

CNDG



**INSTITUTO GEOFISICO DEL PERU
CENTRO NACIONAL DE DATOS GEOFISICOS
SISMOLOGIA**



**EL TERREMOTO DE CHUSCHI-QUISPILLACTA
DEL 31 DE OCTUBRE DE 1999 (Mw=4.5)
(DEPARTAMENTO DE AYACUCHO)**

por:

**Hernando Tavera
Luis Vilcapoma y Jose Millones**

**CNDG-IGP
Lima, Noviembre de 1999**

*Inf. Técnico
x 420*

INSTITUTO GEOFISICO DEL PERU BIBLIOTECA CENTRAL	
N° Ingreso	<u>1066</u>
Fecha	<u>10-01-07</u>

Indice

- 1.- Introducción
- 2.- Características Sismotectónicas en la Región Central de Perú
- 3.- El Terremoto de Chuschi-Quispillacta del 31 de Octubre de 1999.
 - 3.1.- Parámetros Hipocentrales
 - 3.2.- Intensidades Sísmicas
 - 3.3.- Orientación de la Fuente
 - 3.4- Momento Sísmico y Radio de Fractura
 - 3.5.- Otros Parámetros
- 4.- Interpretación Sismotectónica
- 5.- Conclusiones
- 6.- Agradecimientos
- 7.- Bibliografía

1.- Introducción

El domingo 31 de Octubre de 1999 a las 8h y 27 min (hora local), un terremoto de magnitud 4.1mb (equivalente a la escala de Richter), afectó a las localidades de Chuschi y Quispillacta, provincia de Cangallo, departamento de Ayacucho. El epicentro del terremoto fue localizado a 11 k al Sur-Oeste de la localidad de Chuschi. Este terremoto considerado como el "Terremoto de Chuschi", presentó características importantes como la posibilidad de estar asociado a la reactivación de una falla local, su magnitud moderada, la profundidad superficial de su foco y el área pequeña en donde se ha producido la mayor destrucción.

El terremoto de Chuschi-Quispillacta, es el primero que ocurre en el departamento de Ayacucho durante el presente año; sin embargo, esta región ha sido anteriormente sacudida por terremotos de magnitud mayor, tal como el que ocurrió el 18 de Abril de 1981 (mb=5.3) en el extremo norte del departamento Ayacucho (Ocola, 1984). Este terremoto afectó a un buen número de localidades de los departamentos de Ayacucho, Huancavelica y Apurímac. Ambos terremotos, deben su origen a la energía liberada por la Cordillera Andina como resultado de los procesos de deformación que esta soporta, debido al proceso de subducción de la placa de Nasca bajo la Sudamericana.

Las localidades más afectadas con el sismo del 31 de Octubre fueron Chuschi, Quispillacta, CanchaCancha, Sarhua y Pomabamba. De acuerdo con la destrucción causada por el terremoto y otros efectos, se considera que las localidades de Chuschi-Quispillacta soportaron una intensidad máxima,

restringida, de VI en la escala de Mercalli Modificada. Las primeras informaciones recibidas por línea telefónica y radio indican que aproximadamente el 80% de las viviendas de Chuschi y Quispillacta, todas de adobe y quincha, fueron destruidas.

El objetivo del presente informe es presentar los parámetros hipocentrales del terremoto de Chuschi-Quispillacta del 31 de Octubre de 1999, describir las características y efectos del terremoto sobre la base de los resultados preliminares obtenidos por el Centro Nacional de Datos Geofísicos – Sismología del Instituto Geofísico del Perú (IGP) y evaluar sus implicancias sismotectónicas

2.- Características Sismotectónicas en la Región Central de Perú

La actividad sísmica en Perú es debida principalmente al proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana, presente de Norte a Sur en su borde Oeste, con una velocidad relativa del orden de 8-10 cm/año (Minster y Jordan, 1978). Este margen de placa, es uno de los más activos en la Tierra. Como resultado del proceso de subducción, en el continente se ha formado la Cordillera de los Andes en diferentes etapas orogénicas. La alta velocidad de acoplamiento entre estas placas puede ser evaluada con la ocurrencia frecuente de sismos de magnitud elevada a diversos niveles de profundidad; mientras que la periodicidad de los sismos en el interior del continente es menor, especialmente en los Altos Andes.

