Figura 2 se presenta los epicentros de los sismos con magnitudes $m_b > 4.5$ ocurridos en la región Central del Perú entre los años 1990 y 2003. En general, los sismos

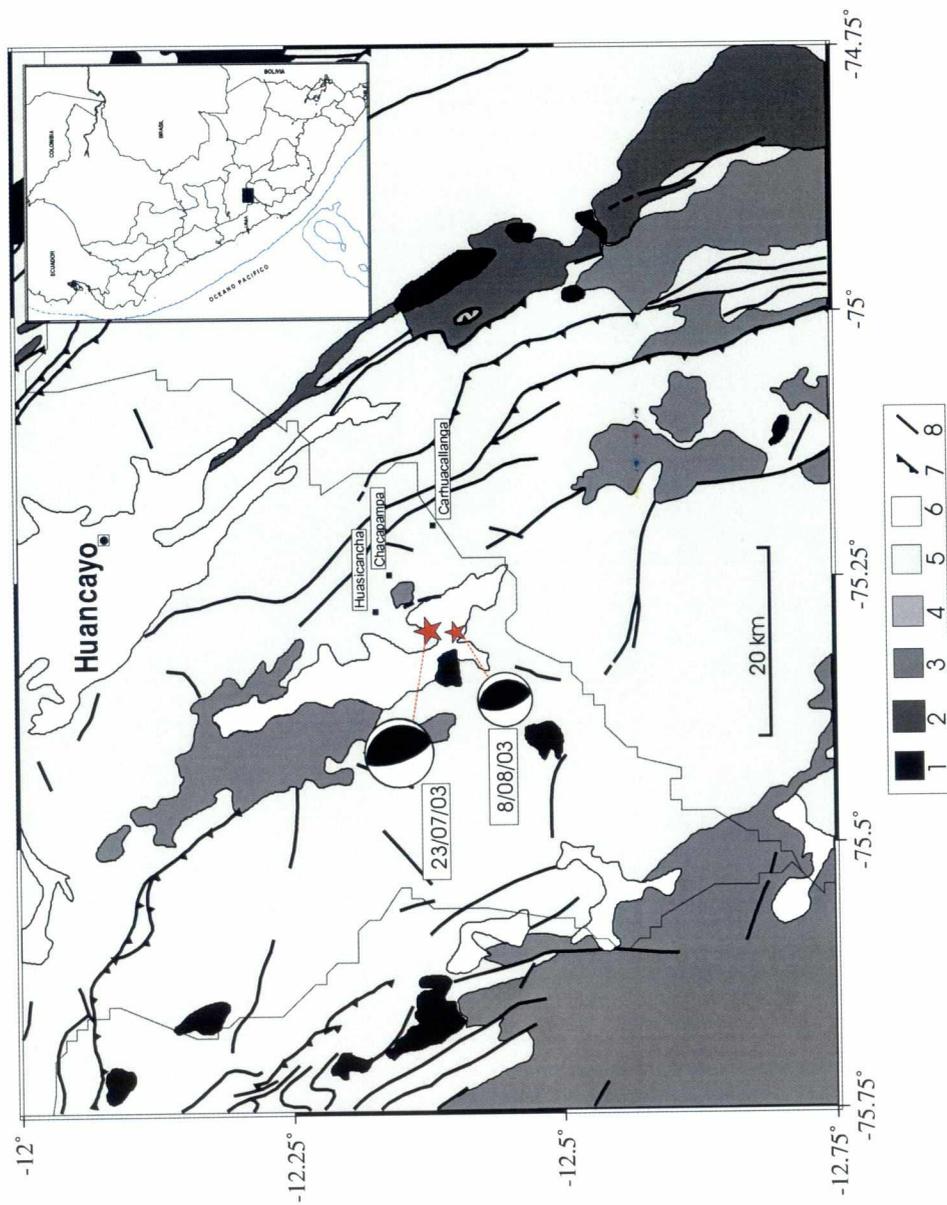


Figura 1.- Geología y tectónica de los Altos Andes de la región Central de Perú. Las estrellas representan los epicentros de los sismos de Chacapampa-Huasicancha y la esfera el mecanismo focal proyectado en el hemisferio inferior (área en negro compresión y en blanco dilatación). 1: Cretáceo-Neógeno,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

se agrupan a ambos extremos de la Cordillera Andina y están asociados al proceso de convergencia de las placas de Nazca y Sudamérica (borde occidental de la cordillera), y a la subsidencia del escudo brasilero en el borde oriental de la cordillera, siendo ésta mayor en el extremo Norte del área de estudio. Estudios realizados por Cahill y Isacks (1992), Tavera y Buforn (2001) muestran que estos sismos obedecen a procesos compresivos, estando el eje de máxima compresión orientado en dirección perpendicular a la orientación de la Cordillera Andina.

Tal como se aprecia en la Figura 2, en la Alta Cordillera de la región Central la ausencia de sismos es casi total, siendo los ocurridos el 23 de Julio y 8 de Agosto de 2003, los únicos sismos registrados en 13 años que a la vez han producido daños importantes en localidades cercanas a sus epicentros. Además, estos sismos son importantes por su magnitud moderada y carácter superficial, de ahí que hayan producido grandes daños en viviendas de piedra, adobe y quincha.

