

ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS RÉPLICAS DEL SISMO DE NAZCA DEL 12 DE NOVIEMBRE DE 1996 (PERÚ)

Yanet ANTAYHUA & Hernando TAVERA

*Centro Nacional de Datos Geofísicos – Sismología
Instituto Geofísico del Perú
E-mail: yanet@axil.igp.gob.pe; jtavera@geo.igp.gob.pe*

RESUMEN

En este estudio se realiza el análisis y evaluación de la distribución espacial de las réplicas producidas por el sismo ocurrido el 12 de Noviembre de 1996 (7.7-7.9Mw) con epicentro ubicado al sur del borde Oeste de la costa central de Perú, específicamente frente al departamento de Ica.. Los datos corresponden a las réplicas registradas entre los días 12 y 26 de noviembre por 4 estaciones de periodo corto de la Red Sísmica Nacional a cargo del IGP y una estación temporal de banda ancha, todas distribuidas alrededor del área afectada. Durante los 15 días de registro ha sido posible localizar 158 réplicas clasificadas, de acuerdo al número de fases identificadas, en grupos A y B. Los resultados sugieren un área total de ruptura de $180 \times 80 \text{ km}^2$ orientada en dirección NO-SE. La distribución de las réplicas en profundidad, indica que el área de ruptura presentó una inclinación de 29° y una profundidad máxima del orden de 45 km. A partir del área de réplicas se estima un momento sísmico escalar de $1.2 \times 10^{28} \text{ Nm}$, equivalente a una magnitud Mw de 7.9.

ABSTRACT

We analyze and evaluate the spatial distribution of aftershocks produced by the earthquake occurred in the Andean Subduction zone, November 12, 1996 (7.7-7.9Mw). The data correspond to the aftershocks recorded between 12 and 26th November for 4 short-period stations of the National Seismic Network to IGP and a temporary broad band station, all distributed around the affected area. During the 15 days of registration, it has been possible to locate 158 aftershocks classified in groups A and B in relation to the identified number of phases. The results suggest a total rupture area of about $180 \times 80 \text{ km}^2$ oriented in NW-SE direction. The distribution of the aftershocks in depth, indicates that the rupture area presented a dip of 29° to the NE and a maximum depth of about 45 km. From the area of aftershocks a seismic moment of $1.2 \times 10^{28} \text{ Nm}$ is estimated, that is equivalent to a magnitude 7.9 Mw earthquake.

INTRODUCCIÓN

En Perú, la actividad sísmica es el resultado del proceso de convergencia entre las placas de Nazca y Sudamericana, presente de Norte a Sur y que se realiza con una velocidad relativa del orden de 8 cm/año (DeMets et al, 1990; Norabuena et al, 1999). Esta alta velocidad de convergencia permite que se produzca un fuerte acoplamiento entre las placas y por tanto, se genere un gran número de sismos de diversas magnitudes a diferentes niveles de profundidad. Las características de esta sismicidad y en particular la que se produce en el extremo Sur de la región Central de Perú han sido estudiadas por Grange (1984), Lindo (1993), Tavera y Buforn (1998) y Tavera et al., (2001). En esta región y en los últimos 60 años ocurrieron hasta 6 sismos con magnitudes mayores a 7.0Mw, todos con posibles

procesos complejos de ruptura y que afectaron considerablemente a ciudades y localidades ubicadas en los departamentos de Ancash, Lima, Ica y Arequipa (Figura 1): 24 de Mayo de 1940 (7.8Mw), 24 de Agosto de 1942 (8.1Mw), 17 de Octubre de 1966 (8.0Mw), 31 de Mayo de 1970 (7.8Mw), 3 de Octubre de 1974 (8.0Mw) y 12 de Noviembre de 1996 (7.6Mw). Por lo general, estos sismos han estado acompañados de un gran número de réplicas, las mismas que han permitido estudiar en detalle las características de sus procesos de ruptura, así como estimar su tamaño (Beck y Ruff, 1989; Nishenko, 1991; Dorbath et al., 1990; Swenson y Beck, 1996; Tavera y Buforn, 1998; Tavera et al., 2001). En general, estos sismos tuvieron su origen en el proceso de fricción de placas y corresponden a procesos netamente compresivos en dirección NE-SO, puesto en evidencia a partir de sus mecanismos focales.

