



INSTITUTO GEOFISICO DEL PERU
Centro Nacional de Datos Geofísicos
Sismología



Sismo intermedio del 25 de Setiembre 2005 (7.0ML)
(Departamento de San Martín - Perú)

Hernando Tavera
y Grupo de Trabajo del CNDG

Lima-Perú
Setiembre, 2005

Centro Nacional de Datos Geofísicos
Sismología
Instituto Geofísico del Perú
Calle Badajoz 169, Urb. Mayorazgo IV Etapa – ATE
Teléfono: 51-1-317 2300 (Anexo 140)

INDICE

RESUMEN

1.- Introducción

2.- Parámetros Hipocentrales

3.- Orientación de la Fuente

4.- Características de la Señal Sísmica

5.- Réplicas

6.- Distribución de Intensidades

7.- Otros Parámetros

8.- Interpretación Sismotectónica y Discusión

Bibliografía

RESUMEN

El día 25 de Setiembre de 2005 a 20h 55min (hora local), toda la región norte de Perú fue sacudida con la ocurrencia de un sismo de magnitud 7.0ML cuyo epicentro fue localizado a 90 km al NE de la localidad de Moyobamba. El sismo ocurrió a una profundidad de 115 km y produjo en la zona epicentral intensidades del orden de VI (MM) llegando a sentirse con intensidades de II (MM) a distancias del orden de 600 km, como es el caso de la ciudad de Lima y Guayaquil en Ecuador.

Este sismo de gran magnitud, habría tenido su origen en la deformación interna de la placa de Nazca que se moviliza por debajo de la Cordillera de los Andes a niveles de profundidad de 100 a 120 km. El mecanismo focal sugiere el desarrollo de un proceso extensivo con el eje de tensión (T) orientado en dirección NE-SO coherente con la dirección del desplazamiento de la placa de Nazca por debajo de la cordillera.

1.- Introducción

La actividad sísmica en el 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 (DeMets et al, 1980; Norabuena et al, 1999). El margen continental oeste de Sudamérica es uno de los más activos y de los bordes de placa el mayor en la Tierra. Como resultado de este proceso se ha formado la Cordillera de los Andes en diferentes etapas orogénicas. La alta velocidad de convergencia de placas permite que se genere un fuerte acoplamiento entre ellas, produciendo frecuentemente sismos de diferentes magnitudes a diversos niveles de profundidad, ya sea en la superficie de fricción de las placas, en el interior de la placa continental o en el interior de la placa oceánica que se desplaza por debajo del continente. Las características de la sismicidad de Perú han sido ampliamente analizadas y discutidas por diversos autores (Barazangi y Isacks, 1976; Cahill y Isacks, 1992; Tavera y Buforn, 2001); siendo las principales, las relacionadas con la distribución espacial de los focos sísmicos en superficie y en profundidad.

En la región norte la actividad sísmica con foco superficial ($h < 70$ km) se distribuye, de norte a sur (Figura 1.a), cerca de la línea de costa y tiene su origen en el proceso de fricción que se desarrolla sobre la superficie de contacto entre las placas de Nazca y Sudamericana. En el interior del continente, la sismicidad superficial se concentra en la zona subandina y está asociada a la presencia de fallas geológicas como el sistema de fallas de Moyobamba. Los sismos con profundidad intermedia ($71 < h < 120$ km), en mayor número se distribuyen en la zona subandina y están asociados a la deformación interna de la placa de Nazca por debajo de la Cordillera de los Andes (círculos verdes y azules, Figura 1.a). En la misma figura se presenta una sección vertical de la sismicidad en dirección NE-SO (Figura 1b) y en ella se observa que los sismos, desde la fosa, se