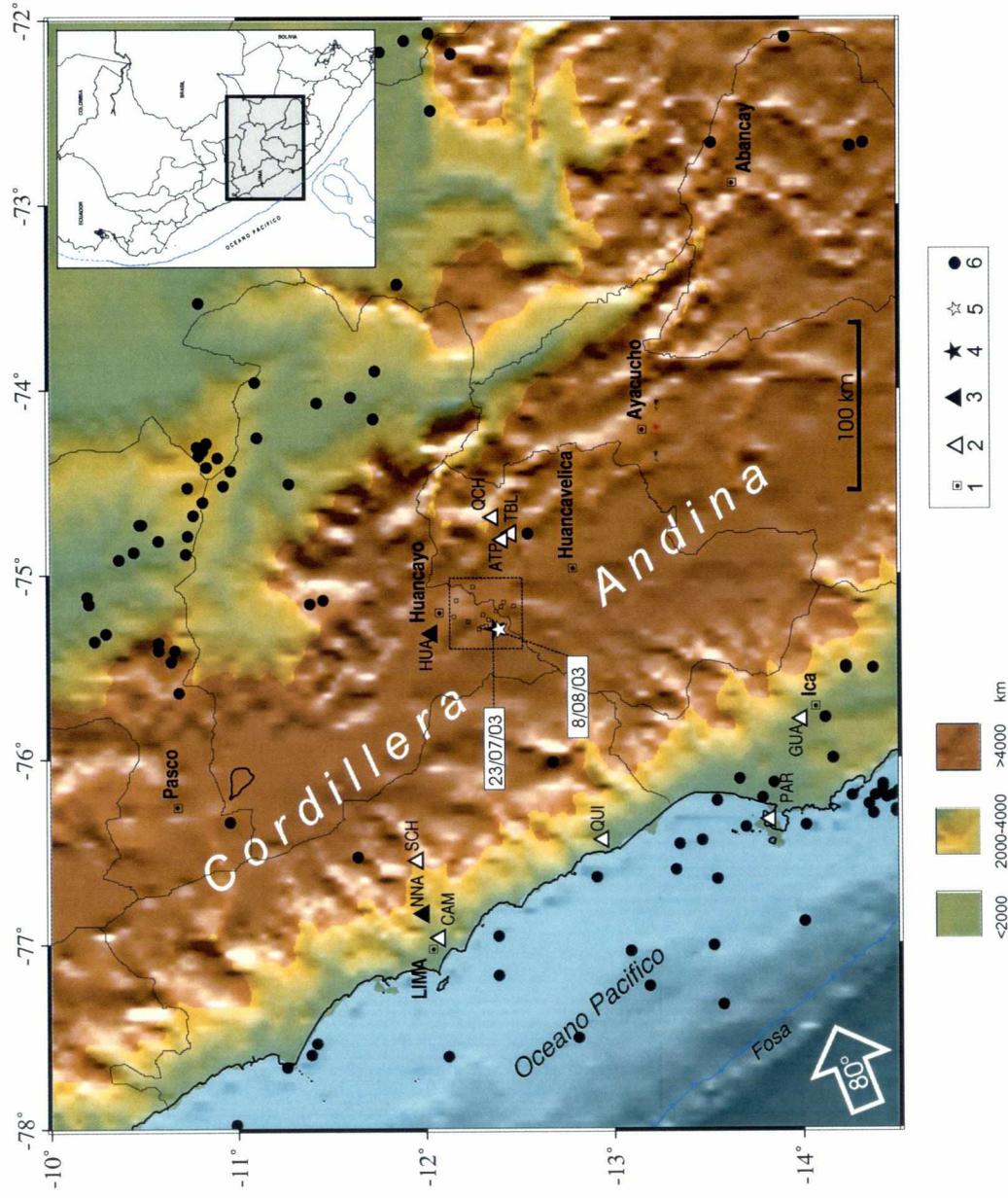


Figura 2.- Distribución espacial de los sismos con magnitud mayor a 4.5mb ocurridos en la región Central de Perú entre los años 1990 y 2003. Los triángulos corresponden a las estaciones sísmicas utilizadas en la localización de los sismos de Chacapampa-Huasicancha. El recuadro agrupa a las localidades afectadas por los sismos (ver Figura 5). La flecha indica la dirección de convergencia de las placas. 1: capital de departamento, 2: estaciones sísmicas de periodo corto, 3: estaciones sísmicas de banda ancha, 4: epicentro del sismo del 23 de Julio, 5: epicentro del sismo del 8 de Agosto, 6: epicentros de sismos con magnitudes mayores a 4.5mb.

3.- LOS SISMOS DE CHACAPAMPA-HUASICANCHA

3.1.- Parámetros hipocentrales

Los parámetros de los sismos de Chacapampa-Huasicancha fueron obtenidos utilizando información de 10 estaciones sísmicas de la RSN-IGP, todas distribuidas alrededor del área en donde se produjeron los mayores daños (Figura 2). Algunos de los registros más representativos del sismo en estaciones de periodo corto y de banda ancha de la RSN-IGP son presentados en la Figura 3.

Para calcular los parámetros hipocentrales se ha utilizado el algoritmo Hipoinverse (Klein, 1978), el modelo de velocidad de la Tabla 1 y que corresponde al 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 de los sismos de Chacapampa-Huasicancha (Figura 4).