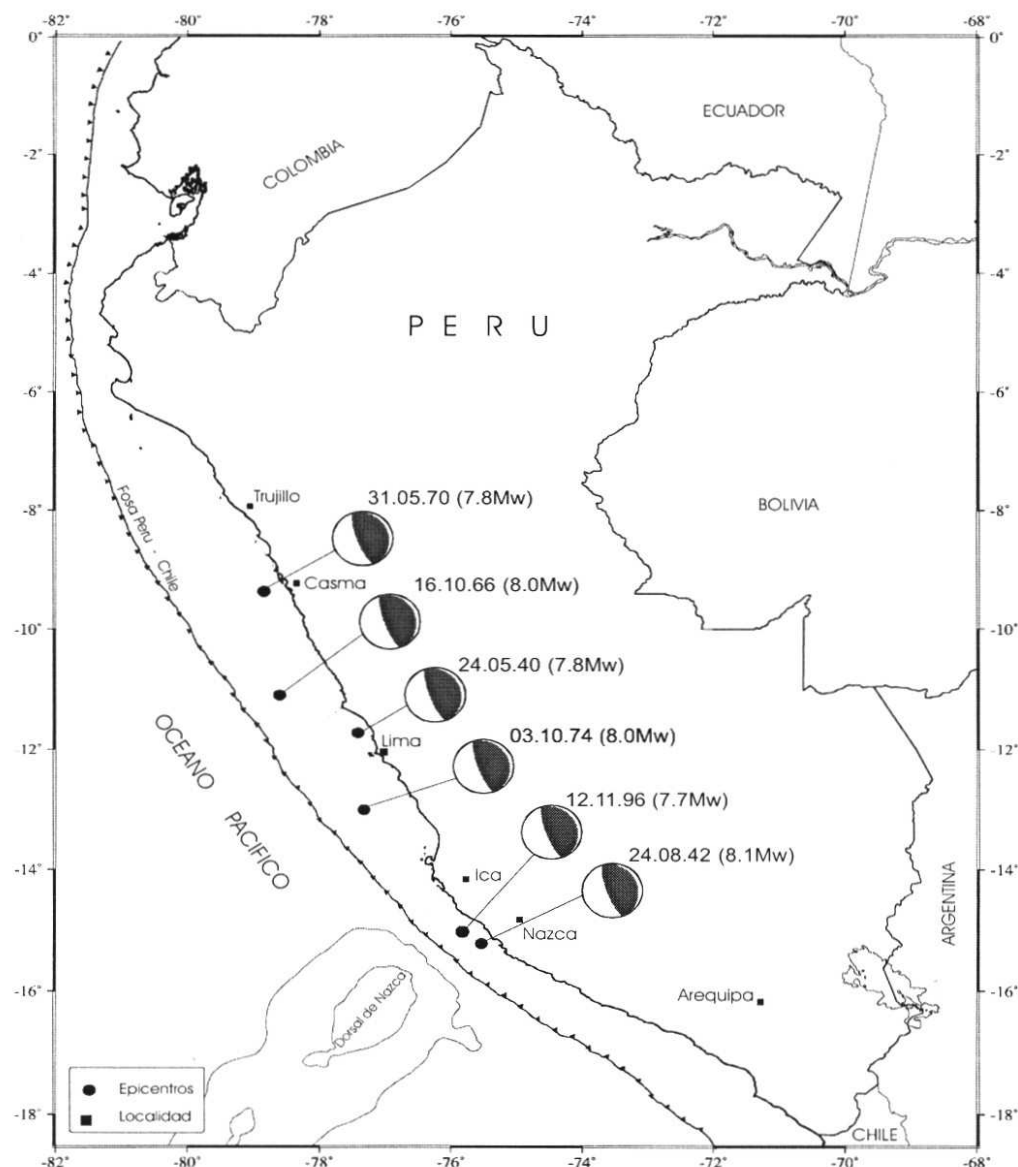


Fig.1: Distribución epicentral de los sismos de magnitud $M_w > 7.0$ ocurridos en la región central de Perú desde el año 1940. Los mecanismos focales corresponden a Tavera y Bufo (2001)

El 12 de noviembre de 1996, a las 21:59 (hora local) ocurrió un sismo de carácter superficial y magnitud 7.7Mw en la margen continental del departamento de Ica, afectando las regiones Centro y Sur de Perú. El epicentro del sismo fue localizado, en este estudio, cerca de la línea de Costa y a 90 km, en dirección SO, de la localidad de Nazca, departamento de Ica (Figura 2). La profundidad de su foco ha sido estimada en 18 km, igual que el obtenido por Tavera y Bufo (1998) a partir del modelado de ondas de volumen (Tabla 1). La magnitud del sismo fue del orden de 6.5mb y las intensidades máximas, de VI y VII en la escala de Mercalli Modificada (MM), fueron observadas en las ciudades de Ica y Nazca con importantes daños personales y materiales: 7 personas fallecidas, 1600 heridos y 5200 viviendas destruidas (Chatelain et al. 1997). En la Figura 2 se muestra el mapa de intensidades obtenido por

Chatelain et al. (1997), el mismo que sugiere que el sismo fue sentido con mayor intensidad en los departamentos de Lima, Ica, Arequipa, Ayacucho, Huancavelica y Huancayo. Un estudio más detallado sobre los daños ocasionados por el sismo en las localidades de Nazca, Chíncha, Pisco e Ica fue realizado por Ocola et al. (1997) y sus resultados indican intensidades máximas de VI en la escala MSK. Este sismo tuvo su origen en los procesos de fricción de las placas de Nazca y Sudamérica, según lo indica su mecanismo focal que corresponde a una fuente de tipo inverso con el posible plano de falla orientado en dirección NO-SE y buzamiento al NE con un ángulo de 23°, tal como se muestra en la Figura 2 (Tavera et al. 2001). Esta orientación para el mecanismo focal, es similar a los obtenidos para otros sismos ocurridos en el borde Oeste de Perú (Figura 1).