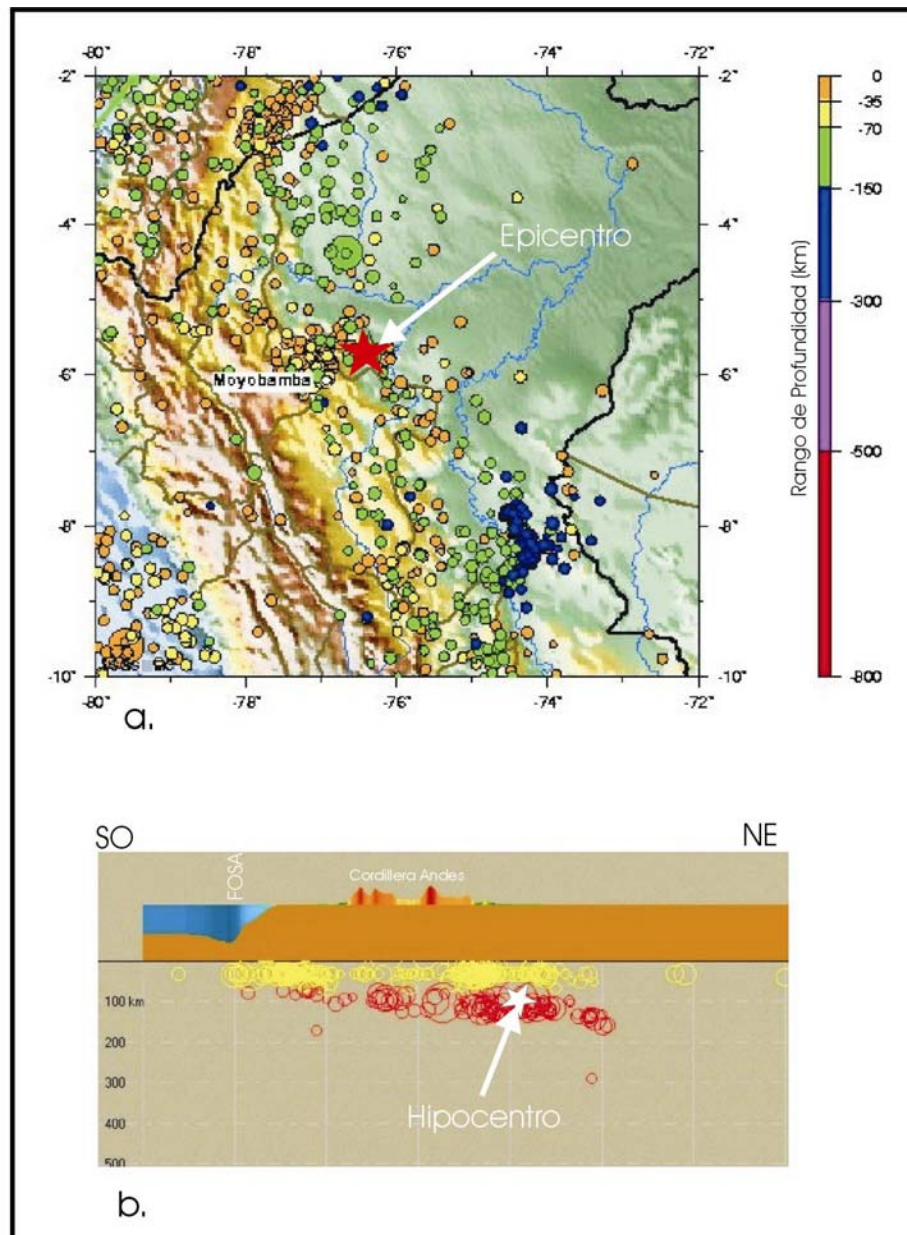


Figura 1. a.) Distribución de la sismicidad con foco superficial e intermedio en la región norte de Perú. La estrella indica la ubicación del epicentro del sismo del 25 de Setiembre de 2005 y la barra vertical de colores, los diferentes rangos de profundidad a la cual ocurrieron los sismos.
 .b.) Sección vertical de sismicidad en dirección NE-SO. Círculos de color amarillo indican sismos con foco superficial ($h \leq 70 \text{ km}$) y rojos, a los sismos con foco intermedio ($\geq 71 \text{ km}$).

distribuyen sobre una línea con pendiente del orden de 25 grados hasta alcanzar un nivel de profundidad de 110km en promedio, a partir de la cual la sismicidad se hace horizontal hasta una distancia de 700 km aproximadamente desde la línea de costa. Esta sismicidad permite configurar la geometría y la forma de la placa Nazca para esta región.

De acuerdo a lo descrito, el borde nor-oriental de la región norte de Perú, es sísmicamente muy activo y aquí, el día domingo 25 de Setiembre de 2005 a las 20 horas con 55min (hora local), ocurrió un nuevo sismo de magnitud 7.0ML que produjo daños importantes en toda el área epicentral. El epicentro del sismo fue localizado a 90 km al Nor-este de la ciudad de Moyobamba y su foco a una profundidad de 115 km. En este informe se describe las principales características sismotectónicas y su relación con la geodinámica regional.

2.- Parámetros Hipocentrales

El epicentro del sismo del 25 de Setiembre de 2005 fue localizado utilizando información de la red sísmica nacional en las siguientes coordenadas: 05.80 grados Sur y 76.20 grados Oeste; esto es, a 90 km en dirección NE de la ciudad de Moyobamba. La profundidad de su foco ha sido correctamente ajustada en 115 ± 2.5 km. El sismo presentó una magnitud en la escala local de 7.0ML (Escala de Richter). En la Figura 1.a se presenta el epicentro del sismo del 25 de Setiembre, el mismo que se ubica en el área de mayor acumulación de sismos asociados a las dos fuentes sismogénicas descritas anteriormente. En profundidad, la ubicación del hipocentro sugiere que se produjo como resultado de la deformación interna de la placa a niveles de profundidad intermedia (Figura 1b).