En la región central de Perú, la Cordillera de los Andes presenta una altitud máxima de 7,000 m con anchura variable y puede ser dividida en cinco unidades morfoestructurales paralelas a la cadena. Estas unidades formadas como resultado de la evolución tectónica de la cordillera son: la zona costera, la Cordillera Occidental, el Altiplano, la Cordillera Oriental y la zona Subandina. El departamento de Ayacucho se localiza en el Altiplano. Morfológicamente, esta unidad se localiza entre las Cordilleras Occidental y Oriental, alcanzando una anchura de 200 km en el sur de Perú y de hasta 50 km en la región centro para luego desaparecer a latitudes menores a 9 grados sur. El Altiplano esta formado por una serie de cuencas intramontañosas del cenozoico (Junin, Mataro, Ayacucho) que se prolongan hacia el Altiplano boliviano. La zona sur de esta unidad, está invadida por estructuras volcánicas activas del terciario Superior.

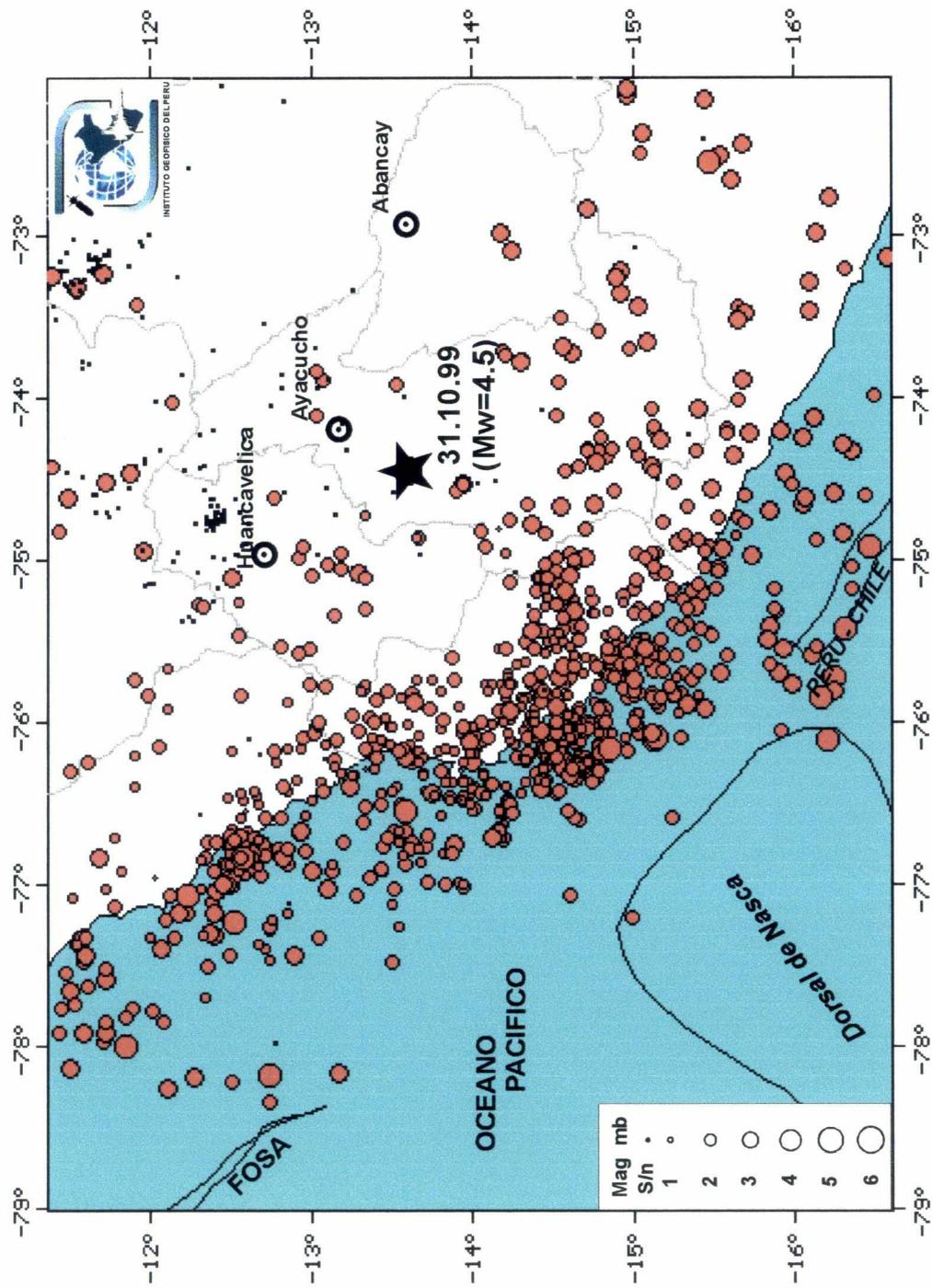


Figura 1.- Distribución de la actividad sísmica con foco superficial en la región central de Perú periodo 1990-1996. La estrella indica la localización del terremoto de Chuschi - Quispillacta (Ayacucho) del 31 de Octubre de 1999. El tamaño de los círculos indican el rango de magnitud de los sismos (s/n, indica magnitud no estimada).