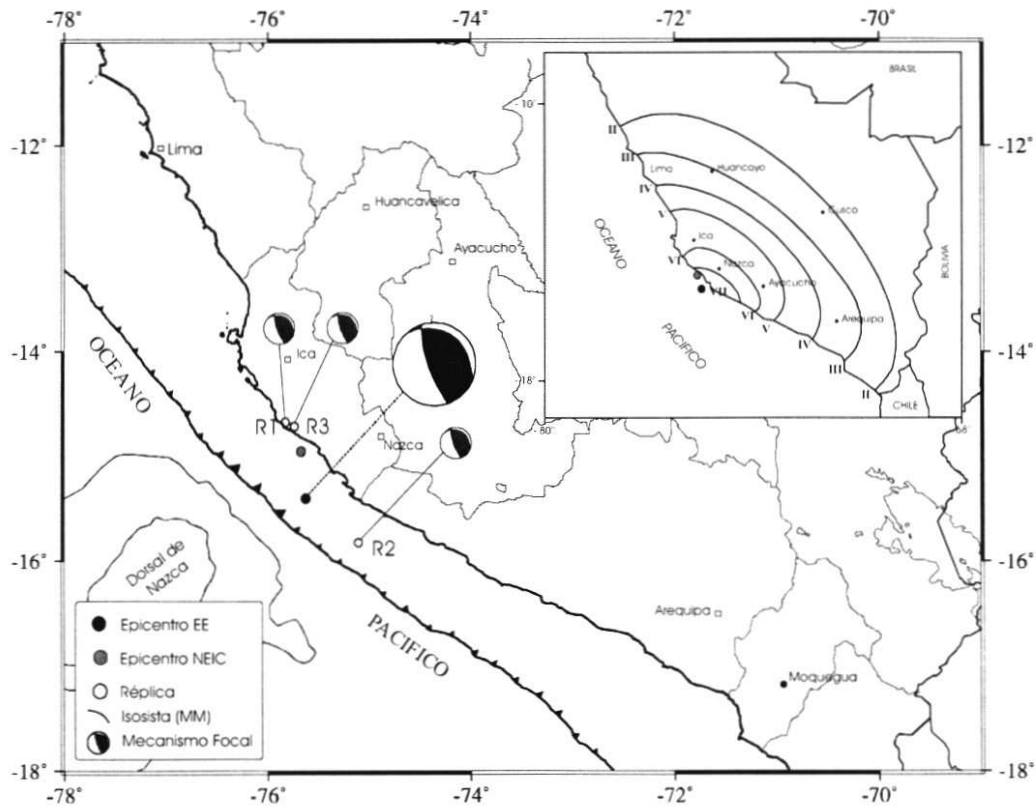


Fig. 2: a). Localización epicentral del sismo de Nazca del 12 de Noviembre de 1996 y de tres de sus réplicas de magnitud mayor. También se muestra los mecanismos focales obtenido por Tavera et al. (1998).
b). Mapa de isosistas en la escala Mercalli Modificada corresponde a Chatelain et al. (1997).

TABLA 1

Parámetros hipocentrales del sismo de Nazca localizados en este estudio (EE) y por el National Earthquake Information Center (NEIC)

Fuente	Tiempo Origen (GMT)	Latitud (grados)	Longitud (grados)	Profundidad (km)	Magnitud
EE	16:59:38.35	-15.32°	-75.64°	18	6.5mb, .9Mw
NEIC	16:59:44.03	-14.99°	-75.68°	33	7.7Mw

Este sismo, conocido como «Sismo de Nazca», fue seguido por un gran número de réplicas durante un periodo del orden de 90 días. Tres de ellas presentaron magnitudes mb entre 5.0-5.5. Dos de estas réplicas se produjeron al norte del epicentro del sismo principal y la tercera en dirección sur. En la Figura 2, el orden de ocurrencia de las réplicas esta indicado como R1, R2 y R3, y sus mecanismos focales sugieren procesos de ruptura similares al sismo principal (Tavera y Buforn, 2001). De acuerdo a los reportes del NEIC se estima un total de 120 réplicas en un periodo de tres meses con magnitudes mayores a 3.5mb, todas localizadas utilizando las estaciones de la red sísmica mundial; por lo tanto, los errores en el cálculo de sus parámetros hipocentrales es relativamente grande y mayor aún cuando se pretende

estimar la profundidad de sus focos. En el caso de la Red Sísmica Nacional a cargo del Instituto Geofísico del Perú (RSN-IGP), los registros de las réplicas en las estaciones cercanas al epicentro se saturaron imposibilitando su localización. Solamente, las réplicas de magnitudes menores han sido registradas de manera correcta y por ende localizadas, siendo las mismas utilizadas en el este estudio.

En el presente estudio se analiza y evalúa la distribución en superficie y profundidad de las réplicas producidas por el sismo de Nazca del 12 de Noviembre de 1996, todas registradas por 5 estaciones de la RSN-IGP durante un periodo de 15 días, a fin de conocer el área total y el ángulo de inclinación del plano de fractura, y a partir de estos valores estimar el tamaño del sismo.