3.- Orientación de la Fuente

Para conocer la orientación de la fuente del sismo ocurrido el 25 de Setiembre, se ha obtenido el mecanismo focal utilizando el Método de la polaridad de la onda P con información proveniente de la red sísmica nacional y de algunas estaciones sísmicas de la red mundial. El mecanismo focal calculado corresponde a una falla normal con planos orientados en dirección NO-SE (mecanismo focal en negro, Figura 2a) y buzamientos de 37° grados en dirección NE y 53° en dirección SO. El eje de tensión máxima (T) se orienta en dirección NE, paralela a la dirección de movimiento de las placas. Esta solución para la fuente sísmica es similar a la obtenida para otros sismos ocurridos en el pasado en la misma región (mecanismos focales en verde, Figura 2a), lo cual confirma el desarrollo de un único patrón de deformación en esta región y a estos niveles de profundidad de 115 km. En la figura 2b, se presenta el esquema sismotectónico propuesto por Mattauer (1984) para esta región y en la cual se ha proyectado la solución obtenida para el mecanismo focal, siendo este coherente con el proceso de extensión que soporta la placa de Nazca en su proceso de introducirse en el manto.

4.- Características de la Señal Sísmica

El análisis de las formas de onda del sismo ocurrido el día 25 de Setiembre, en una estación local y una telesísmica, permite descartar la posible ocurrencia de 2 eventos continuos, tal como se ha venido indicando por algunos medios de comunicación. En la Figura 3 se muestra la señal sísmica de la estación de TOQ de la red sísmica nacional y PFO de la red sísmica mundial, ambas ubicadas a una distancia epicentro-estación de 1,414 km y 6,040 km.