El tiempo origen para el sismo del 23 de Julio es de 7 horas, 47 minutos y 50.37 segundos (Hora Local) y su epicentro fue localizado en las coordenadas 12.401°S , 75.312°W con un error horizontal de 1.2 km. El uso de estaciones sísmicas locales en el cálculo de sus parámetros ha permitido ajustar la profundidad del foco en 11.5 ± 2.2 km. El NEIC (National Earthquake Information Center) de los EEUU utilizando información de la red mundial reporta el epicentro del sismo a 53 km en dirección NE de la ubicación obtenida en este estudio; es decir, alejada del área en donde se observaron los mayores daños (Tabla 2). La magnitud del sismo $m_bLg=4.5$ fue estimada a partir de las relaciones establecidas para la RSN-IGP del Perú por Ccallo et al (2002) utilizando la fase Lg y la

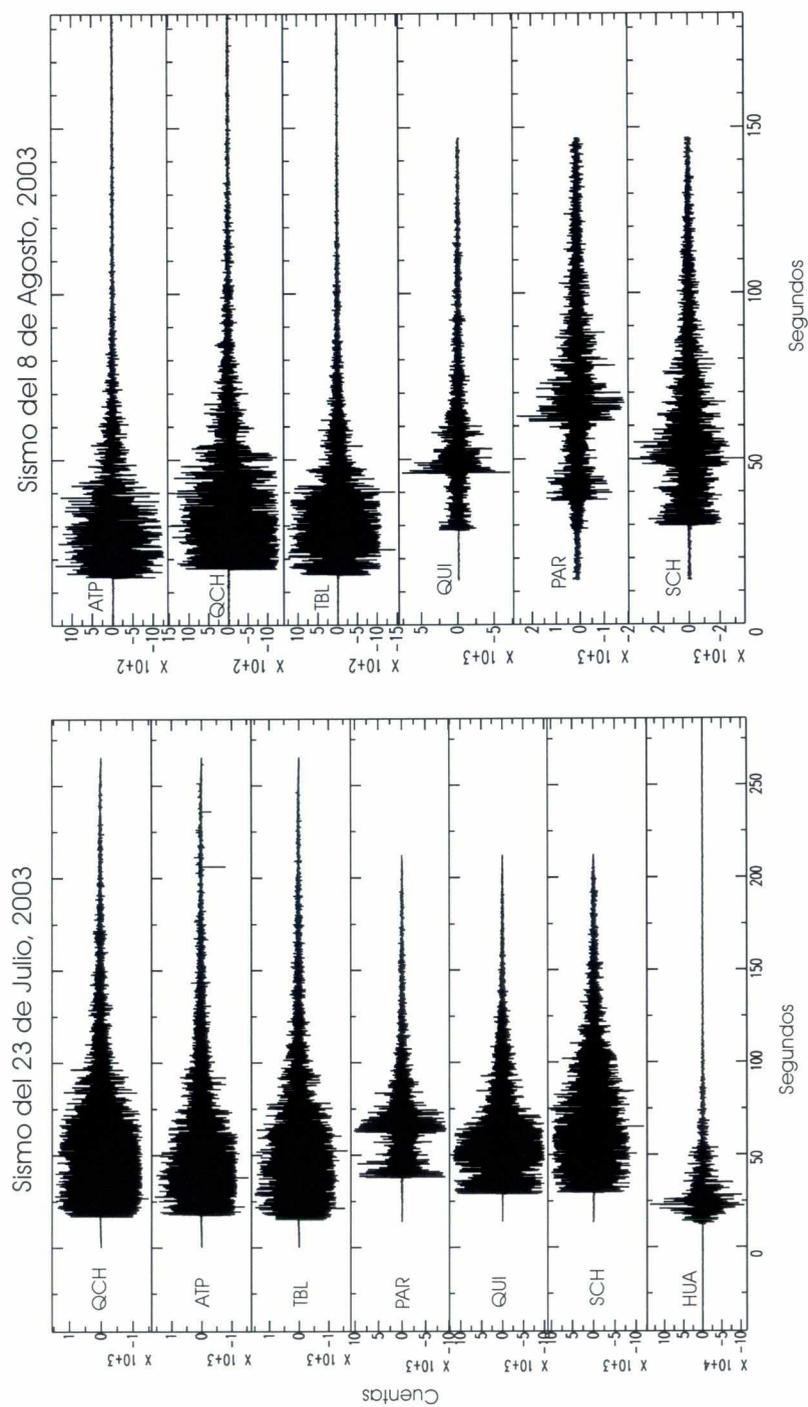


Figura 3.- Registros de los sismos de Chacapampa-Huasicancha en estaciones de periodo corto y banda ancha (HUA) de la Red Sismica Nacional a cargo del Instituto Geofísico del Perú.

Tabla 1

Modelo de velocidad utilizado en el cálculo de los parámetros hipocentrales de los sismos de Chacapampa-Huasicancha

Velocidad P (km/seg.)	Espesor (Km)
5.8	0.0
6.2	15.0
6.8	30.0
8.0	50.0

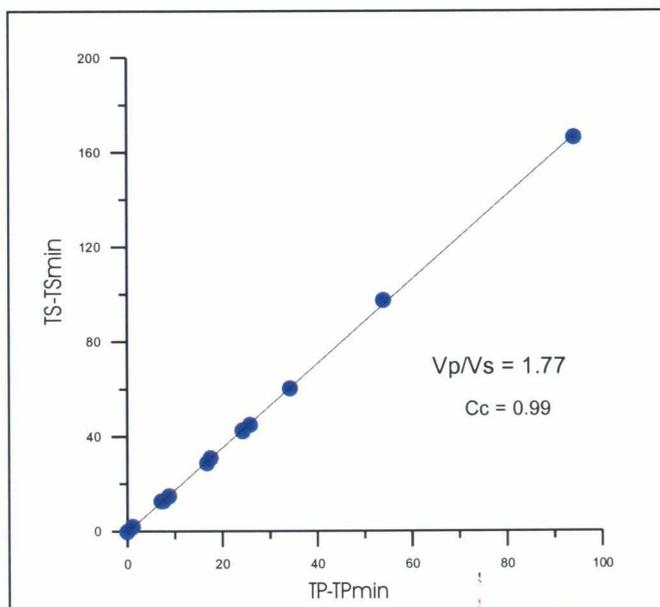


Figura 4.- Curva de Wadati para estimar el valor de la relación de velocidades.

magnitud determinada utilizando la duración de su registro en 4 estaciones de periodo corto es $M_D=4.4$. La magnitud obtenida por el NEIC fue de $mb=4.6$ (Tabla 2).