Las principales características de la sismicidad de Perú han sido descritas por diversos autores (Stauder, 1975; Barzangi y Isacks, 1976; Tavera y Buforn, 1998); siendo las principales, las relacionadas con la distribución de los sismos en superficie y en función de la profundidad de sus focos. La sismicidad relacionada directamente con la deformación de la corteza presenta focos superficiales; es decir, sismos con focos localizados a profundidades menores a 60 km. En la Figura 1 se presenta los sismos con foco superficial y en ella se puede observar que el número de sismos es mayor frente a la línea de costa (asociados al proceso de subducción); mientras que en el interior del continente el número de sismos es menor y están asociados a los principales sistemas de fallas activas distribuidas principalmente a lo largo de la zona subandina.

En los Altos Andes, la sismicidad no alcanza profundidades mayores a 30 km y su frecuencia de ocurrencia es menor con relación a otras zonas de mayor índice de sismicidad. Sin embargo, los sismos se distribuyen alrededor de las zonas de la Cordillera Blanca, Altos del Mantaro y en los departamentos de Huancayo y Ayacucho. Los sismos que ocurren en estas zonas, presentan magnitudes bajas y como están asociados a fallas locales, sus efectos en superficie suelen ser tan grandes como los producidos en zonas de costa por los sismos de magnitud mayor.

3.- El Terremoto de Chuschi-Quispillacta del 31 de Octubre de 1999 (Mw=4.5).

3.1.- Parámetros Hipocentrales.

El Instituto Geofísico del Perú (IGP), realizó la localización del terremoto de Chuschi-Quispillacta del 31 de Octubre de 1999, en las coordenadas 13.60°S, 74.45°W; esto es, a 11 km al Sur-Oeste de la localidad de Chuschi y a 33 km al Oeste de la ciudad de Cangallo, departamento de Ayacucho (Figura 1 y Mapa 1). Debido a que el sismo fue de carácter local y magnitud moderada, solo se registro en las estaciones sísmicas localizadas en la región central de Perú. A fin de realizar el cálculo final de los parámetros hipocentrales del terremoto de Chuschi-Quispillacta, se ha utilizado 8 lecturas de fases P y 3 de fases S, el algoritmo Fasthypo (Hermann, 1979) y el modelo de velocidad de Chatelain y Guillier (1996), el mismo que se caracteriza por presentar capas horizontales con potencias próximas a lo esperado para los Altos Andes.

El resultado obtenido en el cálculo hipocentral se presentan en la Tabla 1, el mismo que varían ligeramente del Reporte Sísmico Preliminar emitido por el IGP inmediatamente después de ocurrido el terremoto. En esta tabla se observa que los errores en la localización epicentral e hipocentral del terremoto de Chuschi-Quispillacta son mínimos (0.1 km), obteniéndose un error para el RMC de la solución próximo a cero (0.02).

La magnitud del terremoto de Chuschi-Quispillacta fue estimada en función de la duración del registro del mismo en las estaciones sísmicas de

TABLA 1

Parámetros hipocentrales del Terremoto de Chuschi-Quispillacta (Ayacucho) del 31 de Octubre de 1999.
 (GMT, tiempo universal; Distan, distancia epicentral; Azm, azimut estación-epicentro; TPCal, tiempo teórico onda P;
 P-Seg, tiempo observado onda P; P-Res, residual onda P; W, peso para la lectura de la onda P;
 S-Seg, tiempo observado onda S; S-Res, residual onda S; W, peso para la lectura de la onda S)

Fecha: 31 Oct 1999
 Hora Origen (GMT): 13h 27m 34.29s

Latitud: -13.607° ± 0.1 km.
 Longitud: -74.450° ± 0.1 km.
 Profundidad: 3.1 km ± 0.2 km.