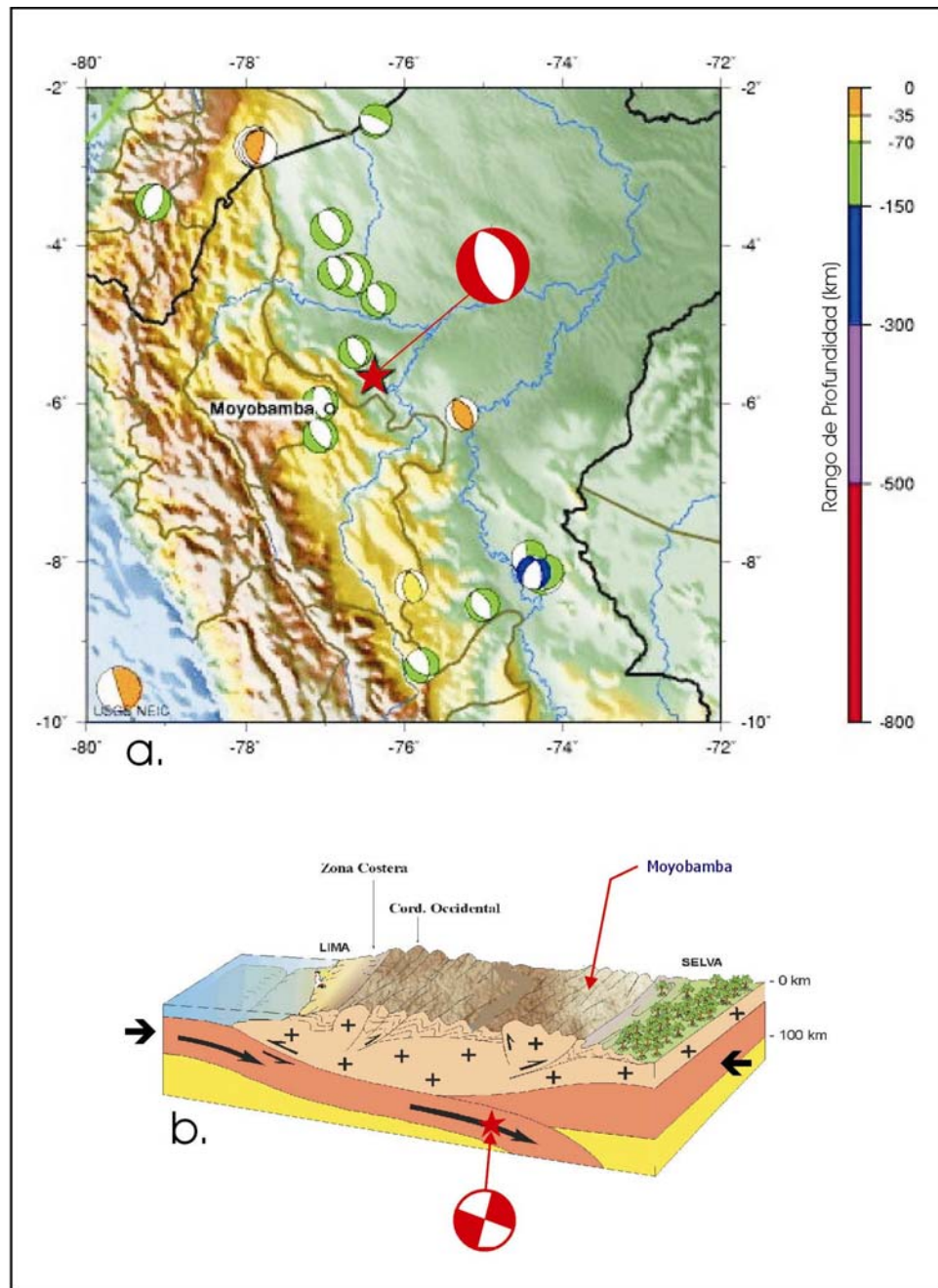


Figura 2. .a.) Mecanismo focal para el sismo del 25 de Setiembre de 2005 y para sismos ocurridos entre 1993 y 2005 ($M > 5.0$): Mecanismos de color verde y azul para sismos intermedios, de color naranja para sismos superficiales.
 .b.) Esquema sismotectónico para la región norte de Perú en la cual se muestra la geometría de la placa de Nazca dentro del proceso de subducción. La estrella indica el hipocentro del sismo. El mecanismo focal (sección vertical) indica el desarrollo de procesos extensivos a niveles de profundidad intermedia.

En ambos registros de velocidad se observa que la impulsión de la onda P es simple; es decir, equivalente a un único punto de ruptura. Contrariamente, el registro de la onda S es más complejo en razón de los procesos de reflexión o refracción que soporta la onda debido a su propia naturaleza de propagación. El registro en desplazamiento de la onda P en ambas estaciones sísmicas, confirma que el proceso de ruptura del sismo fue simple y además, permite considerar que dicho proceso de ruptura tuvo una duración de aproximadamente 10 segundos (Figura 3). En los registros de la estación PFO, se identifica la llegada de la fase pP que frecuentemente es utilizada para estimar la profundidad del foco sísmico.

5.- Réplicas

Durante un periodo de tiempo de 25 horas después de ocurrido el sismo del 25 de Setiembre, se ha registrado un total de 11 réplicas, todas con magnitudes del orden de 4.0-4.4ML. Sin embargo, es necesario remarcar que sismos del tamaño como el ocurrido el 25 de Setiembre, siempre producen un importante número de réplicas pero al ser éstas de pequeña magnitud, la energía por ellas liberadas es disipada en su recorrido desde el foco a la superficie; por lo tanto, no son registradas y son menos perceptibles. En la Figura 4 se presenta el registro de dos réplicas registradas por la estación sísmica ubicada en la localidad de Chachapoyas.

6.- Distribución de Intensidades

A fin de recopilar la información necesaria para conocer los diversos grados de intensidad producidos por el sismo en superficie, personal del IGP procedió a realizar evaluaciones telefónicas a las principales localidades y ciudades de la región norte del país y los resultados preliminares extraídos de esta información permiten considerar lo siguiente:

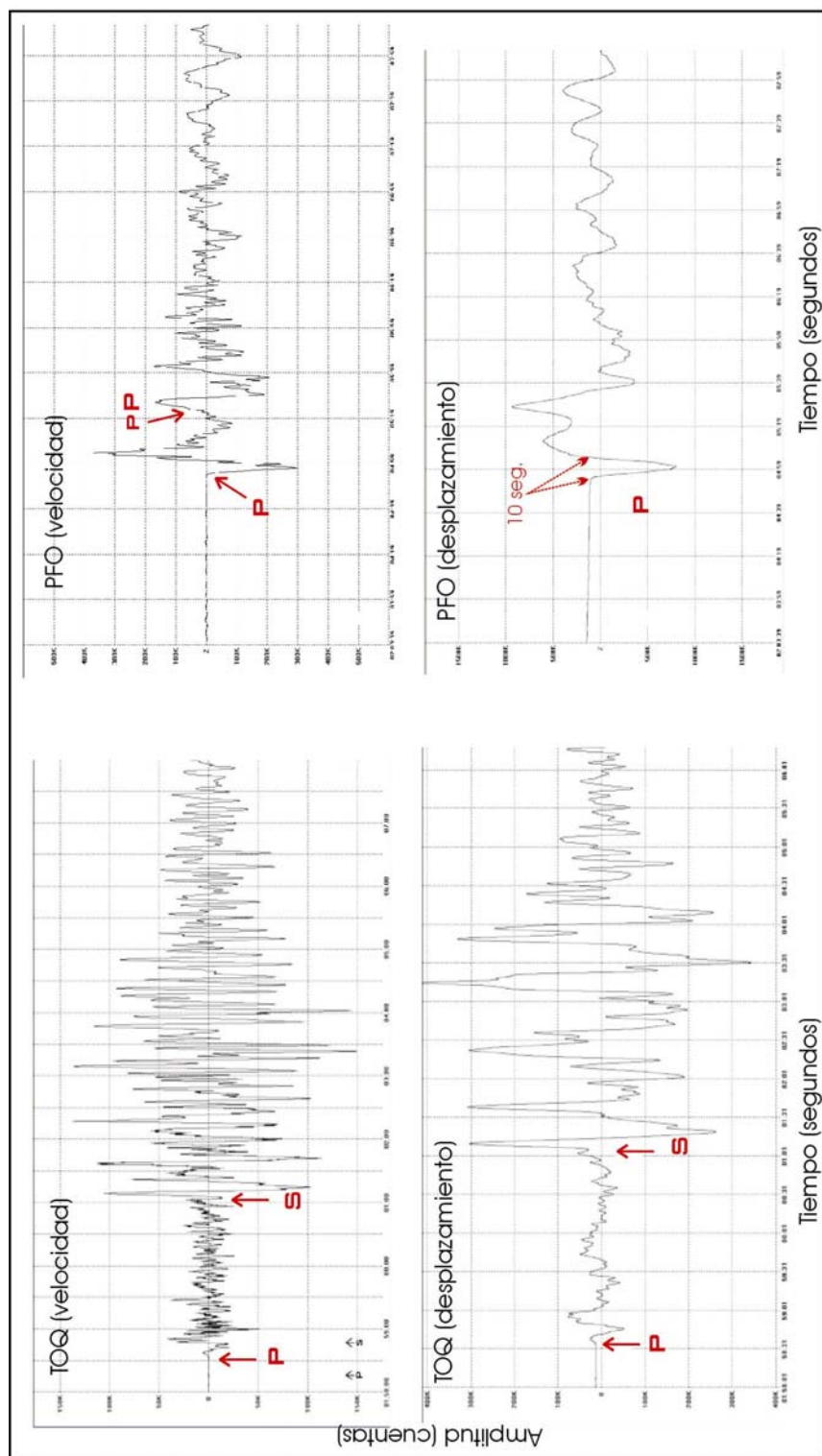


Figura 3. Registros de velocidad y desplazamiento correspondientes al sismo del 25 de Setiembre de 2005. TOQ, estación de la red sísmica nacional (distancia epicentral, 1414 km, campo cercano) y PFO, estación de la red sísmica mundial (distancia epicentral 6040km, campo lejano). Observese la forma simple de la onda P, lo cual sugiere el desarrollo de un simple proceso de ruptura. En los registros de PFO se identifica la onda pP y la duración de la ruptura del orden de 10 segundos.