El sismo del 8 de Agosto se produce a las 10 horas, 24 minutos y 37.16 segundos (Hora Local), siendo su epicentro localizado en las coordenadas $12.403^\circ S$, $75.300^\circ W$ con un error en la horizontal de 1.3 km. La profundidad del sismo fue ajustada en 17.2 ± 2.6 km. La magnitud del sismo fue estimada en 4.0 M_D a partir de la duración de su registro en 4 estaciones de periodo corto y en 3.9 $mbLg$ a partir de la onda Lg identificada en los registros de banda ancha. Este sismo, debido a su menor magnitud, no fue reportado por el NEIC.

Los parámetros hipocentrales de ambos sismos, han sido mejor determinado en este estudio debido a que se hace uso de la información obtenida de una red sísmica local; es decir, la Red Sísmica Nacional a cargo del IGP. Asimismo, a pesar de la magnitud moderada de los sismos de Chacapampa-Huasicancha, el presentar un foco sísmico superficial explica los niveles de daño y efectos causados por ambos sismos en un área relativamente pequeña.

Tabla 2

Parámetros hipocentrales de los sismos de Chacapampa-Huasicancha

Fecha	Hora Origen	Lat. Sur	Long. Oeste	Prof.	Mag	Agencia
23/07/03	12:47:50.37	12.3786 ± 1.2	75.2988 ± 1.2	11.5 ± 2.2	4.5 $mbLg$ 4.4 M_D 4.7 M_w	IGP
23/07/03	12:47:55.06	12.035 ± 11.2	74.977 ± 9.2	33.0	4.6 mb	NEIC
08/08/03	15:24:37.16	12.4036 ± 1.3	75.3001 ± 1.3	17.2 ± 2.6	4.0 M_D 3.9 $mbLg$ 4.2 M_w	IGP

3.2.- Intensidades

Los sismos de Chacapampa-Huasicancha se produjeron en un área en donde, debido a su topografía y distancia a ciudades importantes, la comunicación entre las diferentes localidades no es fácil, siendo este uno de los mayores problemas logísticos para evaluar directamente los daños producidos por ambos sismos. Por este motivo se utilizó el único medio de comunicación disponible y eficiente, cual es la vía telefónica, aunque este servicio solo está operativo en pocas localidades. Los valores de intensidad máxima para los sismos de Chacapampa-Huasicancha fueron obtenidos de la interpretación de la información recopilada a través de las encuestas telefónicas realizadas en cada localidad cercana al epicentro utilizando la escala de Mercalli Modificada (MM) (Figura 5). Debido al carácter superficial de los sismos y a la escasa población existente en la Alta Cordillera, los mayores daños y efectos producidos por los sismos de Chacapampa-Huasicancha se concentraron en localidades ubicadas a distancias de 7 y 8 km en dirección Este con relación a los epicentros de ambos sismos. La descripción general de los daños y efectos en cada localidad evaluada y para cada sismo se resume a continuación.

3.2.1.- Sismo del 23 de Julio (Figura 5a)

Localidad de Chacapampa (Imax=V): El sismo fue sentido fuerte por toda la población llegando a salir a las calles. En cuatro casas se produjo la caída de sus techos de paja y tejas. Otras casas con paredes de piedra y barro se derrumbaron. En casi todas las casas de barro y quincha se observaron la presencia de grietas de diversas longitudes. Las tiendas han perdido la mayoría de sus productos ya que estos llegaron a caer al suelo. Muchas grietas en el colegio primario, en el local del instituto y en palacio Municipal que quedó prácticamente partido por la mitad. En todas las viviendas se ha

observado grandes desniveles en la puertas. Al día siguiente de ocurrido el sismo, en los alrededores de la localidad se produjo pequeños derrumbes de tierra.

Localidad de Huasicancha (Imax=V): El sismo fue sentido fuerte por toda la población, llegando a salir todos a la calle. Las casas presentan grietas y rajaduras de hasta 15 cm en sus paredes de barro. En algunas viviendas se produjo la caída de tejas. En las tiendas, todos los productos colocados en repisas llegaron a caer. Se ha producido el desplome y caída de piedras en un acantilado ubicado en el extremo SE del pueblo. Las paredes de piedra de muchos corralones llegaron a caer. En la carretera de acceso al pueblo, se produjo el desplome de masas de tierra inestable acompañados con pequeños bloques de piedra.

Localidad de Carhuacallanga (Imax=V): Sentido muy fuerte por toda la población, llegando a producirse pánico. En muchas viviendas se ha producido la caída de tejas, además de algunas paredes de barro y quincha. En algunas tiendas se ha producido la caída de sus productos ubicados a cierta altura.

Localidad de Chongos Alto (Imax=IV): Sismo sentido fuerte permitiendo que muchas personas salieran a la calle expresando pánico. Pocas casas con paredes de barro y quincha presentan rajaduras.

Localidad de Huayllahuara (Imax=IV): Sentido fuerte por la población causando susto y pánico. En pocas viviendas se ha producido la caída de tejas. Algunos árboles llegaron a oscilar levemente.

Localidad de Moya (Imax=IV): Sismo sentido fuerte permitiendo que muchas personas llegaran a salir a la calle. El entrevistado indica que vio moverse la tierra con pequeñas ondulaciones. No hay información sobre rajaduras en las viviendas.