Magnitud: 4.1 mb

Esta	Distan	Azm	TPCal	P-Seg	P-Res W	S-Seg	S-Res W
HUA	198.3	332	34.9	69.2	0.0	94.7	-0.0
CUS	278.0	89	46.3	80.6	0.0	114.5	0.0
TBL	132.0	344	23.7	58.0	-0.0	0.0	0.0
ATP	138.2	343	24.8	59.1	0.0	0.0	0.0
QCH	140.3	349	25.1	59.4	-0.0	0.0	0.0
QUI	227.2	289	39.6	73.9	-0.0	0.0	0.0
PAR	204.6	263	35.9	70.2	0.0	0.0	0.0
ZAM	172.3	227	30.5	64.8	-0.0	87.2	0.0

RMC = 0.02

Suche (SCH), Guadalupe (GUA) y Zamaca (ZAM) y a partir de la lectura del periodo y la amplitud de la onda P en la estación de Cusco (TAM). Así, el valor medio estimado para la magnitud es de $m_b=4.1$. La calidad de los datos utilizados en la localización hipocentral del terremoto de Chuschi-Quispillacta, ha permitido ajustar correctamente la profundidad del foco en 3.1 ± 0.2 km (Tabla 1).

3.2- Intensidades Sísmicas

La evaluación de las intensidades producidas por el terremoto de Chuschi-Quispillacta fue realizada por teléfono y radio inmediatamente después de ocurrido el terremoto. La información sobre el terremoto fue proporcionada por personal de las municipalidades y puestos policiales de las localidades de Chuschi, Sarhua, Pomabamba, CanchaCancha, Cangallo, HuancaSancos y Huancapi. En cada una de estas localidades, cuyas viviendas son en su totalidad de adobe, quincha y materiales rústicos, se obtuvo la siguiente información (Mapa 1):

Localidad de Chuschi: El movimiento sísmico fue sentido fuerte, se desplomaron casas, presencia de rajaduras en muchas viviendas, se sintió como una explosión y se contabilizó un total de 22 personas heridas por caída de paredes y piedras. Intensidad asignada, VI (MM).

Localidad de CanchaCancha: El movimiento fue sentido fuerte, las personas se encontraban en la calle, cayeron algunas tejas de la iglesia, se produjeron rajaduras en cuatro viviendas y el colapso de una habitación. Intensidad asignada, V (MM).

Localidad de Sarhua: Muchas personas salieron a las calles, se cayeron cosas en el interior de las casas, presencia de rajaduras en las viviendas. Intensidad asignada, IV (MM).

Localidad de Pomabamba: Sentido por la mayoría de personas, se cayeron diversos objetos de los mostradores, algunas personas salieron a las calles. Intensidad asignada, IV (MM).

Localidad de Huancapi: Sentido por algunas personas como el paso de un camión. Intensidad asignada, II-III (MM).

Localidad de Cangallo: Sentido de manera suave por algunas personas, ninguna persona salió a la calle. Intensidad asignada, II (MM).

Localidad de HuancaSancos: Sentido solo por algunas personas. Intensidad asignada, II (MM).

Con esta información y la obtenida posteriormente, se concluye que las localidades mas afectadas fueron las de Chuschi y Quispillacta (Mapa 1), en donde de un total de 580 viviendas, el 90% quedaron inhabitables y un 10% totalmente destruidas debido principalmente a la precariedad de las viviendas (adobe, quincha y materiales rústicos).

3.3.- Orientación de la Fuente Sísmica

A fin de conocer la orientación de la fuente que generó el terremoto de Chuschi-Quispillacta, se procedió a elaborar el mecanismo focal utilizando el sentido del primer impulso de la onda P obtenido de los registros del terremoto en las estaciones sísmicas que integran la Red Sísmica Nacional. Para tal

efecto, se ha utilizado 14 lecturas de ondas P y un modelo de velocidad de dos capas con gradientes de velocidad, a fin de controlar su variación con la profundidad. Este procedimiento es útil cuando se utiliza información sísmica de estaciones localizadas a distancias epicentrales menores a 10° .