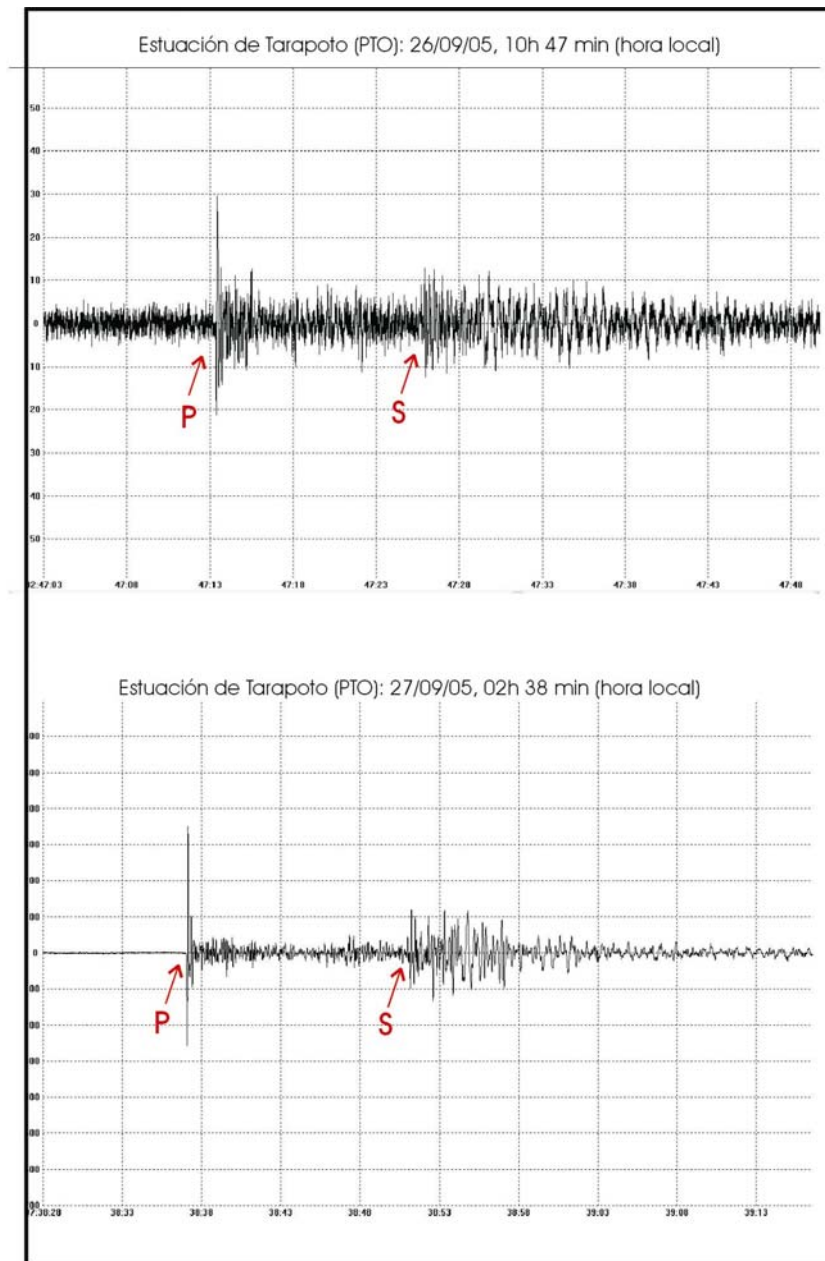


Figura 4. Registro de dos réplicas del sismo del 25 de Setiembre de 2005.
a.). Registro de una réplica de pequeña magnitud (3.2ML) con alta contenido de ruido.
b.). Registro de una réplica de mayor magnitud (4.4ML) con bajo nivel de ruido.

.- El sismo presentó un radio de acción del orden de 600 km, siendo sentido en dirección sur hasta la ciudad de Lima y por el norte hasta la ciudad de Guayaquil (Ecuador), en donde las intensidades fueron del orden de II en la escala Mercalli Modificada.

.- El nivel de intensidad máxima en el área epicentral fue de VI (MM) en las localidades de Yurimaguas, Lamas y Pampa Hermosa. Intensidades de V-VI (MM) en Moyobamba. En estas localidades se ha reportado el desplome y daños mayores en un gran número de casas de adobe (aproximadamente 500 viviendas), las mismas que ocasionaron también un gran número de personas con heridas de diferente grado (23 personas). A la fecha se ha reportado la existencia de 2,500 damnificados y la muerte de 5 personas por el derrumbe de sus viviendas.

.- Intensidades de IV-V (MM) fueron evaluadas en las localidades de Contamana, Villa Prado (Juanjui) y San Martín. Intensidades de IV (MM) en Iquitos, Nauta, Requena, Chiclayo, Trujillo, Piura y Huanuco.

En general, el sismo produjo pánico en los habitantes de toda la región norte del país por cuanto, muchas de ellas no están acostumbradas a la ocurrencia de sismos de gran magnitud. Información complementada por los medios de comunicación indican la ocurrencia de daños en carreteras (deslizamientos de tierra y rocas), cambios en el flujo del agua del río Aguas Claras por el incremento en el proceso de filtrado de agua (tragaderos de agua), entre otros.

A la fecha se continúa realizando la evaluación de intensidades a fin de elaborar mapas regionales y locales, y para tal efecto, se ha enviado a la ciudad de Moyobamba y localidades aledañas a un grupo de ingenieros del IGP para la evaluación de los daños y monitoreo de posibles réplicas que pudieran producirse.

7.- Otros Parámetros

Para el sismo del 25 de Setiembre se ha procedido a calcular diversos parámetros adicionales que en conjunto permiten cuantificar el tamaño del sismo y para tal fin, se ha hecho uso de diversas relaciones teóricas. El momento sísmico ha sido calculado a partir de la inversión del tensor momento (NEIC), la magnitud momento a partir de la relación de Kanamori (1977), magnitud de ondas de volumen (NEIC), longitud de ruptura y la energía sísmica con la relación propuesta por Stein y Wyssession (2004), magnitud energía con la relación de Choy y Boatwright (1995) y la magnitud local (ML) a partir de la duración del registro del sismo en estaciones de periodo corto de la Red Sísmica Nacional (IGP).