La Red Sísmica

La información utilizada en el presente estudio ha sido obtenida de 5 estaciones sísmicas instaladas, de Sur a Norte, en las localidades de Yauca (YAUC), Zamaca (ZAM), Guadalupe (GUA), Paracas (PAR) y Quilmana (QUI), todas ubicadas a distancias del orden de 50 a 150 km del epicentro principal. De estas estaciones, una fue

instalada de manera temporal y funcionó entre el 18 y 26 de Noviembre equipada con un sismómetro de banda ancha (BB) de 3 componentes; mientras que, las restantes forman parte de la RSN-IGP y están equipadas con sismómetros de periodo corto (SP) de componente vertical. Las características básicas de las estaciones están indicadas en la Tabla 2 y en la Figura 3, su ubicación alrededor del epicentro del sismo.

TABLA 2

Estaciones sísmicas instaladas en la región central de Perú para el registro de las réplicas del sismo de Nazca del 12 de Noviembre de 1996. BB= banda ancha, SP= periodo corto

<i>Estación</i>	<i>Código</i>	<i>Latitud (grados)</i>	<i>Longitud (grados)</i>	<i>Altitud (m.s.n.m)</i>	<i>Tipo</i>
Quilmana	QUI	-12.946°	-76.439°	600	SP
Paracas	PAR	-13.829°	-76.332°	150	SP
Guadalupe	GUA	-13.998°	-75.790°	690	SP
Zamaca	ZAM	-14.670°	-75.615°	390	SP
Yauca	YAUC	-15.663°	-74.531	55	BB

Datos

Considerando que la calidad de los datos depende básicamente del tipo de instrumento que se utilice, en este estudio se ha escogido a la estación YAUC como base para realizar la identificación y análisis de las réplicas debido a su calidad de registro y mayor sensibilidad comparada con las demás estaciones. Para un periodo de 15 días se ha identificado y localizado 158 réplicas, las mismas que han sido clasificadas en dos grupos en función al número de fases P y S utilizadas en el cálculo de sus parámetros. El grupo A considera un total de 67 réplicas localizadas utilizando básicamente la información de la estación YAUC; mientras que, el grupo B esta conformado por 91 réplicas localizadas utilizando únicamente las estaciones de la RSN-IGP (Figura 2). La lectura de los tiempos de llegada de las fases P y S se ha realizado con una precisión de 0.1 segundos aproximadamente. Para el grupo A, se procedió en primer lugar a identificar el registro de la réplica en la estación YAUC e inmediatamente se procedió a buscarla en las estaciones de periodo corto a

fin de realizar en conjunto la lectura de sus fases y posterior correlación. El grupo B considera a las réplicas no registradas por la estación YAUC y en general, corresponden a las ocurridas entre 12 y 17 de Noviembre.

La localización hipocentral de las réplicas se ha realizado utilizando el programa Hypoinverse (Klein, 1978) que permite corregir la diferencia de altitud entre cada estación utilizando para ello la velocidad de la primera capa del modelo utilizado. Sin embargo, al igual que otros programas, requiere como datos de entrada los tiempos de llegada de las fases P y S, coordenadas de las estaciones y un modelo de velocidad para la propagación de las ondas sísmicas. Para corregir la velocidad de la onda S, se ha construido la curva de Wadati utilizando los tiempos de llegada de las ondas P y S del total de las réplicas, así se obtuvo un valor para la relación de velocidades de 1.72 ± 0.2 , similar al obtenido por otros autores en diversos estudios de microsismicidad realizados en el Perú (Lindo et al, 1993; Langer y Spence, 1995). El modelo de velocidad utilizado corresponde al propuesto por Lindo (1993) para el borde occidental de la región central de Perú, ver Tabla 3.

TABLA 3

Modelo de Velocidades utilizado en el procesamiento de las réplicas del sismo De Nazca, 1996

<i>Vp (km/seg.)</i>	<i>Prof. (km)</i>
5.8	0.0
6.2	15.0
6.8	30.0
8.0	50.0

Para medir el tamaño de las réplicas, se ha utilizado la relación propuesta por Klein (1978) que permite estimar ML a partir de la duración total del registro de la réplica a partir de la siguiente relación,

$$ML = -1.1 + 2 \log(D) + 0.007(D) + 0.0035(Z)$$

donde ML es la magnitud local en función de la duración del registro de la réplica, D la duración total del registro en segundos, D es la distancia epicentral y Z la profundidad del foco en kilómetros. El valor de magnitud para las réplicas corresponde al promedio de los obtenidos para cada estación sísmica.