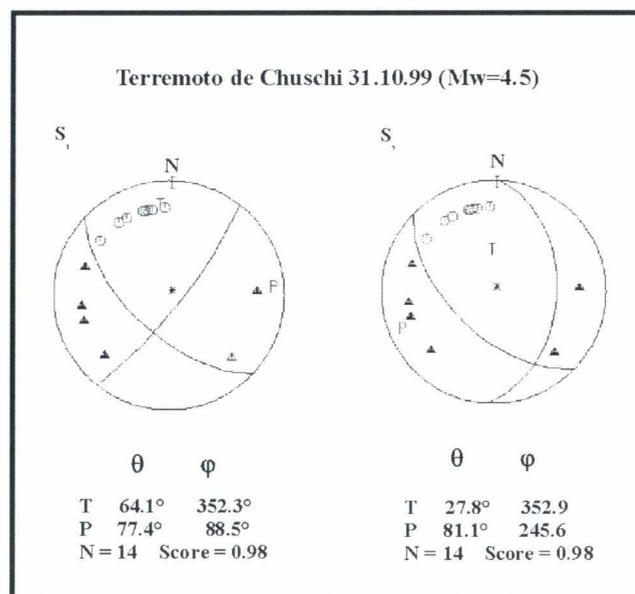


Figura 2.- Mecanismo focal del terremoto de Chuschi-Quispillacta (Ayacucho) del 31 de Octubre de 1999 (Mw=4.5). S1 y S2 corresponden a la primera y segunda solución. Los círculos indican compresiones y los triángulos dilataciones. Los ejes de presión y tensión están indicados como P y T. θ es el buzamiento con respecto a la vertical y ϕ el azimut de los ejes principales. N indica el número de datos y "score" el porcentaje de acierto en la solución.

Debido al poco número de datos disponibles para calcular el mecanismo focal, se ha obtenido dos soluciones posibles (S_1 , S_2), las mismas que son mostradas en la Figura 2 y Mapa 1. Estos mecanismos focales corresponden a fallas inversas con mayor y menor componente de desgarre; sin embargo, ambas soluciones presentan similar orientación para el plano nodal que buza en dirección SW, mientras que el segundo plano varia de N-S a NE-SW. En ambos soluciones, el eje de presión horizontal (eje P) se orienta próximo a la dirección

E-W, coherente con la del proceso de recortamiento de la Cordillera Andina y perpendicular con la orientación de los principales sistemas de fallas presentes en la región central de Perú (ver Mapa 1).

3.4.- Momento Sísmico Escalar y Radio de Fractura.

La información obtenida de la estación sísmica de Cusco (TAM), ha sido utilizada para estimar el momento sísmico escalar y el radio de fractura a partir del espectro de la amplitud del desplazamiento de la onda (Figura 3). Para la aplicación de este método debe suponerse que el proceso de ruptura obedece a una cizalladura y si se supone un modelo de falla circular, la parte plana del espectro será proporcional al momento sísmico escalar ($\Omega_0=M_0$) y la frecuencia esquina ($r_0=f_c^{-1}$) inversamente proporcional a las dimensiones de la fuente (Aki, 1967; Brune, 1970).

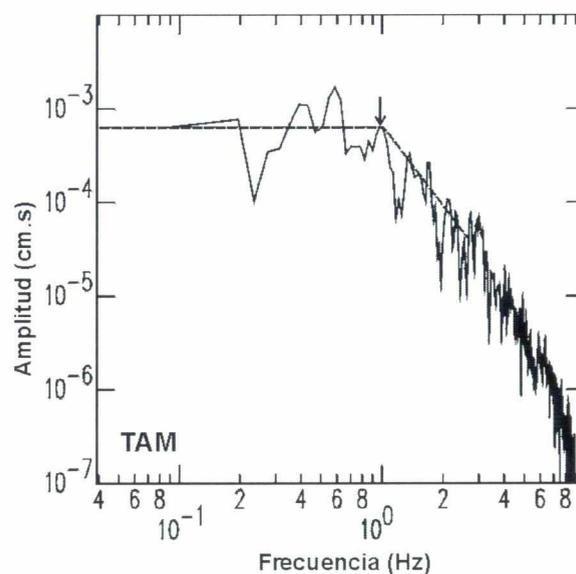


Figura 3.- Espectro de amplitud del desplazamiento del suelo registrado en la estación sísmica de Cusco (TAM) correspondiente al terremoto de Chuschui-Quispillacta (Ayacucho) del 31 de Octubre de 1999. La línea y la flecha indican la parte plana del espectro y la frecuencia esquina.

3.5.- Otros parámetros sísmicos

Una vez conocidos el momento sísmico escalar y el radio de factura, la caída de esfuerzos, el desplazamiento medio y la magnitud-energía, fueron calculados a partir de las relaciones establecidas por Brune (1970) y Kanamori y Anderson (1977). Así para el terremoto de Chuschi-Quispillacta se obtiene una caída de esfuerzos de 6 bars, un desplazamiento medio de 1.2 cm y una magnitud-energía de 4.5 Mw.

4.- Interpretación Sismotectónica.

La mayor fuente de actividad sísmica en Perú, la constituye el proceso conocido como subducción y por el cual la placa de Nazca se introduce bajo la placa Sudamérica, produciendo terremotos de diversas magnitudes a diferentes niveles de profundidad (Rodríguez y Tavera, 1991; Tavera y Buforn, 1998). Debido a las condiciones geodinámicas que dan origen a esta fuente sísmica, los sismos de magnitud mayor son más frecuentes. Una segunda fuente de sismicidad, la constituye la presencia de fallas en el interior del continente, las mismas que se distribuyen principalmente de norte a sur en la zona Subandina y en los Altos Andes. Estas últimas, de longitud menor con relación a los grandes sistemas de fallas activas de la zona Subandina. Los sismos producidos por esta fuente son menos frecuentes en el tiempo, debido a que la zona a ser afectada por un terremoto, necesita mayor acumulación de energía para vencer la rigidez del medio. Este tipo fuente sísmica, es el que ha dado origen al terremoto de Chuschi-Quispillacta.