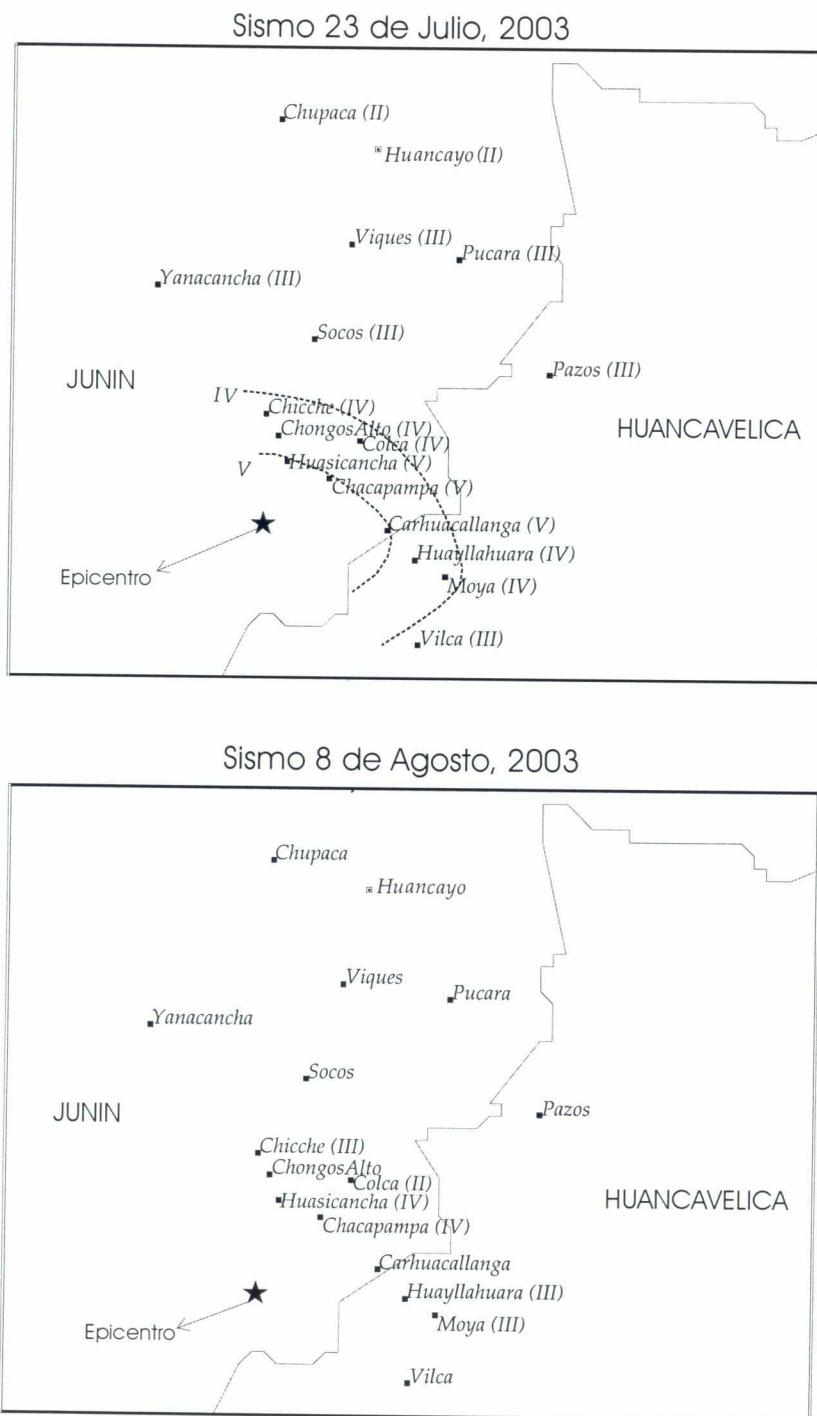


Figura 5.- Valores de intensidad máxima en la escala de Mercalli Modificada para los sismos de Chacapampa-Huasicancha. Las estrellas indican la ubicación de los epicentros para ambos sismos.

Localidad de Colca (Imax=IV): Sentido muy fuerte por la población llegando a salir a la calle. Se escucharon vibrar las puertas y ventanas de muchas viviendas. Los animales hicieron mucho ruido durante el sismo.

Localidad de Chicche (Imax=IV): Sentido por la población llegando a salir a la calle. Se ha producido el desprendimiento del tarrajeo de yeso en el umbral de la posta médica. En algunas viviendas se ha producido la caída de objetos que estuvieron ubicados a cierta altura.

Localidad de Socos (Imax=III): Sentido muy fuerte por todos y algunas personas salieron a la calle. Se produjo la caída de pequeños bloques de rocas y tejas de algunos techos.

Localidad de Vista Alegre (Imax=III): Sentido fuerte por todos, algunas personas salieron a la calle. En algunas tiendas se produjo la vibración de sus artículos ubicados a cierta altura. No hay información sobre daños materiales.

Localidad de Pucará (Imax=III): Sentido fuerte por toda la población. Algunas casas de barro y quincha presentaron pequeñas grietas y en otras, las paredes de tierra llegaron a caer.

Localidad de Pazos (Imax=III): Sentido por toda la población llegando a salir a la calle. Las casas de adobe y quincha presentan pequeñas rajaduras y caída de pequeñas cantidades de tierra.

Localidades de Viques, Chala, Vilca, Chupaca y ciudad de Huancayo (Imax=II): El sismo fue sentido por algunas personas de manera leve.

3.2.2.- Sismo del 8 de Agosto (Figura 5b)

Localidad de Chacapampa (IV): Sismo sentido fuerte por toda la población llegando a salir a la calle. De los techos de las viviendas de barro y quincha cayeron tejas inestables. El local de la municipalidad resultó con mayores daños estando a punto de colapsar.

Localidad de Huasicancha (IV): Sismo sentido fuerte por la población llegando a salir a la calle. En algunas viviendas de barro y quincha se produjo la caída de tejas y paredes inestables.