Análisis de la Distribución Espacial de las Réplicas

Las réplicas del grupo A y B considerados en este estudio presentan errores en los valores que definen su ubicación hipocentral menores a 1.5 km (latitud, longitud y profundidad) y magnitudes ML entre 2.3 y 5.5. En la Figura 3a, se presenta la distribución en superficie del total de réplicas (158), todas distribuidas entre la línea de fosa y la costa sobre un área de 180 x 80 km² aproximadamente, y entre las localidades de Ocucaje y Lomas en los departamentos de Ica y Arequipa. También

se observa, que la mayor concentración de réplicas se encuentra frente a la estación ZAM para luego disminuir en dirección de la estación YAUC. En el extremo superior derecho de la misma figura, se muestra la distribución de las réplicas correspondientes a los grupos A y B. Según estas figuras, las réplicas del grupo A se concentran alrededor del epicentro del sismo principal; mientras que, las del grupo B únicamente al norte de dicho epicentro. Si se considera que las réplicas del grupo B corresponden a las registradas entre el 12 y 17 de Noviembre, se puede asumir que a partir de esta fecha recién se observaría la posible propagación de la ruptura en dirección SE, tal como lo sugiere Spence et al. (1999). Según la Figura 2, las dos réplicas de magnitud mayor se produjeron al norte del epicentro del sismo, lo cual indica que en dicha área se habría producido mayor deformación. En la Figura 3b, se muestra la distribución epicentral de las réplicas y del epicentro del sismo principal obtenido por el NEIC, y en general, se observa que las réplicas se distribuyen en superficie de manera similar a la discutida anteriormente, incluso el área de réplicas es próxima a la estimada en este estudio. Sin embargo, se debe tener en cuenta que dichos hipocentros han sido obtenidos utilizando registros de las estaciones de la red sísmica mundial; por lo tanto, existe mayor incertidumbre en sus parámetros hipocentrales.

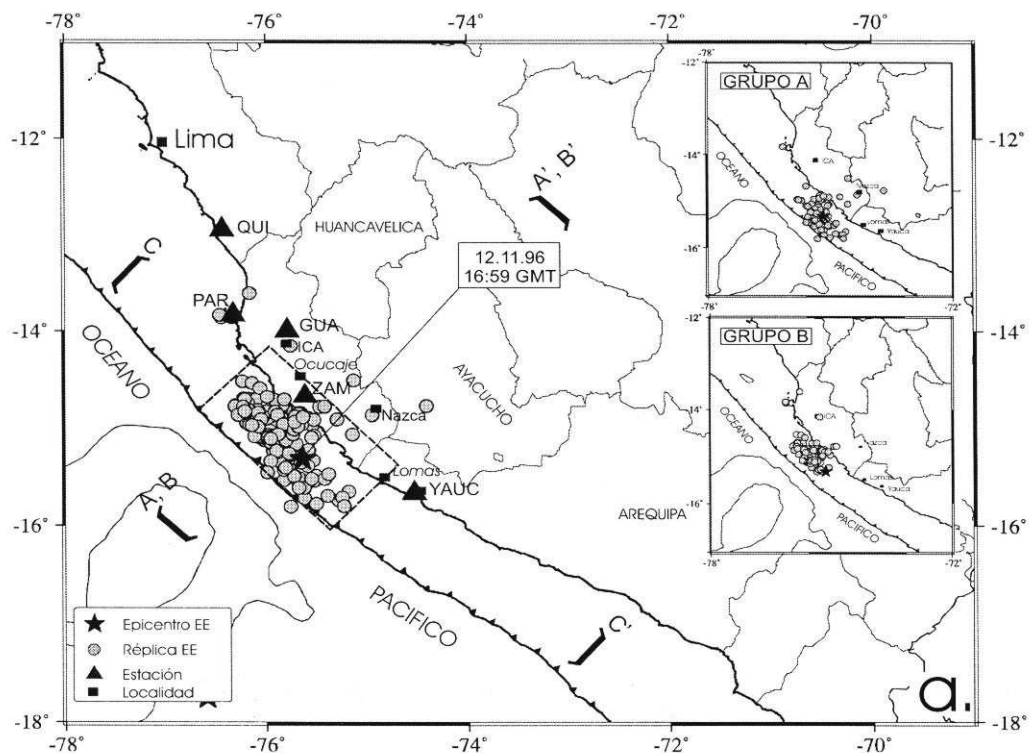


Fig. 3: Distribución e superficie de las réplicas del sismo de Nazca del 12 de Noviembre de 1996. a). Réplicas correspondientes a los grupos A y B utilizados en este estudio y b). Réplicas reportadas por el NEIC. Los triángulos corresponden a las estaciones sísmicas temporales.