Los terremotos que ocurren en los Altos Andes, como el de Chuschi-Quispillacta; por lo general, se producen cerca de la superficie y de ahí que a pesar de su magnitud moderada puedan ser sentidos con intensidades altas. Al igual que los terremotos asociados al proceso de subducción, los terremotos en los Altos Andes pueden ser generados por procesos compresivos o extensivos, pudiendo ser estos, netamente locales. Sin embargo, debido a que los procesos de deformación interna obedecen a un patrón general de deformación derivado de la colisión de placas, las fallas se orientan en dirección perpendicular a dicho patrón.

El terremoto de Chuschi-Quispillacta, con foco localizado a 3 km debajo de la superficie, corresponde a un proceso compresivo con mayor o menor componente de desgarre y planos nodales orientados en dirección NW-SE y de N-S a NE-SW. Asimismo, la orientación del eje de esfuerzo principal o eje P, es en dirección perpendicular a la observada para la falla del cerro Llallahui, localizado a 15 km al Sur-Oeste de la localidad de Chuschi y a 5 km del epicentro del terremoto de Chuschi-Quispillacta (Mapa 1). Asimismo, la orientación del eje P es paralela a la dirección de recortamiento de la Cordillera Andina, derivado de la colisión de placas.

A fin de evaluar el desplazamiento del suelo producido por el terremoto de Chuschi-Quispillacta, en la Figura 4 se presenta los registros de este terremoto en la estación sísmica de Cusco (TAM). En la Figura 4a se presenta el registro del terremoto en velocidad y en la Figura 4b en desplazamiento y en ambas figuras se puede identificar claramente la llegada de las fases P_n , P_g , S_n , S_g . A fin de realizar un mejor análisis del grupo de la onda P, en la figura se presenta una ampliación del grupo de la onda P_n y en donde se observa que el terremoto de Chuschi-Quispillacta tuvo una duración de aproximadamente 2.5 segundos y su proceso de liberación de energía se ha realizado mediante cuatro pulsos con duraciones de 0.37, 0.75, 1 y 0.5 segundos cada uno. Estos diferentes pulsos sugieren que el terremoto de Chuschi-Quispillacta fue complejo. Asimismo, se observa que el pulso de mayor energía se produjo 1.12 segundos después de iniciarse el terremoto.

La alta intensidad evaluada para las localidades de Chuschi y Quispillacta a diferencias de otras localidades aledañas, son debidas principalmente a que estas se localizan sobre depósitos aluviales; es decir, terrenos totalmente inestables, los mismos que permitieron la amplificación de las ondas sísmicas y se comportaron como un fluido sobre el cual flotaron las localidades de Chuschi y Quispillacta durante el terremoto. Las localidades aledañas a Chuschi y

Quispillacta (Sarhua, CanchaCancha, Huancapi, Chacula), se localizan sobre terrenos del Jurásico y Terciario con antigüedades del orden de 150 millones de años; es decir, terrenos más estables.