- .- Momento Sísmico: 2.0×10^{27} dina-cm
- .- Magnitud Momento: 7.5 Mw
- .- Magnitud de ondas de Volumen: 6.9 mb
- .- Magnitud Local: 7.0 ML
- .- Magnitud Energía: 7.4 Me
- .- Longitud de Ruptura: 30 km
- .- Energía Sísmica: 1.12×10^{23} Ergios

9.- Interpretación Sismotectónica y Discusión

A diferencia de la región sur de Perú, en la región norte la distribución de la actividad sísmica en función de la profundidad de sus focos permite observar lo siguiente (Figura 1b): los sismos siguen un alineamiento promedio que con una pendiente del orden de 25 grados alcanzan una profundidad de 110km y a partir de este nivel, la sismicidad se hace horizontal hasta una distancia de 700 km aproximadamente desde la línea de costa. Esta sismicidad permite configurar la geometría de la placa y a la vez proponer un esquema sismotectónico para esta región, tal como se observa a la Figura 2b.

El sismo del 25 de Setiembre, de acuerdo a la profundidad de su foco (115 km), habría tenido su origen en la deformación interna de la placa de Nazca como producto de las fuerzas que la movilizan en dirección NE y que tira de ella hacia el interior del manto. Esta interpretación es coherente con el tipo de mecanismo focal obtenido para su fuente: falla normal con planos orientados en dirección NO-SE, estando el eje de tensión orientado en dirección NE, similar a la dirección de movimiento de la placa de Nazca por debajo del continente.

En cuanto a la posible ocurrencia de 2 eventos sísmicos sucesivos, habría que indicar que si el sismo ocurrió a un nivel de profundidad de 115km, es aceptable considerar que las ondas sísmicas en su propagación chocaron con la superficie inferior de la Cordillera de los Andes (espesor promedio en la región norte de 50 km). En primer lugar llega el grupo de la onda P y segundos o minutos después el grupo de la onda S, siendo siempre la onda S la de mayor amplitud y por lo tanto, se puede decir que el movimiento en la superficie fue mayor al arribar estas últimas ondas sísmicas. La incidencia a la superficie de ambos grupos de ondas con diferente tiempo de llegada, dio la sensación de estar sintiendo la ocurrencia de 2 sismos consecutivos.

De acuerdo a la distribución de intensidades y al radio de acción del sismo, se debe aceptar que la energía liberada a un nivel de profundidad de 115 km, prácticamente al llegar a la parte inferior de la corteza la golpeó con tal fuerza que toda la cordillera se remeció, de ahí que el sismo haya sido sentido hasta distancias del orden de 600 km desde el epicentro.

En la región nor-oriental del Perú, es común la ocurrencia de sismos de diversa magnitud a dos niveles de profundidad. En el primer nivel se encuentran los sismos que ocurren a profundidades menores a 30 km, todos asociados a las reactivaciones de las

diversas fallas geológicas presentes en dicha área (Sistema de fallas de Moyobamba). Estas fallas produjeron los sismos de 1990 y 1991 (6.0-6.5ML) y que ocasionaron muerte y destrucción en diversas ciudades y localidades ubicadas en el extremo norte del Departamento de San Martín (Tavera et al, 2001). En el segundo nivel de profundidad, entre 100 y 120 km en promedio, ocurren sismos con origen en la deformación interna de la placa de Nazca en respuesta a las fuerzas que guían su ingreso al interior del manto (Figura 5). La historia sísmica indica que a estos niveles de profundidad es muy frecuente la ocurrencia de sismos con magnitudes promedio de 6.0ML, todos sentidos en superficie con intensidades de III-IV (MM); sin embargo, desde el año 1900 no se tiene registro de la ocurrencia de un sismo con magnitudes igual o mayor a 7.0ML como el ocurrido el día 25 de Setiembre de 2005, lo cual incrementa el potencial sísmico de toda esta región.