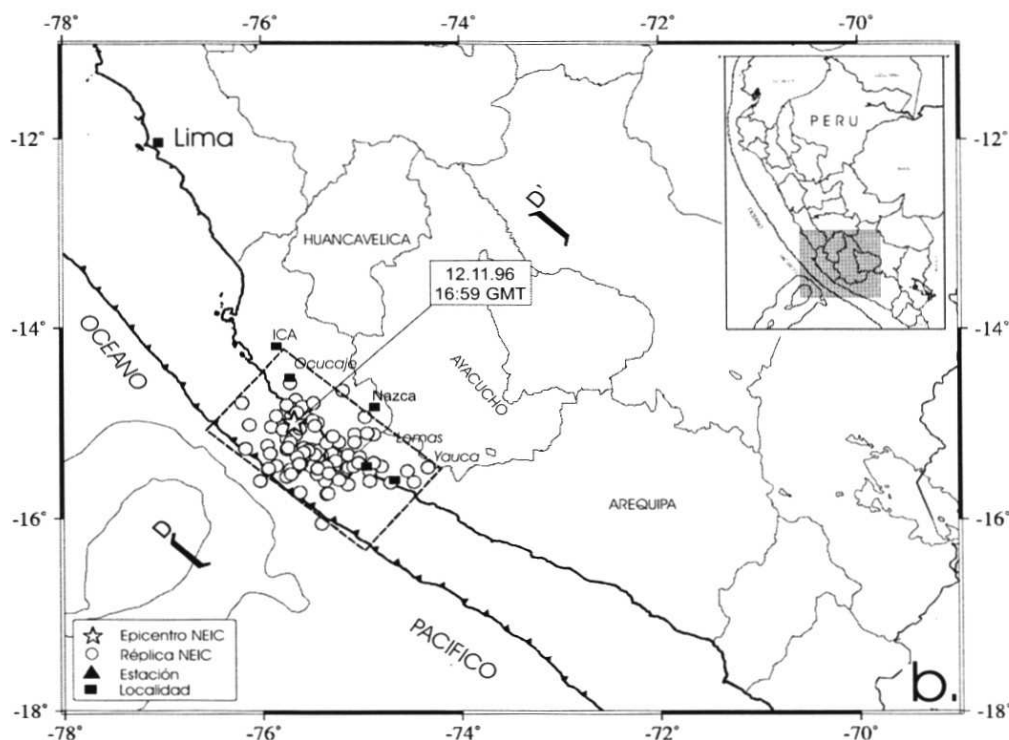


Fig. 3: Distribución e superficie de las réplicas del sismo de Nazca del 12 de Noviembre de 1996. a). Réplicas correspondientes a los grupos A y B utilizados en este estudio y b). Réplicas reportadas por el NEIC. Los triángulos corresponden a las estaciones sísmicas temporales.

A fin de analizar la distribución de las réplicas en función de la profundidad de sus focos, en la Figura 4 se presenta una serie de cuatro secciones verticales, tres perpendiculares a la línea de costa (A-A', B-B', D-D') y otra paralela a la misma (C-C'), ver Figura 3a. En la sección A-A' de la Figura 4 se observa que las réplicas del grupo A se distribuyen en dirección NE siguiendo una línea con pendiente de 29° hasta una profundidad de 45 km y hasta una distancia de 190 km desde la línea de fosa. La tendencia de las réplicas en profundidad es similar a propuesta para la placa de Nazca que subduce por debajo del continente en esta región (Cahill y Isacks, 1992; Tavera y Bufo 2001). En la sección BB', se muestra la distribución del total de réplicas (grupos A y B) y a diferencia de la sección anterior, esta distribución permite definir mejor el volumen de deformación asociado al sismo de Nazca, así como observar que el total de las réplicas se concentran entre la fosa y línea de costa. En la sección C-C' (Figura 4), paralela a la línea de costa, se observa que las réplicas se distribuyen en dirección SE a partir de la ciudad de Ica y sobre una longitud del orden de 180 km formando 2 aparentes agrupamientos: el primero ubicado entre 25 y 45 km de profundidad y el segundo, en la misma dirección hasta una profundidad de 45 km. Según la ubicación del epicentro, frente a la ciudad de Ica, el proceso de fricción de placas no habría alcanzado la superficie o se realizó de manera asísmica. Igual situación se presentaría al final del área de replicas, pero en este caso su número es menor.

En la sección D-D' corresponde a las réplicas localizadas por el NEIC y a diferencia de lo observado anteriormente, las réplicas se distribuyen linealmente a un nivel de profundidad de 33 km, no siendo posible cuantificar las dimensiones del área de ruptura ni su geometría en profundidad.

Volumen y Momento Sísmico

En las Figuras 3a y 4 se presentó la distribución espacial de las réplicas analizadas en este estudio, sea en superficie o profundidad. Si se considera con L (180 km), H (45 km) y W (80km) la longitud, extensión vertical y ancho del área de replicas; el volumen de la deformación sísmica puede ser estimado a partir del volumen total de las réplicas, tal como sugiere Benioff (1955). Así, el volumen sísmico asociado al sismo del 12 de Noviembre habría sido de $6.4 \times 10^5 \text{ km}^3$.

Por otro lado, es conocido que el momento sísmico escalar (Mo) permite estimar la cantidad de energía sísmica producida en la fuente sismogénica y es definida como: $M_o = m \cdot D \cdot S_{(f)}$, siendo m la rigidez del medio y D la dislocación promedio en la superficie de la falla, $S_{(f)}$ (Aki, 1966; Thacher y Hansk, 1973) En general, la determinación de este parámetro se efectúa a partir de las ondas de cuerpo, oscilaciones libres y también con datos geodésicos. Muchos autores han relacionado el momento sísmico (Mo) y la superficie de fractura ($S_{(f)}$), llegando a encontrar notable linealidad (Aki, 1966; Thacher y Hansk, 1973;