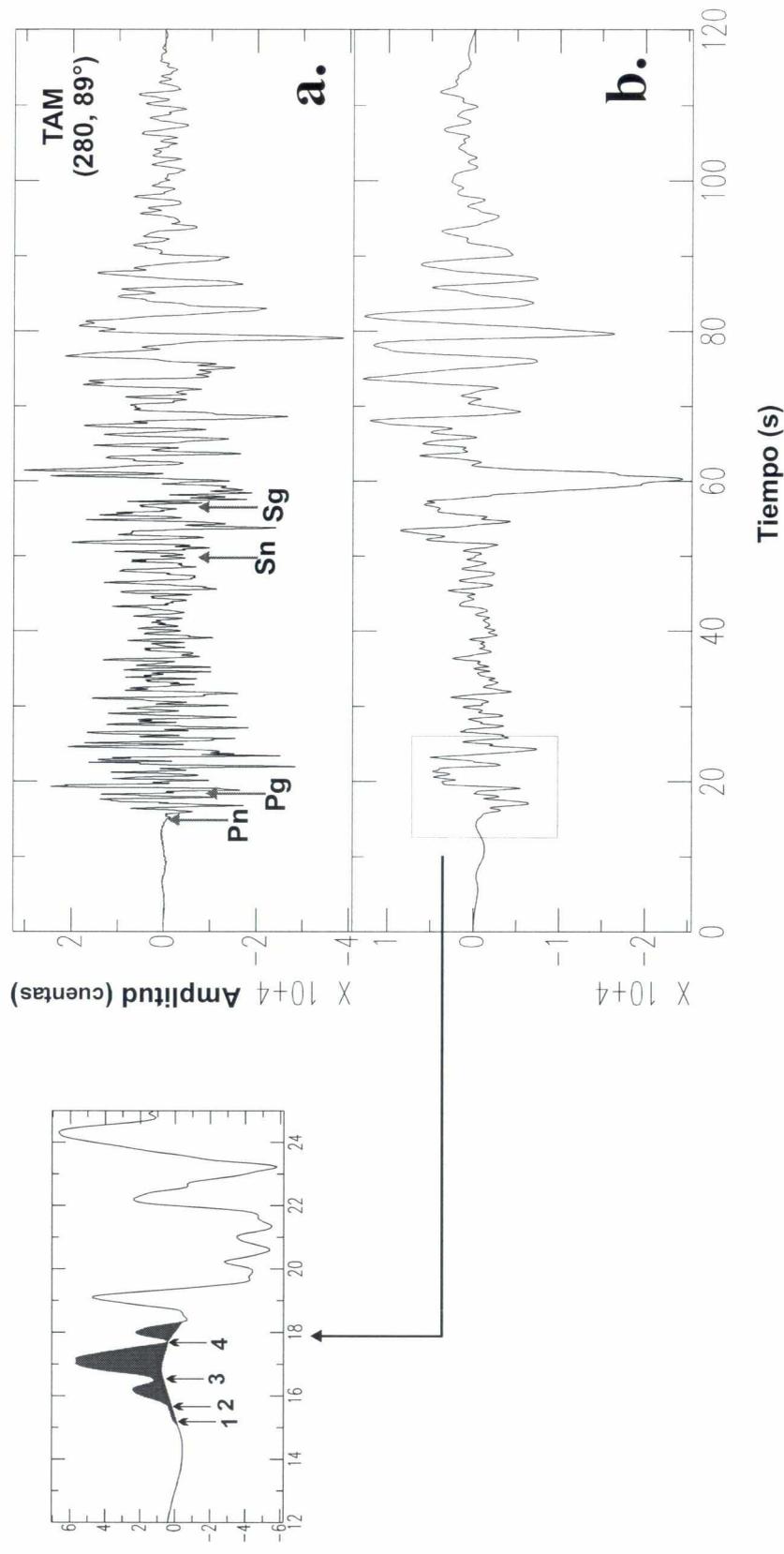


Figura 4.- Registros de banda ancha del Terremoto de Chuschi - Quispillacta (Ayacucho) del 31 de Octubre de 1999 ($M_w=4.5$) en la estación sísmica del Cusco (TAM). a) Registro en velocidad, b) Registro en desplazamiento. Pn, Pg, Sn, Sg indican el tiempo de llegada de las fases principales. El área sombreada corresponde al desplazamiento del medio generado por la onda Pn y los números sugieren los tiempos de inicio de los diferentes pulsos. Entre paréntesis se indica la distancia epicentral y el azimut epicentro-estación (km, grados).

5.- Conclusiones

Los parámetros hipocentrales y los efectos del terremoto ocurrido en la región de central de Perú el 31 de Octubre de 1999 ("Terremoto de Chuschi"), han sido calculados por el Instituto Geofísico del Perú utilizando información recopilada de las estaciones sísmicas que integran la Red Sísmica Nacional a cargo del IGP.

El epicentro del terremoto de Chuschi-Quispillacta ha sido localizado a 11 km en dirección Sur-Oeste de la localidad de Chuschi y a 33 km en dirección Oeste de la ciudad de Cangallo (Figura 1 y Mapa 1). La magnitud del terremoto ha sido estimada en función de la duración de su registro y a partir de la amplitud y periodo de ondas de volumen en 4.1 mb; mientras que la intensidad máxima de VI (MM) ha sido considerada para las localidades de Chuschi y Quispillacta. Es importante remarcar que todas las viviendas en estas dos localidades, fueron construidas con adobe, quincha y materiales rústicos. La profundidad de foco del terremoto ha sido estimada en 3 km; es decir, corresponde a un foco netamente superficial.