Localidad de Huayllahuara (IV): Sismo sentido fuerte por la población. Algunas personas salieron a la calle. Algunas viviendas y paredes dañadas por el sismo anterior llegaron a colapsar.

Localidad de Chiche (III): El sismo fue sentido no muy fuerte como el paso de un camión pesado. La población no salió a la calle.

Localidad de Moya (III): Sismo sentido suave por todas las personas. Los alumnos del colegio llegaron a asustarse por pocos segundos.

Localidad de Colca (II): Sismo sentido muy leve por personas que estuvieron en estado de reposo.

3.3.- Orientación de la Fuente

La orientación de la fuente para los sismos de Chacapampa-Huasicancha fueron obtenidos utilizando el algoritmo de Brillinger, Udias y Bolt (Brillinger et al, 1980; Udias y Buforn, 1988). Este algoritmo, además de calcular la orientación de los planos nodales y de los ejes P y T, permite además 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 registrado en 19 y 15 estaciones de periodo corto y de banda ancha de la RSN-IGP.

Según la Figura 6, los sismos de Chacapampa y Huasicancha corresponden a un fracturamiento de la corteza equivalente a una falla inversa, cuyos planos nodales se orientan en dirección NNO-SSE, ambos buzando con ángulos de 69° y 63° en dirección OSO, y de 21° y 27° en dirección ENE aproximadamente. 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). Aunque los dos sismos son de carácter local, la orientación de los ejes de presión P sugieren que la máxima compresión se ha producido en dirección ENE-OSO, siendo esta consistente con la dirección de convergencia entre la placa de Nazca y Sudamericana, y 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 a partir de estudios de microsismicidad realizados en lo Altos Andes (Suárez et al, 1990; Dorbath et al, 1991; Lindo, 1993). De igual forma, estos resultados son concordantes con los obtenidos en diversos estudios de microtectónica realizados en la región Central de Perú (Dalmayrac y Molnar, 1981; Blanc, 1984; Sebrier et al, 1988).

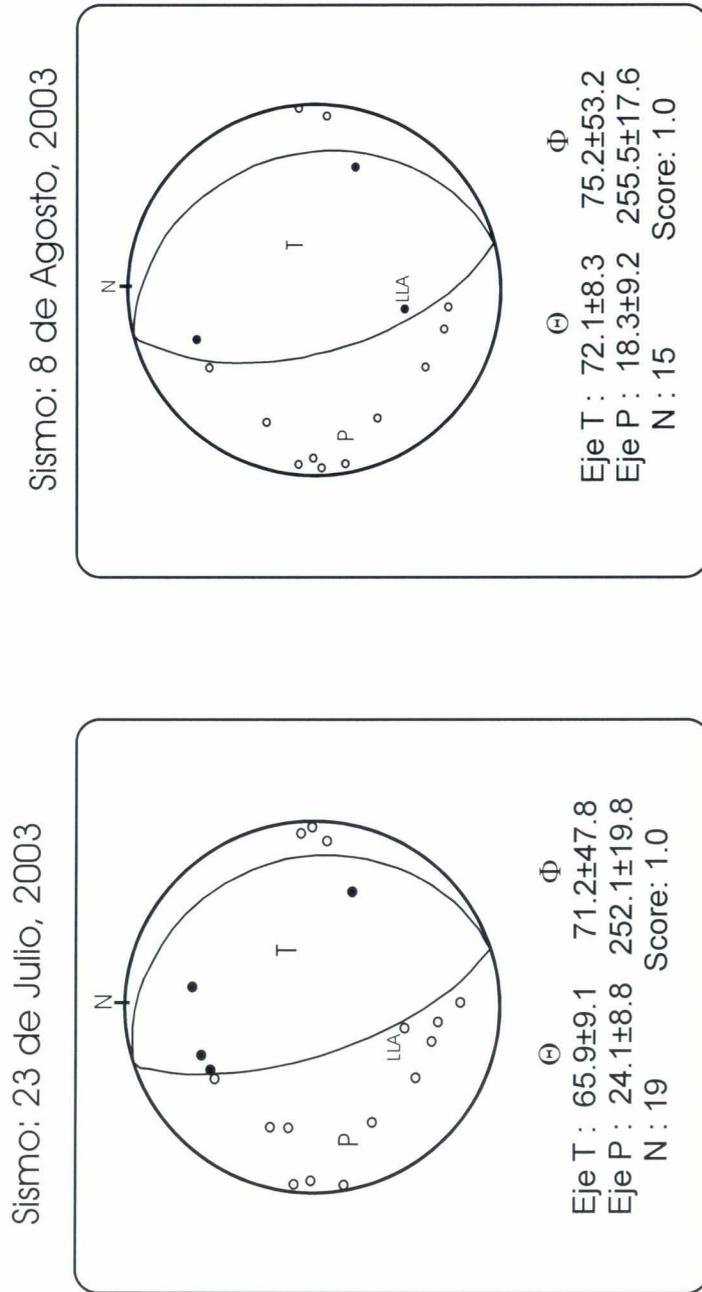


Figura 6.- Mecanismos focales para los sismos de Chacapampa-Huasicancha elaborados a partir de los primeros impulsos de la onda P registrada en estaciones de la Red Sísmica Nacional a cargo del IGP. La proyección corresponde a la parte inferior de la esfera focal. Los círculos en negro indican compresión y los blancos dilatación. Las letras T y P representan al ejes de tensión y presión (Θ =inclinación, Φ =azimut). N, número de datos utilizados y score, proporción de aciertos. LLA, corresponde al dato de polaridad de la estación Llamahuayqui.