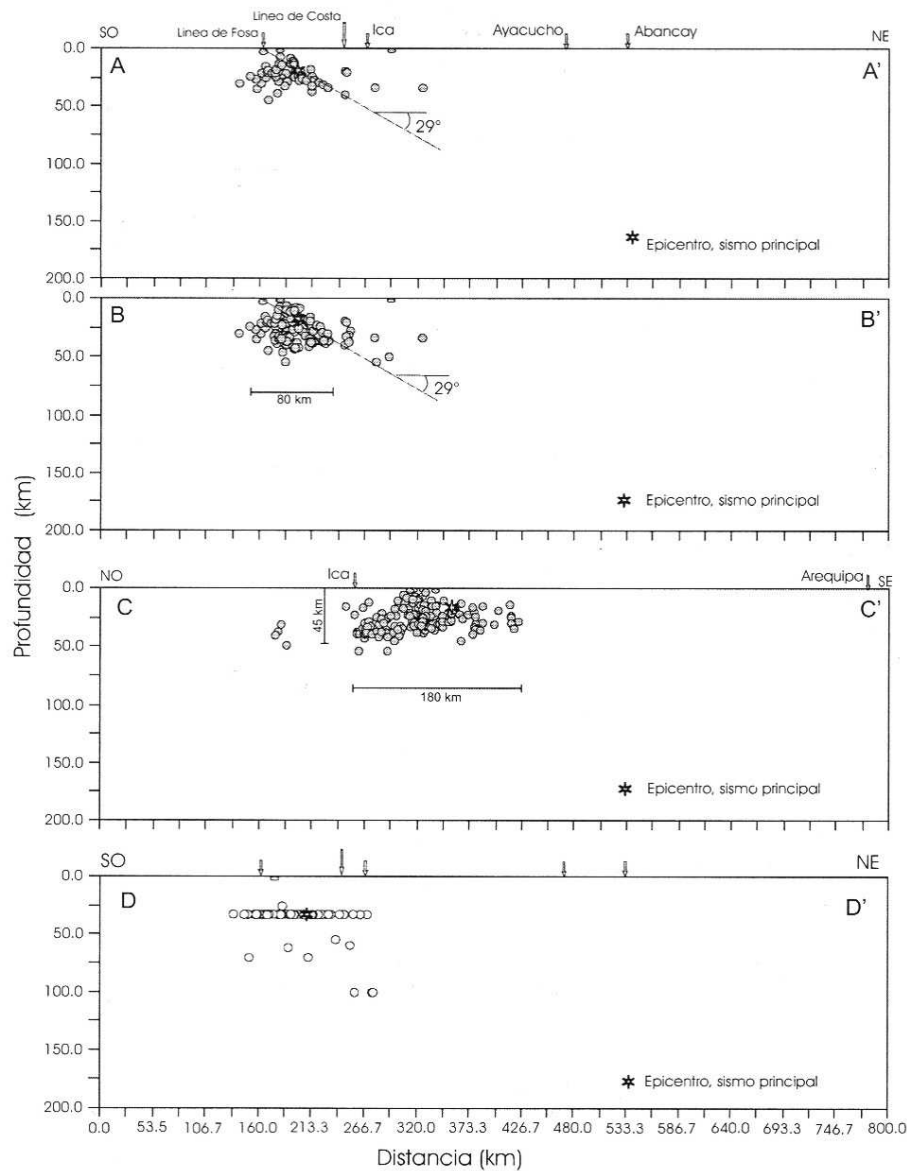


Fig. 4: Secciones verticales perpendiculares y paralela a la línea de costa. Sección A-A', corresponde a la distribución de las réplicas del grupo A; Sección B-B', presenta la distribución del total de las réplicas (grupos A y B); Sección C-C', muestra la distribución de las réplicas paralela a la línea de costa y Sección D-D', distribución de las réplicas reportadas por el NEIC. Para la orientación de las secciones, ver Figura 3.

Kanamori y Anderson, 1975; Abe, 1972), aunque la experiencia ha permitido observar que en general, las dimensiones de la superficie de réplicas es mayor que la de fallamiento, de ahí que se asuma que la primera es hasta un 75% mayor que la segunda. Bajo estas consideraciones, el momento sísmico puede ser obtenido a partir de las dimensiones del área de réplicas ($S_{(R)}$) utilizando la siguiente expresión:

$$M_0 = 0.70 \times 10^{22} * (S_{(R)})^{3/2} \text{ dina-cm}$$

De acuerdo a las dimensiones del área de réplicas obtenido en este estudio, se estima un momento sísmico de 1.2×10^{28} dina-cm y si se considera la relación propuesta por Kanamori (1977), el valor de M_0 es equivalente a una magnitud M_w de 7.9. Este valor de magnitud es similar al obtenido por otros autores para este mismo sismo (Spence et al, 1998; Tavera et al, 2001).

Resultados

El análisis de la distribución espacial de las réplicas del sismo del 12 de Noviembre de 1996, todas registradas

por una red local compuesta por 5 estaciones distribuidas alrededor del epicentro del sismo, sugieren un área de ruptura de $198 \times 124 \text{ km}^2$ con una inclinación de 29° hasta una profundidad de 45 km. El ángulo de inclinación del plano de ruptura es similar al indicado para la subducción de la placa de Nazca. El total de réplicas analizadas se distribuye entre la línea de fosa y entre las localidades de Ocucaje y Lomas al norte y sur de los departamentos de Ica y Arequipa respectivamente.