Debido al poco número de datos utilizados para estimar la orientación de la fuente, se ha obtenido dos soluciones para el mecanismo focal (S1 y S2 en el Mapa 1), los mismos que corresponden a fallas inversas con mayor y menor componente de desgarre. En ambas soluciones se observa que el plano nodal con buzamiento al Sur-Oeste presenta la misma orientación, siendo esta coherente con la orientación de la falla del cerro Llallahui. Asimismo, la orientación del eje de presión horizontal o eje P, es perpendicular a la orientación de los principales sistemas de fallas observadas en superficie (Mapa

1) y paralelo a la dirección del máximo recortamiento de la Cordillera Andina generado por la colisión de placas.

El momento sísmico escalar de 7.9×10^{22} dina-cm obtenido a partir del espectro de amplitud de la onda P, ha permitido calcular una magnitud-energía de $M_w = 4.5$ para el terremoto de Chuschi-Quispillacta. Por otro lado, se ha calculado un radio de fractura de 1.8 km. A partir de estos valores, se ha estimado una caída de esfuerzos de 6 bars y un desplazamiento medio de 1.2 cm.

El terremoto de Chuschi-Quispillacta fue producido por un proceso compresivo generado por los procesos de deformación cortical cerca de la superficie. Estos procesos son generados por el recortamiento de la Cordillera Andina como consecuencia de la colisión entre las placas de Nazca y Sudamericana (Mapa 1).

Los parámetros sísmicos finales para el terremoto de Chuschi-Quispillacta son:

Fecha:	31-10-1999
Hora Origen:	13h 27min 34.29s (GMT) 08h 27min 34.29s (Hora Local)
Latitud:	-13.60 grados.
Longitud:	-74.45 grados
Profundidad:	3 km
Magnitud:	4.5.Mw, 4.1 mb
Intensidad Máxima:	VI (MM)
Momento Sísmico:	7.9×10^{22} dina-cm
Radio de fractura:	1.8 km
Caída de esfuerzos:	6 bars
Desplazamiento medio:	1.2 cm.

Mapa 1

Mapa de localización del Terremoto de Chuschi-Quispillacta (Ayacucho) del 31 de Octubre de 1999 (Mw=4.5) y de las principales unidades estratigráficas en los alrededores de la localidad de Chuschi, según los Cuadrángulos de Huancapi y Paras del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (1994).

7.- Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la Sra. I. Perez-Pacheco por su ayuda en la elaboración de las figuras del presente informe. Asimismo, a los miembros de las municipalidades y puestos policiales de los pueblos afectados por el terremoto de Chuschi-Quispillacta, quienes amablemente respondieron a nuestras preguntas.

7.- Bibliografía

- AKI, K. (1967): Scaling law of energy spectrum. *J. Geophysics. Res.*, 72, 1217-1231.
- BARAZANGI, M. y ISACK, L. (1976): Spatial distribution of earthquakes and subduction of the Nazca Plate beneath South America. *Geology*, 4, 686-692.
- BRUNE, J. (1970): Tectonics stress and spectra of seismic shear waves. *J. Geophys. Res.*, 75, 4,997-5009.
- CHATELAIN, J-L. y GUILLIER, B. (1996): Comunicación personal.
- HERMANN, R. (1979): *A hypocenter location program*. Earthquake Notes, 50, 25-36.
- KANAMORI, I. y ANDERSON, D. (1975): Theoretical basis of some empirical relations in seismology. *Bull.Seism. Soc. Am.*, 65, 1073-1095.
- KEILIS-BOROK, V. (1960). Investigation of the mechanism of earthquakes. *Soc. Res. Geophys.*,4,29.
- MINSTER, J. y JORDAN, T. (1978): Present-day plate motions. *J. Geophys. Res.*, 83, 5,331-5334.
- RODRIGUEZ, L. y TAVERA, H. (1991): Determinación con alta resolución de la geometría Wadati-Benioff en la región central de Perú. *Rev. Bras. Geofis.*, 9, 141-159.
- STAUDER, W. (1975): Subduction of the Nazca under Peru as evidenced by focal mechanisms and by seismicity. *J. Geophys. Res.*, 80, 1,053-1064.
- STAVRAKAKIS, G., BLIOMA, S. Y GOUTIS, C. (1991): Dynamic sources parameters of the 1981 Gulf of Corinth earthquakes. *Tectonophysics*, 185, 261-275.
- TAVERA, H. y BUFORN, E. (1998): Sismicidad y Sismotectónica de Perú. En: Sismicidad y Sismotectónica de Centro y Sudamérica; Buforn, E. y Udías A. (eds.), Física de la Tierra, Univ. Complutense de Madrid, 10, 187-219.