Del total de los datos de polaridad utilizados en la elaboración del mecanismo focal de ambos sismos, el correspondiente a la estación de Llamahuaqui (LLA) presenta polaridad negativa para el sismo del 23 de Julio y polaridad positiva para el sismo del 8 de Agosto. Esta información produce un ligero cambio en la orientación de la fuente para el sismo del 8 de Agosto, el mismo que puede ser debido a pequeñas variaciones en el proceso de ruptura ocurrido a una profundidad algo mayor que la del sismo del 23 de Julio.

3.3.- Parámetros de la Fuente

Los parámetros de la fuente como el momento sísmico (M_0) y el radio de fractura (r_0) han sido estimados a partir de las dos de las características más importantes de los espectros de amplitud del desplazamiento de ondas de volumen: la parte plana del espectro a bajas frecuencias (Ω_0) y la frecuencia esquina (f_c). Para un modelo de dislocación por cizalla y falla circular, la frecuencia esquina es proporcional a las dimensiones de la fuente (r_0); mientras que, los valores de $f < f_c$, son asumidos como un valor constante proporcional al momento sísmico escalas.

Para calcular los parámetros de los sismos de Chacapampa-Huasicancha, se ha utilizado los registros del sismo en las dos componentes horizontales de la estación CUS ubicada a una distancia de 382 km del epicentro. En la Figura 7 se muestra los espectros y los parámetros de la fuente fueron calculados utilizando las relaciones propuestas por Brune (1970) y Madariaga (1976):

$$M_0 = 4\pi\rho \Delta_h V^3 (\Omega_0 / F \mathfrak{R}_{\phi\theta})$$

$$r_s = 0.21\beta / f_c s$$

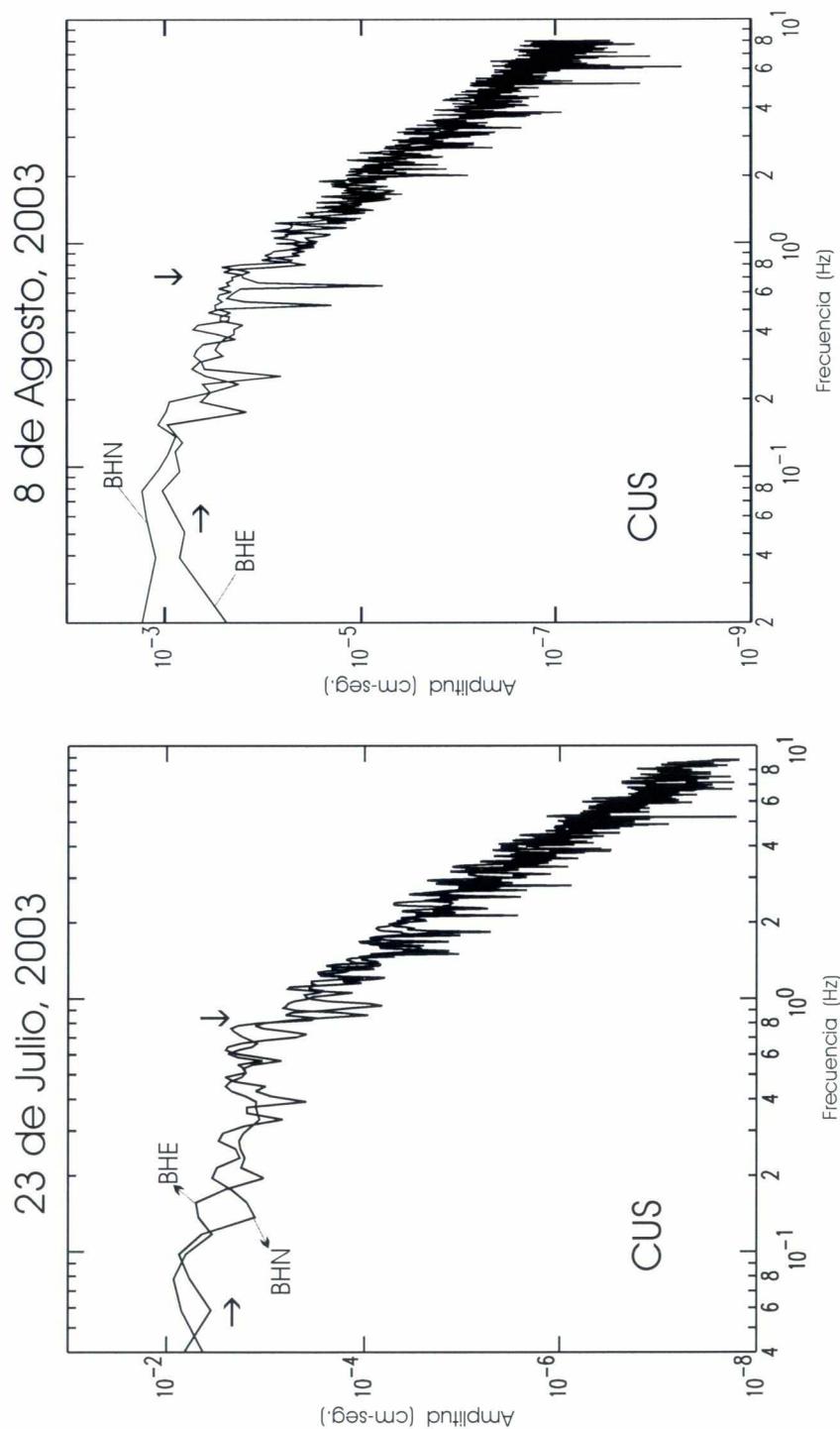


Figura 7.- Espectros de amplitud del desplazamiento de la onda S para las componentes horizontales del registro de los sismos de Chacapampa-Huasicancha en la estación sísmica del Cusco (CUS). Las flechas indican la parte plana del espectro y la frecuencia esquina.

donde, ρ es la densidad (2.7 gr/cm^3), 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 ($F=2.0$), $\mathfrak{R}_{\phi\theta}$ el patrón de radiación de la onda S ($\mathfrak{R}_{\phi\theta}=0.37$) obtenido a partir del mecanismo focal y μ es la constante de rigidez del medio ($3 \times 10^{11} \text{ dina.cm}^{-2}$).