De acuerdo a la distribución espacial de las réplicas y a la ubicación del epicentro del sismo principal, el proceso de ruptura se habría producido de manera bilateral y no solamente unilateral en dirección SE, tal como sugiere Spence et al. (1998).

A partir del área de réplicas se ha estimado un volumen de deformación del orden de $6.4 \times 10^5 \text{ km}^3$ y un momento sísmico de 1.2×10^{28} dina-cm, equivalente a una magnitud momento de $M_w = 7.9$.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Jefatura de Redes Geofísicas del IGP por la instalación y mantenimiento de las estaciones sísmicas temporales en el Departamento de Ica. Asimismo, a los revisores anónimos del presente estudio y al Dr. Leonidas Ocola, cuya revisión y comentarios permitieron mejorar la presentación de nuestros resultados. Este estudio es una contribución del Centro Nacional de Datos Geofísicos, N°019-2004/CNDG-IGP.

BIBLIOGRAFÍA

- ABE K.** (1972).- Mechanisms and tectonics implications of the 1966 and 1970 earthquakes. *Phys. Earth Planet. Inter.* 5, 367-378.
- AKI K.** (1966).- Generation and propagation of G waves from Niigata earthquake of June 16, 1964. Part. 2. Estimation of earthquake moment from the G waves spectrum. *Bull. Earth. Res. Inst. Univ. Tokyo*, 44, 73-88.
- BECK S. & RUFF L.** (1989).- Great earthquake and subduction along the Perú trench. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 57, 199-224.
- CAHILL T. & ISACKS B.** (1992).- Seismicity and shape of the subducted Nazca Plate. *J. Geophys. Res.*, 97, 17503-17529.
- CHATELAIN J-L, B. GUILLIER P., GUEGUEN & BONDOUX F.** (1997).- The M_w 7.7 Nazca (Peru) earthquake, November 12, 1996: repetition of the 1942 event?. *Seis. Res. Lett.*, 68, 917-922.
- DEMETSC., GORDON R., ARGUSD. & STEMS.** (1990).- Current Plate Motions. *Jour. Geophys. Res. Into.* 101, 425-478.
- DORBATH L., CISTERNAS A. & DORBATH C.** (1990).- Assessment of the size of large and great historical earthquakes in Peru. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 80, 551-576.
- GRANGE G.** (1984).- *Etude sismotectonique détaillée de la subduction lithosphérique au Sud Pérou*. These de Doctorat, I.R.G.M., Grenoble, Francia, 300 p.
- KANAMORI H.** (1977).- The energy release in great earthquake. *Jour. Geophys. Res.* 82, 2981-2987.
- KANAMORI H. & ANDERSON D.** (1975).- Theoretical basis of some empirical relations in seismology. *Bull. Seism. Soc. Am.* 65, 1073-1095.
- KLEIN F.** (1978).- Hypocenter location program Hypoinverse. *U.S. Geological Survey*. OpenFile Report, 78-694.
- LANGER C. & SPENCE W.** (1995).- The 1974 Peru earthquake series. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 85, 665-687.
- LINDO R.** (1993).- *Sismotectonique des Andes du Pérou Central: apport des données sismologiques de haute précision*. These de Doctorat. Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, Francia.
- NISHENKO S.** (1991).- Aspects of Pacific Seismicity. *PAGEOPH.* 135, 169-179.
- NORABUENA E., DIXON T., STEIN S. & HARRISON C.** (1999).- Deceleration Nazca-South America and Nazca-Pacific Plate Motions., *Geophys. Res. Lett.*, 26, 3405-3408.
- OCOLAL, MONGEF, HUACOP. & AGÜERO C.** (1997).- *Severidad del sacudimiento del sismo de Nazca de 1996*. Instituto Geofísico del Perú, Lima-Perú.
- SCHNEIDER J. & SACKS S.** (1987).- Stress in the contorted Nazca Plate beneath Southern Peru from local earthquakes. *J. Geophys. Res.* 92, 13887-13902.
- SPENCE W., MENDOZA C., ENGDHAL L., CHOY L. & NORABUENA E.** (1998).- Seismic subduction of the Nazca Ridge as shown by the 1996-97 Peru earthquakes. *PAGEOPH.* 154, 753-776.
- SWENSON J. & BECK S.** (1996).- Historical 1942 Ecuador and 1942 Peru subduction earthquakes and earthquakes cycles along Colombia-Ecuador and Peru subduction segments. *PAGEOPH.* 146, 67-101.

TAVERA H. & BUFORN E. (1998).- Sismicidad y Sismotectónica de Perú. *En: Sismicidad y Sismotectónica de Centro y Sudamérica. Física de la Tierra, U.C. Madrid*, 10, 187-219

TAVERA H. & BUFORN E. (2001).- Source mechanism of earthquakes in Perú. *Jour. of Seismology*. 5, 519-539.

TACHER W. & HANKST. (1973).- The use of body-wave spectra in the determination of seismic-source parameters. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 67, 561-589.