Hernando Tavera
Instituto Geofísico del Perú (hjtavera@geo.igp.gob.pe)

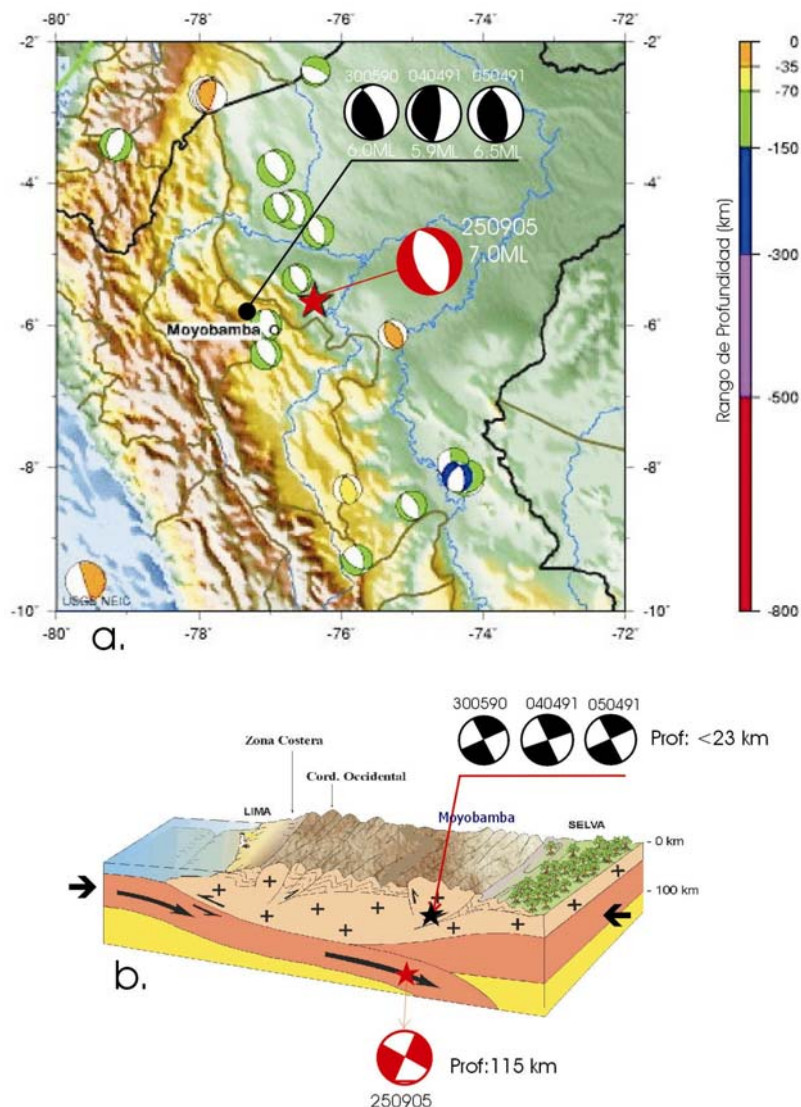


Figura 5. a.) Mecanismos focales para los sismos de 1990 y 1991 en comparación con el mecanismo del sismo del 25 de Setiembre de 2005. Mecanismos de color verde-azul para sismos intermedios, color naranja para sismos superficiales (1993-2005, $M > 5.0$). b.) Esquema sismotectónico para la región norte de Perú en la cual se muestra la geometría de la placa de Nazca dentro del proceso de subducción. La estrella roja indica el hipocentro del sismo del 250905 y la estrella en negro, los hipocentros de los sismos de 1990 y 1991. En ambos casos, se presenta la sección vertical del mecanismo.

Sismos de 1990-1991: procesos compresivos producidos por reactivación de fallas (prof. <30 km).
Sismo de 2005: proceso extensivo por la deformación de la placa de Nazca (prof. 100-120 km).

Bibliografía

- Barazangi, M. y Isacks, B. (1976). *Geology*, V4, 686-692.
- Choy, L., y Boatwright, L. (1995). *Journal of Geophysics Research*, V100, 18205-18228.
- Cahill, T. y Isacks, B. (1992). *Journal of Geophysics Research*, V97, 17503-17529.
- De Mets, C., Gordon, R., Aarhus, A., y Stein, S. (1980). *Geophysical Journal International*, V101, 425-478.
- Kanamori, H. (1977). *Journal of Geophysics Research*, V82, 2981-2987.
- Mattauer, M. (1989). *Hermann Editores de Ciencias y Arte*, Paris, Francia.
- Norabuena, E., Dixon, T., Stein S. y Harrison, C. (1999). *Geophysical Research Letters*, V26, 3405-3408.
- Stein, S. y Wysession, M. (2004). *Blackwell Publishing*, Oxford, USA.
- Tavera, H. y Bufo, E. (2001). *Journal of Seismology*, V5, 519-540.
- Tavera, H., Bufo, E., Bernal, I. y Antayhua, Y. (2001). *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, V91, 55-68.

Información sobre los sismos de 1990 y 1991 que afectaron a la ciudad de Moyobamba, se puede encontrar en: http://khatati.igp.gob.pe/cns/publi/publicaciones_ult.htm