Para el sismo del 23 de Julio se obtiene un momento sísmico de 1.62×10^{23} dinas-cm (M_0) y para el sismo del 8 de Agosto de 2.25×10^{22} dinas-cm. Los radios de fractura son de 870 y 1000 metros. A partir del momento sísmico y la relación de Hanks y Kanamori (1979), se obtiene para el sismo del 23 de Julio una magnitud momento de $M_w=4.7$ y para el sismo del 8 de Agosto de $M_w=4.2$.

4.- DISCUSION Y CONCLUSIONES

Las mayores fuentes sísmicas presentes en el Perú se encuentran bien definidas en los bordes occidental y oriental de la Cordillera Andina: el proceso de convergencia de placas, la deformación cortical debido al levantamiento de la Cordillera Andina y a la subsidencia del escudo brasilero. La ocurrencia de sismos en la Alta Cordillera, a diferencia de los que se producen debido a los procesos antes indicados, es muy escasa y en general presentan magnitudes moderadas ($M < 6.0$). Desde la implementación de la Red Sísmica Nacional, no se había registrado ningún sismo en la Alta Cordillera con la suficiente magnitud como para disponer de importante información y menos que hayan producido daños importantes en alguna localidad. De ahí, que los sismos de Chacapampa-Huasicancha sean importantes de estudiarse porque permitirá conocer el estado actual de la deformación en una zona para la cual no se dispone de información.

Los sismos de Chacapampa-Huasicancha ocurrieron en los Altos Andes de la región Central de Perú y en un área en donde la actividad sísmica de magnitud moderada es baja. Según la base de datos sobre sismicidad histórica, para esta área no existe información sobre la posible ocurrencia de sismos en el pasado.

Debido a la magnitud moderada de estos sismos, las agencias internacionales no pueden localizarlos con precisión y en el caso del sismo del 23 de Julio, el epicentro reportado por el NEIC se encuentra fuera del área de máxima intensidad y a la vez, la profundidad del foco es ajustado por defecto a un valor de 33 km debido a que no se cuenta con información proveniente de estaciones sísmicas locales. El uso de información obtenida de una red sísmica local como la Red Sísmica Nacional a cargo del Instituto Geofísico del Perú, ha permitido localizar con precisión a los sismos de Chacapampa-

Huasicancha, además de ajustar su profundidad y estimar su tamaño de manera adecuada.

Los sismos de Chacapampa-Huasicancha presentan focos superficiales (11 y 17 km) y magnitudes de $M_w=4.7$ y $M_w=4.2$, de ahí que hayan producido daños hasta en 14 pequeñas localidades ubicadas a escasos 7 y 8 km de sus epicentros. Tal como se muestra en la Figura 5, el área de máxima intensidad asociada a estos sismos es muy reducida y a la falta de mayor información, no ha sido posible cuantificar de manera homogénea los daños producidos por ambos sismos en un área mayor.

La ubicación epicentral de los dos sismos de Chacapampa-Huasicancha sugiere la reactivación de una falla de longitud pequeña ubicada a 3-4 km en dirección Este. Esta falla, definida por Megard (1978) como “indiferenciada”, quedaría reconocida como una falla inversa con planos nodales orientados en dirección NNO-SSE y eje de máxima compresión en dirección ENE-OSO.

El sismo del 23 de Julio presentó un momento sísmico de 1.62×10^{23} dinas-cm y el sismo del 8 de Agosto de 2.25×10^{22} dinas-cm.

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

5.- BIBLIOGRAFIA

- 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. y 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.
- Cahill, T. y Isacks, B. (1992). Seismicity and shape of the subducted Nazca plate. *J. Geophys. Res.*, 97, 17503-17529.
- Ccallo, F., Tavera, H. y 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. y 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., y Stein, S. (1980). Current plate motions. *Geophys. J. Int.*, 101, 425-478.
- Dorbath, L., Cisternas, A. y 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. y 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. y 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.

- Lindo, R. (1993). Seismotectonique des andes du Peru Central: Apport des donnees sismologiques de haute precision. Tesis Doctoral. Universidad Louis-Pasteur de Strasbourg, Francia.
- Madariaga, R. (1976). Dynamics of an expanding circular fault. Bull. Seism. Soc. Am., 66, 639-666.
- Megard, F. (1978). Etude geologique des Andes du Perou Central. Memoires ORSTOM N°86, 310 p.
- Norabuena, E., Dixon, T., Stein S. y Harrison, C. (1999). Decelerating Nazca_south America and Nazca-Pacific plate motions. Geophys. Res. Lett. 26, 3405-3408.
- Sebrier, M., Mercier, J., Machare, J., Bonnot, D., Cabrera, J. y 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. y 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. y Viodé, 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. y Buforn, E. (1998). Sismicidad y Sismotectónica de Perú. En: Sismicidad y Sismotectónica de Centro y Sudamérica. Buforn, E. y Udias, A. (eds), Física de la Tierra, 10, 187-219.
- Tavera, H. y Buforn, E. (2001). Source mechanism of earthquakes in Perú. Journal of Seismology, 5, 519-540.
- Udias, A. y Buforn, E. (1988). Single and joint fault-plane solutions from first motion data. In: Doornbos, D. (ed), Seismological algorithms, academic Press, London, 443-453.